



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

## REVUE AGRICULTURE

Revue home page: <http://www.http://revue-agro.univ-setif.dz/>



### Analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.)

Fellahi<sup>1</sup> Z., Hannachi<sup>2</sup> A., Oulmi<sup>3</sup> A. et Bouzerzour<sup>3</sup> H.

1 Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie Sci. Univers, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arréridj, ALGÉRIE

2 Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), Division des Agrosystèmes Est, Sétif, ALGÉRIE

3 Département de Biologie et d'Ecologie Végétale, Fac. Sci. Nat. Vie, Lab. VRBN, Université Ferhat Abbas Sétif-1, ALGÉRIE

Corresponding author: [zinou.agro@gmail.com](mailto:zinou.agro@gmail.com)

#### ARTICLE INFO

*L'histoire de l'article*

Reçu : 05/06/2018

Accepté : 31/12/2018

**Mots clés :** AGC, ASC, Sélection, Action génique, Caractères, Semi-aride.

**Key words:** GCA, SCA, Selection, Gene action, Characters, Semi-arid.

#### RESUME

Le choix adéquat des parents pour l'hybridation est une nécessité pour le développement des variétés de blé à haut rendement. Neuf caractères physiologiques, morphologiques et agronomiques ont été étudiés dans un schéma endiallèle partiel impliquant neuf génotypes de blé tendre et leurs hybrides F<sub>2</sub>. L'expérience a été réalisée à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, unité de recherche Sétif au cours de la campagne agricole 2012/2013. L'analyse de la variance indique la présence de la variabilité génotypique à l'intérieur du matériel végétal évalué. Les résultats montrent que les populations F<sub>2</sub> sont, en moyenne, meilleures que les parents pour plusieurs caractères dont le nombre d'épis, la biomasse aérienne et le rendement en grains. Les résultats indiquent aussi que le choix des géniteurs à croiser peut se faire sur la base des effets d'aptitude générale à la combinaison (AGC) ou sur la base des valeurs propre des parents. Ainsi l'expression de la performance des hybrides est associée à des effets d'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) élevés. L'AGC était plus importante que l'ASC, suggérant une forte prépondérance des effets additifs et d'épistasie additive × additive par rapport aux effets de dominance dans ce matériel végétal.

#### ABSTRACT

The choice of parents, with maximum potential of transmitting desirable genes to the progenies, is a very important task in a wheat-breeding program. Nine physiological, morphological and agronomic traits were studied in a partial diallel scheme involving nine wheat genotypes and their F<sub>2</sub> hybrids. The experiment was carried out at the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), Sétif research unit during the 2012/2013 cropping season. The analysis of variance indicated the presence of genotypic variability within the evaluated plant material. The results show that the F<sub>2</sub> populations are, in average, better than the parents for several characters including the number of spikes, aboveground biomass and the grain yield. The results also indicate that the choice of parents to cross can be performed based on the general combining ability (GCA) effects or parents' performances and the expression of hybrids is associated with high specific combining ability (SCA) effects. The GCA was more important than the SCA, suggesting a strong preponderance of additive effects and epistasis additive × additive with respect to dominance effects in this plant material.

## Introduction

La performance moyenne est l'un des critères les plus importants pour l'évaluation des génotypes. Dans tout programme d'amélioration génétique de blé, il est important de connaître si une variété, qui possède une valeur intéressante pour un caractère donné, transmet tous les gènes favorables impliqués dans l'expression de ce caractère à sa descendance dans une série de croisement (Brown *et al.*, 2014). Pour cela, il est primordial de déterminer les aptitudes à la combinaison pour générer des informations fiables et de portée générale permettant ainsi aux sélectionneurs de décider du choix des géniteurs à croiser et de la méthode de sélection à déployer pour la conduite des générations descendantes (Bouzerzour, 1998 ; Hannachi *et al.*, 2013).

Le concept des aptitudes à la combinaison, formulé par Sprague et Tatum (1942), apporte des éléments très précis quant à la qualité de la transmission des caractères d'un parent à sa descendance. L'aptitude générale à la combinaison (AGC) est un effet principal due à la variance additive. Elle représente la performance moyenne d'un génotype dans une série de croisements, estimée à partir des performances des  $F_1$  ou  $F_2$ . De ce fait, les parents qui se distinguent par une bonne aptitude à la combinaison sont aptes à transmettre, à leur descendance, leurs caractéristiques désirables (Griffing, 1956). Dans ce cas de figure, la sélection est basée sur l'action additive des gènes contrôlant le caractère étudié (effets génétiques fixables). Elle peut être pratiquée dès la  $F_2$  en suivant la méthode pedigree. Dans le cas contraire, c'est-à-dire en présence d'interactions géniques majeures, le choix des parents devient plus difficile. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser le maximum de croisements et d'en évaluer la descendance afin de détecter des combinaisons hybrides intéressantes comparativement aux valeurs parentales. Dans cette situation, la sélection repose sur la base de l'aptitude spécifique à la combinaison. Elle est basée essentiellement sur les actions géniques de dominance et d'épistasie (effets de gènes non fixables). Il est alors recommandé de retarder la sélection jusqu'à la fixation des effets géniques dans les générations ultérieures (Falconer et Mackay, 1996 ; Acquah, 2009).

L'estimation des variances dues à l'AGC et à l'ASC fournit un diagnostic approprié du rôle prédominant des variances additives ou non-additives dans l'action génique des populations en ségrégations (Hallauer et Miranda, 1988). Le rapport de l'effet additif à l'effet non-additif des gènes est à prendre en considération afin de décider de la prédominance du type de la variabilité génétique pour un caractère donné. Si le rapport est supérieur à l'unité, ceci indique le rôle majeur de la variance additive dans le contrôle de l'expression d'un caractère, alors que s'il est inférieur, il indique l'importance de la variance non-additive (Gardner, 1963). L'action des gènes est donc déterminante dans le choix de la méthodologie de sélection à employer pour développer de nouveaux génotypes. Le présent travail consiste à caractériser neuf géniteurs de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et leurs hybrides  $F_2$  et à évaluer le déterminisme génétique de quelques caractères de production et d'adaptation aux conditions des zones semi-arides d'altitude.

## Matériel et méthodes

### Matériel végétal et dispositif expérimental

L'étude a été menée au cours de la campagne agricole 2012/2013 sur le site expérimental de l'Unité de Recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (UR-INRAA) de Sétif. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques  $36^{\circ} 15' N$  et  $05^{\circ} 37' E$ , à une altitude de 981 m. Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et humide (Chennafiet *et al.*, 2006).

Le matériel végétal comprend 9 parents et leurs 20 hybrides  $F_2$ , développés selon le dispositif de croisement "Lignées  $\times$  Testeurs" en 2011. Les parents femelles sont les lignées venant du programme de coopération ITGC<sup>1</sup>-ACSAD<sup>2</sup>. Ces lignées sont Acsad<sub>901</sub>, Acsad<sub>899</sub><sup>3</sup>, Acsad<sub>1135</sub>, Acsad<sub>1069</sub> et la variété Ain Abid. Les testeurs sont les cultivars Mahon-Démias, Hidhab, Rmada et El-Wifak. Chaque testeur est utilisé comme polinisateur de chaque lignée. Les lignées ne sont pas croisées entre elles et les testeurs ne le sont pas entre eux (Fellahi, 2013).

Les parents et les hybrides sont mis en place le 25 décembre 2012 dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. La parcelle élémentaire a 2 rangs espacés de 20 cm et long de 10 m, soit une surface parcellaire de 4 m<sup>2</sup>. La distance entre chaque deux plants est de 10 cm. Le précédent cultural est une légumineuse (lentille). L'essai est fertilisé avec 100 kg ha<sup>-1</sup> de superphosphate à 45% avant le semis et 70 kg ha<sup>-1</sup> d'urée à 35% au stade tallage. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec le Sekator (herbicide anti-dicotylédones) [100 g/l Amidosulfuron + 25 g/l Iodosulfuron + 250 g/l Mefenpyrdiéthyl] à raison de 0.15 l ha<sup>-1</sup>, et le Dopler plus (herbicide anti-graminées) [20 g/l de Fenoxaprop-P-

<sup>1</sup>Institut Technique des Grandes Cultures

<sup>2</sup>Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands

<sup>3</sup>Lignée homologuée en 2012 sous le nom de Djanet

ethyl + 250 g/l de Diclofop-methyl + 40 g/l Mefenpyr-diethyl] à raison de 2 l ha<sup>-1</sup>. La récolte a eu lieu le 30 juin 2013.

### Mesures et notations

Les différentes notations et mesures sont faites par plante sur les lignées parentales et les populations F<sub>2</sub>, à raison de 30 plantes par génotype/croisement, pris aléatoirement. Elles ont porté sur :

- ✓ La teneur en chlorophylle (Chl, CCI) est déterminée au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre types CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA).
- ✓ La teneur relative en eau (TRE, %) est mesurée sur la dernière feuille entièrement développée pour déterminer l'état hydrique des plantes selon la méthode décrite par Mullan et Pietragalla (2012).
- ✓ Le test de l'intégrité cellulaire (IC, %) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées selon la procédure décrite par Bajjiet *al.* (2001). C'est un indicateur du degré de tolérance au stress thermique.
- ✓ La surface de la feuille étandard (SF, cm<sup>2</sup>) est estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990).
- ✓ La durée de la phase végétative (DPV, jours) est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1<sup>er</sup> janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée. C'est un indicateur du degré de précocité.
- ✓ La hauteur de la végétation (HT, cm) est prise de la surface du sol au sommet de l'épi, barbes incluses.
- ✓ Le nombre (NE) et le poids des épis (PNE, g) sont déterminés par comptage et pesage des épis présents dans le bottillon de végétation servant à la détermination de la biomasse aérienne.
- ✓ Le poids de 1000 grains (PMG, g) est déduit du comptage des graines produites par plante.
- ✓ La biomasse aérienne accumulée à maturité est déterminée à partir du poids sec de la plante (BIO, g).
- ✓ Le rendement en grains (RDT, g) est déterminé par plante après le battage du bottillon de végétation.
- ✓ L'indice de récolte (HI, %) est déterminé par le rapport du rendement en grains sur la biomasse mesurée à maturité :  $HI(\%) = 100(RDT/BIO)$ .
- ✓ Le nombre de grains par épi (NGE) est déduit par calcul en utilisant les moyennes du rendement en grains, du poids de 1000 grains et du nombre d'épis par plante :  $NGP = 1000 (RDT/PMG)$  et  $NGE = NGP/NE$ , avec : NGP, RDT, PMG, NE et NGE sont respectivement le nombre de grains produit par plante, le rendement en grains, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis par plante et le nombre de grains par épi.

Les différentes mesures et notations sur les caractères phénologiques, morphologiques, physiologiques et le rendement et ses composantes, sont faites selon les préconisations décrites dans le guide du CIMMYT élaboré par Pask *et al.* (2012).

### Analyse des données

#### Analyse de la variance

Les variables mesurées sur des plantes individuelles, par croisement, sont traitées par une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le modèle additif suivant :

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Où  $Y_{ij}$  : valeur observée du génotype  $i$  sur le bloc  $j$ ,  $\mu$ :moyenne générale de l'expérience,  $G_i$  : effet du génotype  $i$ ,  $B_j$  : effet du bloc  $j$  et  $\varepsilon_{ij}$  : effet dû à l'erreur expérimentale.

L'ANOVA a été effectuée sur les moyennes de 10 plantes par répétition pour tester l'effet génotype selon la procédure décrite par Kempthorne (1957). L'analyse génétique est ensuite conduite pour les caractères présentant un effet génotype significatif. Les données sont analysées à l'aide du programme OPSTAT (Sheoran, 2010).

#### Analyse génétique

L'analyse de l'aptitude à la combinaison permet de classer les géniteurs en termes de valeur génétique et d'identifier les meilleures combinaisons hybrides. Le modèle additif de l'analyse de la variance impliquant les effets des aptitudes à la combinaison est le suivant :

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + (s)_{ij} + r_k + e_{ijk}$$

Où  $Y_{ijk}$ :valeur du croisement obtenu à partir de la  $i^{ème}$  lignée et le  $j^{ème}$  testeur dans la  $k^{ème}$  répétition,  $\mu$  : paramètre général commun à toutes les parcelles de terrain, représenté par la moyenne générale de l'expérimentation,  $g_i$  : effet de l'AGC de la  $i^{ème}$  lignée,  $g_j$  : effet de l'AGC du  $j^{ème}$  testeur,  $s_{ij}$  : effet de l'ASC de l' $ij^{ème}$  croisement,  $r_k$  : effet de la  $k^{ème}$  répétition et  $e_{ijk}$  : déviation du  $Y_{ijk}$  de son espérance.

Les données collectées sont soumises à une analyse de la variance selon la méthode décrite par Sharma (2006) pour tester les différents effets génétiques et l'analyse. L'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des différents génotypes intègre la comparaison des parents et des hybrides : effet lignées, effet testeurs et l'interaction "Lignées× Testeurs".

**Estimation des effets de l'aptitude générale à la combinaison**

Les effets de l'AGC de la  $i^{ème}$  lignée ( $g_i$ ) sont calculés par :

$$g_i = FH_i - MC \quad \left( \sum_i^f g_i = 0 \right)$$

Où  $g_i$ : effet de l'AGC de la  $i^{ème}$  lignée,  $FH_i$ : total général des lignées et  $MC$ : Total général comprenant les lignées et les testeurs.

Les effets de l'AGC de l' $i^{ème}$  testeur ( $g_j$ ) sont déterminés par :

$$g_j = MM_j - MC \quad \left( \sum_i^m g_j = 0 \right)$$

Où  $g_j$ : effet de l'AGC du  $j^{ème}$  testeur,  $MM_j$ : total général des testeurs et  $MC$ : total général comprenant les lignées et les testeurs.

**Estimation des effets de l'aptitude spécifique à la combinaison**

Les effets de l'ASC du  $ij^{ème}$  croisement sont estimés par :

$$s_{ij} = MH_{ij} - MC - g_i - g_j \quad (i \neq j)$$

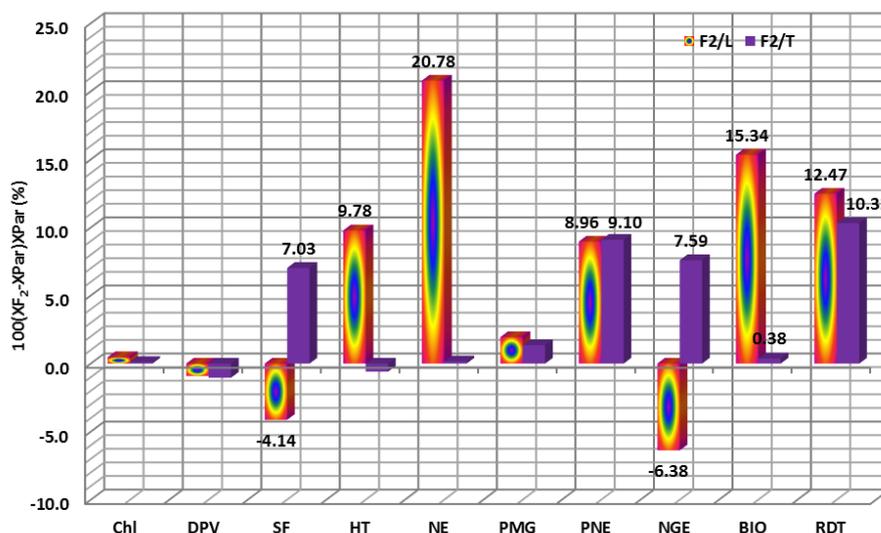
Où  $s_{ij}$ : effet de l'ASC de l' $ij^{ème}$  croisement,  $MC$ : total des croisements,  $MH_{ij}$ : total général de l' $ij^{ème}$  croisement,  $g_i$ : effet de l'AGC de la  $i^{ème}$  lignée et  $g_j$ : effet de l'AGC du  $j^{ème}$  testeur.

Les effets des aptitudes, générale et spécifique, à la combinaison sont testés relativement à leurs erreurs standards au seuil de 1% et 5% de probabilité pour l'ensemble des variables mesurées.

**Résultats et discussion**

**Comparaison des performances moyennes des parents à celles des hybrides F<sub>2</sub>**

La comparaison des performances des populations F<sub>2</sub> à celle des lignées et des testeurs indique que les populations F<sub>2</sub> présentent un avantage plus marqué que les lignées pour le nombre d'épis, la biomasse aérienne, le rendement en grains et à un degré moindre pour la hauteur de la végétation avec des gains de l'ordre de 20, 15, 12 et 9%, respectivement (Figure 1). Ces gains sont cependant accompagnés par une réduction du nombre de grains par épi de 6.38% chez les F<sub>2</sub>. Les populations F<sub>2</sub> sont, en moyenne, meilleures que les testeurs pour le rendement avec un avantage de 10.32% (Figure 1). Les différences sont faibles pour la durée de la phase végétative, le contenu en chlorophylle et le poids de 1000 grains, entre populations et parents. De même, en moyenne, les F<sub>2</sub> ne diffèrent pas significativement des testeurs pour la biomasse, le nombre d'épis et la hauteur (Tableau 1, Figure 1).



**Figure 1.** Ecarts des moyennes des F<sub>2</sub> relativement aux moyennes des lignées [100\*(X<sub>F2</sub>-X<sub>L</sub>)/X<sub>L</sub>] et des testeurs [100\*(X<sub>F2</sub>-X<sub>T</sub>)/X<sub>T</sub>] pour les caractères mesurés du diallèle partiel.

### Effets des aptitudes à la combinaison

A partir des résultats de l'analyse de l'effet génotype des différentes variables mesurées, il s'avère que la teneur relative en eau, l'intégrité de la membrane cellulaire et le rendement en grains ne présentent de la variabilité génotypique significative pour faire l'objet de l'analyse génétique (Tableau 1). L'analyse montre que la variance additive exprimée par le carré moyen de l'aptitude générale à la combinaison est comparativement plus élevée que la variance non-additive pour le contenu en chlorophylle (97.29 et 54.75 contre 11.52), la durée de la phase végétative (26.78 et 46.78 contre 7.59), la surface de la feuille étandard (35.17 et 11.99 contre 5.36), la hauteur de la plante (56.31 et 1280.87 contre 21.73), le nombre d'épis (9.56 et 12.47 contre 1.54) et de grains par épi (322.08 et 292.62 contre 57.74), le poids des épis (44.97 et 31.56 contre 11.13), le poids de 1000 grains (38.66 et 30.58 contre 3.28) et la biomasse aérienne accumulée (62.10 et 146.34 contre 21.78) (Tableau 1). En effet, le carré moyen de l'aptitude spécifique à la combinaison n'est significatif que pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la biomasse aérienne, mais reste assez faible comparativement à celui de l'ASC. Il n'est pas significatif pour les autres variables. Ces résultats suggèrent la prépondérance de la variance additive dans le contrôle génétique des variables mesurées, ci-dessus citées (Tableau 1). L'action additive des gènes est présente aussi bien chez les lignées que chez les testeurs, sauf pour la surface de la feuille étandard et le poids des épis où seule la variance additive des lignées est significative, suggérant une plus grande contribution des gènes venant de cette source de variabilité représentée par les lignées (Tableau 1).

**Tableau 1.** Carrés moyens de l'analyse de la variance des effets d'AGC et ASC des caractères mesurés en F<sub>2</sub>.

Source	Bloc	Génotype	Par vs. F <sub>2</sub>	AGC (L)	AGC (T)	ASC (L x T)	Erreur
Ddl	2	28	1	4	3	12	56
Chl	169.34	39.07**	0.22 <sup>ns</sup>	97.29**	54.75**	11.52 <sup>ns</sup>	12.34
TRE	2075.2	18.5 <sup>ns</sup>	1.4 <sup>ns</sup>	///	///	///	15.5
IC	46.1	20.7 <sup>ns</sup>	4.0 <sup>ns</sup>	///	///	///	15.4
DPV	16.38	23.96**	42.48**	26.78*	46.78**	7.59*	3.10
SF	3.25	13.92**	0.14 <sup>ns</sup>	35.17**	11.99 <sup>ns</sup>	5.36 <sup>ns</sup>	3.76
HT	210.41	316.53**	231.23**	56.31*	1280.87**	21.73*	12.60
NE	9.59	5.02**	9.21*	9.56**	12.47**	1.54 <sup>ns</sup>	1.68
PMG	3.06	19.09**	6.78 <sup>ns</sup>	38.66**	30.58**	3.28 <sup>ns</sup>	5.19
PNE	91.31	23.84*	44.01 <sup>ns</sup>	44.97*	31.56 <sup>ns</sup>	11.13 <sup>ns</sup>	13.46
NGE	62.47	157.85**	1.78 <sup>ns</sup>	322.08**	292.62*	57.74 <sup>ns</sup>	49.37
BIO	111.58	70.29*	76.64 <sup>ns</sup>	62.10 <sup>ns</sup>	146.34**	21.78**	34.07
RDT	37.8	9.7 <sup>ns</sup>	31.4 <sup>ns</sup>	///	///	///	8.0

Chl: Teneur en chlorophylle (Unité arbitraire CCI), TRE: Teneur relative en eau (%), IC: Intégrité cellulaire (%), DPV: Durée de la phase végétative (Jours après le 1<sup>er</sup> janvier), SF: Surface de la feuille étandard (cm<sup>2</sup>), HT: Hauteur des plantes (cm), NE: Nombre d'épis/plante, PMG: Poids de 1000 grains (g), PNE: Poids des épis/plante (g), NGE: Nombre de grains/épi, BIO: Biomasse aérienne/plante (g), RDT: Rendement en grains/plante (g). AGC: Aptitude générale à la combinaison, ASC: Aptitude spécifique à la combinaison. ns, \* et \*\* : effets non-significatif et significatif au seuil de probabilité de 5% et 1%, respectivement.

La prédominance de l'effet d'aptitude générale à la combinaison est une information importante pour les sélectionneurs des plantes autogames, parce que la variance additive est entièrement transmissible à la descendance, ce qui augmente le degré de ressemblance entre les parents et leurs descendants et contribue au progrès attendu de la sélection. Ces résultats suggèrent que la formation de populations de base à partir de parents venant des lignées et des testeurs aboutirait à la sélection d'individus présentant des gains significatifs et appréciables pour les différents caractères mesurés. En effet des valeurs significatives du test F des carrés moyens des AGC et d'ASC sont indicatrices de la présence de la variabilité génétique induite par les actions génétiques d'origines additive et non-additive.

### Aptitude générale à la combinaison

La contribution des différents géniteurs, lignées et testeurs, aux valeurs moyennes prises par les variables mesurées est indiquée par l'effet d'aptitude générale à la combinaison (AGC). Ainsi pour la teneur en chlorophylle, les lignées Acsad<sub>901</sub> et Acsad<sub>1069</sub> et les testeurs Mahon-Démias et El-Wifak présentent des effets d'AGC significatifs. Ces effets sont négatifs chez Acsad<sub>901</sub> et Mahon-Démias et positifs chez Acsad<sub>1069</sub> et El-Wifak (Tableau 2). La lignée Acsad<sub>1069</sub> et le testeur El-Wifak sont donc conseillés comme géniteurs dans les situations

où l'on cherche à améliorer le contenu en chlorophylle de la descendance, pour peu que le contenu en chlorophylle soit favorable à l'expression du rendement ensituation de contraintes.

La lignée Acsad<sub>1069</sub> porte le plus grand nombre d'allèles favorables à l'expression de la chlorophylle et Acsad<sub>901</sub> porte moins d'allèles favorables (Tableau 2). Pour la précocité au stade épiaison, Acsad<sub>1069</sub>, Rmada et El-Wifak présentent des effets significatifs et de signe négatif, avec des valeurs de -1.58, -1.28 et -1.62 jours. Ce qui suggère la capacité de ces génotypes à réduire de la durée de la phase végétative, mesurée en nombre de jours calendaires de la date de levée à la date d'épiaison. Toutefois, Ain Abid et Hidhab présentent des effets significatifs et de signes positifs, dont les valeurs sont de 2.17 et 2.12 jours, respectivement (Tableau 2). Ceci suggère la capacité de ces géniteurs, qui portent plus d'allèles favorables à la tardiveté, à augmenter la durée de la phase levée-épiaison de leurs descendance.

Pour la surface foliaire, Acsad<sub>901</sub> et Ain Abid présentent des effets d'AGC significatifs et de signe positif. Ces géniteurs portent les gènes qui induisent l'augmentation de la surface de la feuille étandard avec des valeurs de 1.28 et 2.27 cm. A l'inverse, Acsad<sub>1069</sub> et El-Wifak présentent des effets négatifs et significatifs de -1.87 et -0.95 cm, respectivement (Tableau 2). Pour la hauteur de la végétation, chez les lignées, Acsad<sub>901</sub> et Ain Abid s'opposent pour la capacité d'améliorer cette caractéristique. Acsad<sub>901</sub> exhibe un effet hautement significatif d'AGC et de signe négatif d'une valeur de -2.67 cm. Cette lignée porte donc plus d'allèles favorables à la réduction de la hauteur des plantes. Ain Abid, par contre, présente un effet d'AGC positif et significatif d'une valeur de 2.93 cm. Cette lignée est apte à induire une augmentation sensible de la hauteur (Tableau 2).

Dans ce contexte, tous les testeurs ont montré des effets d'AGC significatifs. Seul Mahon-Démias présente un effet d'AGC positif d'une valeur de 13.83cm. Les autres testeurs, Rmada, Hidhab et El-Wifak, se caractérisent par des effets d'aptitude générale à la combinaison négatifs, de -3.99, -5.5 et -4.34 cm, respectivement. Ils portent donc plus allèles peu favorables à l'amélioration de la hauteur de la plante. Ces testeurs réduisent sensiblement cette caractéristique (Tableau 2).

La lignée Acsad<sub>1135</sub> et le testeur Mahon-Démias sont de bons combineurs pour augmenter le nombre d'épis par plante et le poids de 1000 grains. Ils présentent des effets d'AGC positifs et significatifs estimés à 0.74 et 1.32 pour le nombre d'épis et à 2.31g et 1.87g pour le poids de 1000 grains, respectivement. La lignée Acsad<sub>899</sub> présente également un effet positif pour le nombre d'épis d'une valeur de 0.83 épis (Tableau 2). Ces lignées et testeurs sont à utiliser comme géniteurs pour améliorer le nombre d'épis par plante et le poids de 1000 grains, suite à la présence, chez ces derniers, de plus d'allèles favorables à l'expression de ces variables.

Pour le poids des épis par plante, l'effet d'AGC positif et significatif est exprimé par le testeur Mahon-Démias (1.71g), alors que des effets négatifs et significatifs sont présents chez la lignée Acsad<sub>901</sub> (-3.14g) et le testeur El-Wifak (-1.75 g) (Tableau 2). Ces résultats suggèrent que seul le testeur Mahon-Démias porte plus d'allèles favorables à l'augmentation du poids des épis. Les améliorations significatives, les plus importantes, dans le sens de l'augmentation, du nombre de grains par épi, viennent des lignées Acsad<sub>901</sub> et Ain Abid et du testeur Hidhab, avec des effets d'AGC, respectifs de 5.94, 4.96 et 3.66 graines. Ces résultats suggèrent que ces lignées et testeurs portent plus d'allèles favorables à l'augmentation de l'expression de ce caractère. Par contre les lignées et testeurs qui portent moins d'allèles favorables à l'augmentation de la valeur moyenne de ce caractère sont Acsad<sub>899</sub> (-3.84 graines), Acsad<sub>1135</sub> (-5.51 graines) et Mahon-Démias (-6.36 graines) qui présentent des effets d'AGC significatifs et négatifs (Tableau 2).

Pour la biomasse aérienne, Acsad<sub>901</sub> et Mahon-Démias présentent des effets d'AGC significatifs et de signes opposés. Mahon-Démias exhibe un effet d'AGC positif (4.26g). Ce géniteur porte donc les gènes qui induisent l'augmentation du poids de la plante. A l'inverse, Acsad<sub>901</sub> présente un effet négatif avec une valeur estimée à -3.75g, ce qui suggère que cette lignée est porteuse des gènes qui réduisent l'expression de ce caractère (Tableau 2). L'étude des corrélations entre les performances des parents ( $Y_i$ ) et les effets de l'AGC révèle des liaisons significatives pour l'ensemble des caractères, hormis, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains, qui montrent des liaisons non significatives au seuil de 5% de probabilité (Tableau 2). Des liaisons significatives suggèrent que les valeurs des hybrides sont prévisibles sur la base des valeurs de l'AGC des parents qui, elles-mêmes, sont liées aux performances parentales *per se* ou valeurs propres des parents (Gallais, 1976 ; Labdi et al., 2015). Dans ce contexte, lorsque l'ordre de classement des parents, basé sur les moyennes, est identique à celui basé sur les effets d'AGC, il suggère que les valeurs propres parentales sont indicatrices des effets d'AGC. Dans ce cas de figure, le choix des parents à croiser peut se faire sur la base des valeurs propres. Ces résultats justifient, tant soit peu, la pratique des sélectionneurs qui choisissent les géniteurs sur la base du principe 'croise avec le meilleur avec le meilleur pour obtenir le meilleur.

**Tableau 2.** Effets de l'aptitude générale à la combinaison (AGC) des caractères mesurés chez les parents.

Parents	Caractères								
	Chl	DPV	SF	HT	NE	PMG	PNE	NGE	BIO
<b>Lignées</b>									
Acsad <sub>901</sub>	-2.85**	0.83	1.28*	-2.67**	-1.39**	-1.49*	-3.14**	5.94**	-3.75*
Acsad <sub>899</sub>	-1.25	-0.58	-0.93	-1.47	0.83*	-2.08**	0.16	-3.84*	0.48
Acsad <sub>1135</sub>	1.59	-0.83	-0.76	0.91	0.74*	2.31**	1.67	-5.51**	1.78
Acsad <sub>1069</sub>	4.18**	-1.58**	-1.87**	0.31	0.00	0.97	-0.18	-1.55	-0.29
Ain Abid	-1.67	2.17**	2.27**	2.93**	-0.19	0.28	1.50	4.96**	1.78
<i>SE (g<sub>i</sub>)</i>	0.91	0.47	0.50	0.91	0.34	0.59	0.95	1.81	1.51
<b>Testeurs</b>									
Mahon-Démias	-2.09*	0.78	0.73	13.83**	1.32**	1.87**	1.71*	-6.36**	4.26**
Rmada	-1.14	-1.28**	-0.57	-3.99**	-0.29	0.15	-0.39	2.05	-2.17
Hidhab	1.41	2.12**	0.79	-5.5**	-0.24	-1.53**	0.42	3.66*	0.42
El-Wifak	1.82*	-1.62**	-0.95*	-4.34**	-0.79*	-0.50	-1.75*	0.66	-2.50
<i>SE (g<sub>i</sub>)</i>	0.79	0.39	0.43	0.79	0.29	0.51	0.82	1.57	1.51
<i>r (Y<sub>iv</sub>/AGC<sub>ii</sub>)</i>	0.671*	0.810**	0.786*	0.951**	0.655	0.384	0.787*	0.697*	0.771*

Chl: Teneur en chlorophylle (Unité arbitraire CCI), DPV: Durée de la phase végétative (Jours après le 1<sup>er</sup> janvier), SF : Surface de la feuille étendard (cm<sup>2</sup>), HT: Hauteur des plantes (cm), NE: Nombre d'épis/plante, PMG: Poids de 1000 grains (g), PNE: Poids des épis/plante (g), NGE: Nombre de grains/épi, BIO: Biomasse aérienne/plante (g). *r (Y<sub>iv</sub>/AGC<sub>ii</sub>)*: Coefficient de corrélation entre les valeurs parentales et l'AGC. \* et \*\* : effets non significatifs et significatifs au seuil de probabilité de 5% et 1%, respectivement.

Les résultats de la présente étude montrent que le choix des parents à croiser pour améliorer le contenu en chlorophylle, la durée de la phase végétative, la surface de la feuille étandard, la hauteur de la végétation, le poids des épis, celui de la plante et le nombre de grains per épi peut se faire sur la base des effets d'AGC. Il peut également se faire sur la base des valeurs propres parentales (performance *per se*) suite aux liaisons significatives entre ces deux paramètres (Tableau 2). En effet les coefficients de corrélation entre ces deux paramètres sont de 0.671\*, 0.810\*\*, 0.786\*, 0.951\*\*, 0.787\*, 0.771\* et 0.697\*, respectivement pour les caractères cités dans l'ordre ci-dessus (Tableau 2). Dans ce contexte, Gowda *et al.* (2012) préconisent de choisir les géniteurs sur la base de leurs effets d'AGC.

#### **Aptitude spécifique à la combinaison**

L'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) identifie les meilleures combinaisons hybrides dont les meilleures paires alléliques sont complémentaires. Les effets d'ASC des différents caractères varient selon le croisement et le caractère. Peu de populations  $F_2$  se distinguent par des effets d'aptitude spécifique à la combinaison significatifs (Tableau 3). Ainsi, l'hybride Acsad<sub>901</sub>×Rmada présente des effets d'ASC significatifs et positifs simultanément pour la durée de la phase végétative et le nombre de grains par épi avec des valeurs de 1.70 jours et 9.76 graines, respectivement (Tableau 3). Des effets d'ASC significatifs et de signes opposés sont notés pour la surface de la feuille étandard (2.04 cm<sup>2</sup>) et la hauteur de la végétation (-4.86\*\*) chez l'hybride Ain Abid×Mahon-Démias (Tableau 3). Acsad<sub>901</sub>× Mahon-Démias présente un effet d'ASC significatif et de signe négatif pour la surface foliaire, à une valeur de -1.96 cm<sup>2</sup>. Des effets d'ASC significatifs sont notés pour la hauteur de la végétation et la durée de la phase végétative chez les hybrides ayant Acsad<sub>899</sub> comme parent commun : Acsad<sub>899</sub>×Mahon-Démias (3.38 cm), Acsad<sub>899</sub>×Hidhab (2.71 jours) et Acsad<sub>899</sub>× El-Wifak (-2.88 jours). Il est intéressant de noter que la lignée Acsad<sub>899</sub> ne présentait pas d'effet d'AGC significatif ni pour la hauteur ni pour la durée de la phase végétative. Ces résultats suggèrent que, parfois, le croisement entre des parents aux valeurs propres moyennes peut produire une descendance transgressive pour le ou les caractères ciblés par la sélection. Les combinaisons aux fortes valeurs d'ASC sont candidates à des suivies et sélections futures sur des lignées avancées, car elles présentent des sources de transgressions possibles (Bouzerzour, 1998). L'étude des corrélations entre les performances des hybrides ( $Y_{ij}$ ) et les effets de l'ASC, indique des liaisons significatives pour l'ensemble des caractères mesurés à l'exception de la hauteur des plantes, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains (Tableau 3). Ces résultats indiquent que l'expression de la performance d'hybride est associée à la valeur de l'ASC et que les hybrides performants ont des ASC élevées.

**Tableau 3.** Effets de l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) des caractères mesurés chez les populations F<sub>2</sub>.

Populations F <sub>2</sub>	Caractères								
	Chl	DPV	SF	HT	NE	PMG	PNE	NGE	BIO
Acsad <sub>901</sub> × Mahon-Démias	0.58	-1.03	-1.96*	2.58	0.14	-0.31	1.28	-2.17	0.84
Acsad <sub>901</sub> ×Rmada	2.15	1.70*	0.69	-2.52	-0.70	-0.54	-1.63	9.76**	-0.86
Acsad <sub>901</sub> ×Hidhab	-2.85	-0.70	1.32	0.97	0.49	-0.45	-0.05	-3.53	-0.15
Acsad <sub>901</sub> × El-Wifak	0.12	0.03	-0.05	-1.03	0.07	1.30	0.40	-4.07	0.17
Acsad <sub>899</sub> × Mahon-Démias	-0.77	0.72	0.35	3.38*	0.35	-0.20	-0.87	-1.48	0.39
Acsad <sub>899</sub> ×Rmada	-2.36	-0.55	-1.12	-1.15	-0.51	-0.57	-1.07	-0.94	-2.38
Acsad <sub>899</sub> ×Hidhab	2.40	2.71**	1.14	-3.06	-0.52	1.01	-0.92	-0.91	-2.08
Acsad <sub>899</sub> × El-Wifak	0.73	-2.88**	-0.37	0.84	0.68	-0.23	2.86	3.34	4.08
Acsad <sub>1135</sub> × Mahon-Démias	1.14	0.30	-0.17	-1.70	0.77	-1.25	1.04	1.83	1.63
Acsad <sub>1135</sub> ×Rmada	1.75	-0.97	1.36	-0.25	0.45	1.50	2.77	-2.21	2.67
Acsad <sub>1135</sub> ×Hidhab	-1.34	0.30	-0.76	1.56	-0.80	0.14	-1.62	1.56	-1.25
Acsad <sub>1135</sub> × El-Wifak	-1.55	0.37	-0.43	0.39	-0.43	-0.39	-2.19	-1.17	-3.04
Acsad <sub>1069</sub> × Mahon-Démias	-1.51	0.72	-0.27	0.60	-0.69	1.73	0.42	1.49	0.78
Acsad <sub>1069</sub> ×Rmada	0.85	-0.89	0.76	0.82	0.98	-0.59	0.58	-3.16	1.68
Acsad <sub>1069</sub> ×Hidhab	1.03	-0.95	-0.57	-1.81	-0.07	0.01	1.04	4.41	0.34
Acsad <sub>1069</sub> × El-Wifak	-0.37	1.12	0.08	0.39	-0.22	-1.15	-2.04	-2.73	-2.80
Ain Abid × Mahon-Démias	0.56	-0.70	2.04*	-4.86**	-0.56	0.04	-1.87	0.33	-3.64
Ain Abid ×Rmada	-2.39	0.70	-1.69	3.11	-0.23	0.20	-0.65	-3.45	-1.10
Ain Abid ×Hidhab	0.76	-1.37	-1.13	2.34	0.89	-0.71	1.55	-1.52	3.14
Ain Abid× El-Wifak	1.07	1.37	0.78	-0.60	-0.10	0.47	0.97	4.64	1.60
SE (s <sub>ij</sub> )	1.57	0.79	0.87	1.59	0.58	1.02	1.64	3.14	2.61
r (Y <sub>ij</sub> , ASC <sub>ij</sub> )	0.447*	0.519*	0.516*	0.245	0.443	0.371	0.572**	0.492*	0.525*

Chl: Teneur en chlorophylle (Unité arbitraire CCI), DPV: Durée de la phase végétative (Jours après le 1<sup>er</sup> janvier), SF : Surface de la feuille étendard (cm<sup>2</sup>), HT: Hauteur des plantes (cm), NE: Nombre d'épis/plante, PMG: Poids de 1000 grains (g), PNE: Poids des épis/plante (g), NGE: Nombre de grains/épi, BIO: Biomasse aérienne/plante (g). r (Y<sub>ij</sub>, ASC<sub>ij</sub>): Coefficient de corrélation entre les valeurs des hybrides et l'ASC. \* et \*\* : effets significatifs au seuil de 5% et 1% de probabilité, respectivement.

**Contribution des lignées, des testeurs et l'interaction "Lignées × Testeurs" à la variation totale**

La contribution des lignées, des testeurs et l'interaction "Lignées × Testeurs" à la variation totale est donnée en tableau 4. Les lignées utilisées comme géniteurs femelles participent pour plus de 40% à la variation totale pour : la teneur en chlorophylle (56.26%), la surface de la feuille étandard (58.39%) et le poids de 1000grains (54.13%). Les lignées montrent contribution moyenne, valeurs variant de 20 à 40%, à la variance totale pour la durée de la phase végétative (31.65%) et la biomasse aérienne (26.18%), et une faible contribution pour la hauteur de la végétation (5.20%).

**Tableau 4.** Contribution (%) des lignées, des testeurs et de leur interaction à la variance totale.

Caractères	Source de variation		
	Lignées	Testeurs	Lignées× Testeurs
Chl	56.26	23.74	20.00
DPV	31.65	41.46	26.89
SF	58.39	14.92	26.68
HT	5.20	88.77	6.02
NE	40.60	39.72	19.68
PMG	54.13	32.11	13.77
PNE	44.07	23.20	32.73
NGE	45.06	30.70	24.23
BIO	26.18	46.27	27.55

Chl: Teneur en chlorophylle (Unité arbitraire CCI), DPV: Durée de la phase végétative (Jours après le 1<sup>er</sup> janvier), SF : Surface de la feuille étandard (cm<sup>2</sup>), HT: Hauteur des plantes (cm), NE: Nombre d'épis/plante, PMG: Poids de 1000 grains (g), PNE: Poids des épis/plante (g), NGE: Nombre de grains/épi, BIO: Biomasse aérienne/plante (g).

Les testeurs utilisés comme géniteurs mâles montrent une plus grande contribution (supérieure à 40%) à la variance totale pour peu de caractères mesurés, dont la durée de la phase végétative (41.46%), la hauteur de la végétation (88.77%) et la biomasse aérienne (46.27%). La plus faible contribution des testeurs est enregistrée pour la surface de la feuille étandard (14.92%). Par contre, des contributions intermédiaires avec des valeurs justes moyennes variant de 20 à 40%, sont notées pour le reste des variables. La contribution de l'interaction "Lignées × Testeurs" est moyenne (valeurs variant de 20 à 40%) pour la teneur en chlorophylle (20.00), la durée de la phase végétative (26.89), la surface de la feuille étandard (26.68), le nombre de grains par épi (24.23), le poids des épis (32.73) et la biomasse aérienne (27.55). Elle est faible, valeurs inférieures à 20% pour le reste des caractères dont la hauteur de la végétation (6.02), le nombre d'épis (19.68) et le poids de 1000grains (13.77) (Tableau 4).

Dans la mesure où une contribution élevée à la variance totale est suggestive d'une plus grande variabilité du caractère considéré chez les géniteurs concernés ; alors qu'une faible contribution est indicatrice d'une faible variabilité pour le caractère en question chez les géniteurs considérés. A ce sujet, Akbar *et al.* (2009) mentionnent la majeure contribution de l'interaction "Lignées × Testeurs" dans la variance totale pour le rendement grain par plante et pour la hauteur de la végétation ; alors que les lignées contribuent plus à la variance totale du nombre d'épis par plant, du poids de 1000grains, de la longueur de l'épi et de la durée de la phase végétative.

**Conclusion**

Les résultats de la présente étude mettent en relief la présence de la variabilité génotypique pour la majorité des variables mesurées. Les lignées apportent plus de variabilité génétique pour Chl, SF, NE, NGE, PMG et PNE. Par contre les testeurs sont plus variables pour DPV, HT et BIO. Les populations F<sub>2</sub> sont, en moyenne, meilleures que les lignées et les testeurs pour plusieurs caractères dont NE, BIO et RDT. L'analyse génétique du diallele partiel montre la présence des effets géniques additifs et non-additifs dans l'expression des caractères étudiés avec prépondérance des effets additifs. L'étude des aptitudes à la combinaison a révélé la présence des effets d'AGC et d'ASC significatifs pour plusieurs variables. Ainsi, chez les lignées Ain Abid est un bon combineur pour améliorer plusieurs caractères à la fois y compris DPV, SF, HT, NGE. Parmi les testeurs Mahon-Démias est conseillé comme géniteur dans les situations où l'on cherche à améliorer les caractères HT, NE, PMG, PNE, NGE et BIO. L'étude des relations AGC-valeurs propres parentales ( $Y_{ij}$ ) indique que le choix des parents à croiser dans un programme d'amélioration de blé tendre est envisageable sur la base de Chl, DPV, SF, HT, PNE, NGE et BIO à la suite de la corrélation positive et significative entre les valeurs d'AGC et la performance de ces variables. Peu de populations F<sub>2</sub> comme Acsad<sub>901</sub> × Rmada pour DPV et NGE, Ain Abid × Mahon-Démias pour SF et HT ; Acsad<sub>901</sub> × Mahon-Démias

pour SF ; Acsad<sub>899</sub>× Mahon-Démias, Acsad<sub>899</sub>×Hidhab et Acsad<sub>899</sub>× El-Wifak pour HT et DPV se distinguent par des effets d'aptitude spécifique à la combinaison significatifs. L'étude des corrélations entre les performances des hybrides ( $Y_{ij}$ ) et les effets de l'ASC, indique des liaisons significatives pour l'ensemble des caractères mesurés à l'exception de HT,NE et poids de 1000 grains, reflétant que l'expression de la performance des hybrides est associée à la valeur de l'ASC et que les hybrides performants ont des ASC élevées.

### Références bibliographiques

- Acquaah, G. 2009. *Principles of plant genetics and breeding*. John Wiley & Sons.
- Akbar, M., Anwar, J., Hussain, M., Qureshi, M. H. and Khan, S. 2009. Line x tester analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Research*, 47(1): 411-420.
- Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J. M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160(4): 669-681.
- Bouzerzour, H. 1998. Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge en zones semi-aride. *Thèse de Doctorat*, ISN, Université de Constantine.
- Brown, J., Caligari, P. D. S. and Campos, H. A. 2014. *Plant Breeding*. 2<sup>nd</sup> ed. of Introduction to Plant Breeding – revised and updated. John Wiley & Sons.
- Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. and Saci, A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(5): 854-860.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. F. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Harlow, U.K. Longman.
- Fellahi, Z. 2013. Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Mémoire de Magister*, Université Saad Dahlab-Blida, 136 p.
- Gallais, A. 1976. Sur la signification de l'aptitude générale à la combinaison. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 26(1): 1-13.
- Gardner, C. O. 1963. Estimation of genetic parameters in cross-pollinated plants and their implications in plant breeding. *Statistical Genetics and Plant Breeding*, NAS - NRS Washington D, C. Publication, 982: 228-234.
- Gowda, M., Longin, C. F. H., Lein, V. and Reif, J. C. 2012. Relevance of specific versus general combining ability in winter wheat. *Crop Science*, 52(6): 2494-2500.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(4): 463-493.
- Hallauer, A. R. and Miranda, Fo, J. B. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2<sup>nd</sup> ed., Iowa State University Press, Ames, IA., 468 p.
- Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H. and Boutekrabt, A. 2013. Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 4(1): 1027-1033.
- Kempthorne, O. 1957. *An introduction to genetic statistics*. John Wiley and Sons, Inc.; New York.
- Labdi, M., Ghomari, S. and Hamdi, S. 2015. Combining Ability and Gene Action Estimates of Eight Parent Diallel Crosses of Chickpea for *Ascochyta Blight*. *Advances in Agriculture*, Article ID 832597, 7 p.
- Mullan, D. and Pietragalla, J. 2012. Leaf relative water content. In: Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. and Reynolds, M. (Eds.), *Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping*. CIMMYT, Mexico, pp: 25-27.
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M. and Reynolds, M. P. 2012. *Physiological breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping*. Mexico D. F. CIMMYT.
- Sharma, J. R. 2006. *Statistical and biometrical techniques in plant breeding*. New Age International (P) Ltd., New Delhi.
- Sheoran, O. P. 2010. Online Statistical Analysis (OPSTAT). Developed by CCS Haryana Agricultural University, Hissar, Haryana, India.
- Spagnoletti-Zeuli, P. L. and Qualset, C. O. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105(3): 189-202.
- Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General and specific combining ability in single crosses of corn. *Agronomy Journal*, 34(10): 923-932.