

EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR QUELQUES PREDICTEURS DES VALEURS F_1 ET DE L'HÉTÉROSI CHEZ LE BLE DUR (*Triticum Durum* Desf.)

HANIFI-MEKLICHE L. ⁽¹⁾, BOUKECHA D. ⁽²⁾ et MEKLICHE A. ⁽²⁾
courriel : hanifileila@yahoo.fr

⁽¹⁾ Labo. de Rech. Production Végétale, I.N.A. el-Harrach, Alger

⁽²⁾ Dépt de Phytotechnie, I.N.A. , I.N.A. El-Harrach, Alger

RESUME

L'effet du stress hydrique sur les différents prédicteurs des valeurs F_1 et de l'hétérosis du blé dur (*Triticum durum* Desf.) a été étudié en utilisant un croisement demi-diallèle entre cinq variétés dans un dispositif split-plot. Le facteur stress hydrique comporte trois traitements disposés en sous blocs. Les corrélations F_1 -parent moyen et F_1 - AGC sont non significatives dans la majorité des cas. Il y a une forte influence de l'ASC au niveau des caractères nombre de grains/épi, poids de 1000 grains, biomasse aérienne, indice de récolte (au niveau des trois traitements), longueur de l'épi (irrigué), hauteur de la tige (irrigué et stressé à la montaison) et rendement en grain (irrigué et stressé à l'épiaison). Le stress hydrique affecte la signification de quelques corrélations F_1 -ASC, F_1 -AGC et F_1 -parent moyen.

Mots clés : Prédicteurs, F_1 , hétérosis, stress hydrique, blé dur.

**EFFECT OF WATER STRESS ON SOME PREDICTORS OF
F₁ VALUES AND HETEROISIS OF DURUM WHEAT
(*Triticum durum* Desf.)**

A B S T R A C T

The effect of the water stress on the predictors of F₁ values and the heterosis of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) was studied by using a half crossing diallel between five varieties in Split-plot design. The water factor stress comprises three treatments laid out in main plot. The correlations F₁ – mid-parent and F₁ - GCA are not significant in the majority of the cases. There is a strong SCA influence for ear grains numbers, thousand grains weight, aboveground biomass, harvest index (on the level of the three treatments), ear length (irrigated), straw height (irrigated and stressed at stem elongation) and grain yield (irrigated and stressed at heading date). The water stress affects the significance of some correlations F₁ - SCA, F₁ - GCA and F₁ – mid-parent.

Key words : Predictors F₁, heterosis, water stress, durum wheat.

ملخص

تمت دراسة الإجهاد المائي على مختلف المتنبئات (prédicteurs) لقيم الجيل الأول (F1) والهتروزييس (l'hétérosis) عند خمسة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) باستعمال تصالبي نصف ثنائي الصنو عبر أداة (split-plot) التجريبية. إن دراسة عامل الإجهاد المائي عبر التجربة مركبة من ثلاث قوالب (blocs). وزعت في كل قالب ثلاثة علاجات نقص الماء. أبرزت أن الارتباطات بين الجيل الأول F1 - الوالد متوسط و AGC - F1 غير معتبة احصائيا في معظم الحالات. كما بينت الدراسة تأثير الـ ASC على العوامل التالية: عدد الحبات في كلي سنبل، وزن ألف حبة، الكتلة الحيوية الخضرية، مؤشر الحصاد (علي مستوى علاجات)، طول السنبل (علاج مسقي)، طول الساق (علاجات مجهد عند الصعود، السنبل و علاج مسقي) و مردود من حبات القمح (مجهد عند تسنبل و مسقي). كما أن الإجهاد المائي يؤثر أيضا على دلالة بعض الارتباطات بين F1-ASC, F1, AGC - F1 و الوالد المتوسط F1-.

الكلمات الجوهرية: الهتروزييس، الإجهاد المائي، قمح الصلب، الجيل الأول، المتنبئات،

1. INTRODUCTION

La sélection d'hybrides performants dans une espèce donnée dépend de l'importance de l'hétérosis obtenu. Le niveau d'hétérosis dépendrait de la divergence des deux parents. La prédiction de la valeur F_1 à partir de la divergence parentale peut alors être recherchée. Si la corrélation est élevée, le sélectionneur a alors le moyen d'effectuer un tri préliminaire au niveau des parents sur la base d'un indice de distance (LEFORT-BUSON, 1986).

Plusieurs méthodes utilisant la valeur propre, la divergence parentale estimée par la statistique D^2 de Mahalanobis basée sur les données phénotypiques et la distance de HANSON et CASAS (HANSON et CASAS, 1968) ont été utilisées pour étudier la relation parents-descendance. Les résultats des différents travaux utilisant la distance D^2 de Mahalanobis sur blé (SINGH et BEHL, 1991, PICARD *et al.*, 1992), sur maïs (MELO *et al.*, 2001), sur cacao (DIAS *et al.*, 2003) et la distance de HANSON et CASAS sur le petit mil pénicillaire (MARCHAIS, 1978) et sur orge (HANIFI-MEKLICHE et GALLAIS, 1999) montrent que la corrélation entre celles-ci et la valeur moyenne et/ou l'hétérosis exprimés par l'hybride varie d'une espèce à l'autre, d'un génotype à l'autre, d'un caractère à l'autre et de l'environnement.

Récemment de nouveaux outils de prédiction fournis par les marqueurs moléculaires ont été utilisés. Là aussi, les résultats varient d'une expérience à l'autre. Les résultats obtenus par XIAO *et al.* (1996) montrent une corrélation élevée entre l'hétérosis et la distance moléculaire chez le riz. Cependant, chez le cacao, sur cinq caractères étudiés, seuls deux (poids humides des semences/plante et poids humides des semences/fruit) montrent une corrélation positive et significative entre, d'une part, la distance mesurée à l'aide des données de la RAPD et, d'autre part, la performance moyenne et l'hétérosis des hybrides (DIAS *et al.*, 2003). Par contre, GARCIA *et al.* (2002) ne trouvent aucune corrélation significative entre les distances génétiques basées sur les marqueurs RAPD et l'hétérosis F_1 chez le poivron vert. De même, les résultats de XU *et al.* (1999) sur le riz montrent qu'il n'y a aucune corrélation entre la diversité parentale mesurée par les marqueurs SSR et la performance F_1 ou l'hétérosis par rapport au parent moyen pour tous les caractères quantitatifs étudiés. Les résultats obtenus par REDONA *et al.* (2001) sur le riz suggèrent que la relation entre la divergence parentale mesurée par l'hétérozygotie des marqueurs microsatellite et le niveau d'hétérosis chez les hybrides varie avec les génotypes étudiés et que la prédiction de l'hétérosis à partir des données des marqueurs moléculaires peut être difficile.

En Algérie, le problème du stress hydrique de fin de cycle chez les céréales se pose avec acuité. La question est de savoir si le stress hydrique peut affecter les différents prédictors des valeurs F_1 et de l'hétérosis ?

L'objectif de ce travail est donc d'étudier, dans différentes situations de stress hydrique, les différents prédictors des valeurs F_1 et de l'hétérosis en utilisant la valeur propre, les distances de Mahalanobis et de Hanson et Casas.

2. MATERIEL ET METHODES

Ce travail fait suite à une étude de l'effet du stress hydrique sur l'hétérosis F_1 du blé dur (*Triticum durum* Desf.) (BOUKECHA, 2001). Il porte sur 5 variétés de blé dur et 10 hybrides issus du croisement demi-diallèle de ces mêmes variétés. Les variétés utilisées sont Waha, Vitron, Ardente, Siméto et Saadi. L'expérimentation est réalisée en pot à l'Institut National Agronomique. Les plantules des 15 génotypes obtenus après germination dans les boîtes de Pétri sont repiquées à raison de 2 plantules par pot en polyéthylène d'une contenance de 7 l. Le substrat utilisé est un sol reconstitué avec un mélange de terre – sable – terreau en proportion 1 : 8 : 1 dont la capacité de rétention est de 6,6 %. L'essai est disposé en split plot avec 3 blocs. Le facteur irrigation comporte 3 traitements disposés en sous blocs, chaque sous blocs comprend les 15 génotypes et chaque génotype est représenté par 4 pots, soit au total 14 répétitions/génotype. Les traitements appliqués sont :

- Traitement irrigué (IRR), les pots sont conduits en irrigué tout le long du cycle de développement de la plante,
- Traitement stressé au stade montaison (MON), les plantes sont conduites en irrigué jusqu'à la montaison puis stressés par arrêt de l'irrigation jusqu'au tarissement de 80 % de la réserve utile du sol puis réhydratés.
- Traitement stressé au stade épiaison (EPI), le déficit hydrique est appliqué par arrêt de l'arrosage au stade épiaison.

Les caractères étudiés sont la date d'épiaison qui correspond au nombre de jours du semis jusqu'à la date d'épiaison de 50 % des plantes se trouvant dans les pots, la hauteur de la tige en cm (HT), la longueur des barbes en cm (LB), la longueur du col de l'épi en cm (LC), la surface de la feuille étandard en cm² (SF), le nombre de grains par épi (NGE), le poids de mille grains (PMG), la biomasse par plante (BIO), le rendement en grain par plante (RDT) et l'indice de récolte (IR). Les différentes mesures ont été effectuées sur l'ensemble des plantes de l'essai.

Le modèle 1 où l'effet bloc est considéré comme une variable aléatoire et les variétés comme variable fixe et la méthode 3 (les parents, une série de F₁ sans les réciproques) de l'analyse diallèle de GRIFFING (1956) ont été utilisés pour chaque traitement séparément.

La performance y_{ij} d'un croisement peut être décomposée sous une forme faisant apparaître l'hétérosis h_{ij} défini comme l'écart de la moyenne de l'hybride par rapport à la moyenne de ses parents, d'après le modèle de EBERHART et GARDNER (1966) :

$$y_{ij} = \bar{v} + \frac{1}{2}v_i + \frac{1}{2}v_j + h_{ij}$$

$$y_{ii} = \bar{v} + v_i$$

v_i est la valeur propre centrée du parent i et \bar{v} est la moyenne des parents.

Les principes de décomposition factorielle peuvent être appliqués aux valeurs h_{ij} ($i \neq j$) de la manière suivante :

$$h_{ij} = \bar{h} + h_i + h_j + S_{ij}$$

\bar{h} est l'hétérosis moyen

h_i est l'hétérosis lié au parent i appelé hétérosis parental (ou général)

S_{ij} est l'hétérosis spécifique et est donc égal à l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC).

L'aptitude générale à la combinaison (AGC) peut être décomposée comme suit :

$$AGC = h_i + \frac{1}{2}v_i$$

$$v_i = l_i - \bar{l}$$

l_i est la valeur propre du parent i et \bar{l} est la moyenne de toutes les variétés.

3. RESULTATS

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre les génotypes pour l'ensemble des caractères et un effet traitement significatif à très hautement significatif pour la majorité des caractères à l'exception de la date d'épiaison, de la longueur des barbes et de la longueur du col (tableau 1). L'interaction génotype x irrigation est très hautement significative pour la majorité des caractères étudiés à l'exception du nombre de jours nécessaires à l'épiaison. Ceci montre que la valeur d'un génotype donné dépend du milieu dans lequel il se développe. La comparaison des moyennes montre que le stress hydrique à l'épiaison provoque une réduction beaucoup plus importante de l'ensemble des caractères par rapport à celle obtenue par un stress hydrique à la montaison (tableau 2). L'analyse diallele de GRIFFING (1956) a été réalisée pour chaque traitement séparément à cause de la signification de l'interaction génotype x irrigation pour la majorité des caractères. Cette analyse révèle une variance d'AGC et d'ASC très hautement significative (tableau 3) pour l'ensemble des caractères. Cependant, les pourcentages de la variation expliqués par l'ASC sont plus importants que ceux de l'AGC, montrant ainsi le rôle prédominant des effets non additifs (tableau 4).

3.1. CORRELATION F_1 – PARENT MOYEN

La majorité des corrélations F_1 – parent moyen (tableau 5) au niveau des différents caractères par traitement sont non significatives à l'exception du nombre de grains/épi ($r = -0,88^{***}$ pour le traitement irrigué) et de l'indice de récolte ($r = 0,70^*$ et $0,71^*$ respectivement pour les traitements irrigué et stressé à la montaison). Le parent moyen explique 76,91 % et 50 % de la variation du nombre de grains/épi et de l'indice de récolte respectivement. Sur la base de cette corrélation, ces deux caractères apparaissent comme étant les plus additifs par rapport aux autres caractères.

3.2. CORRELATION F_1 – ASC.

Cette corrélation permet de séparer les plus faibles corrélations F_1 – parent moyen, celles qui sont dues à une imprécision dans les mesures de celles qui sont dues à l'ASC.

Le nombre de corrélations significatives est plus important au niveau de l'essai irrigué (7 sur 10) suivi de l'essai stressé à la montaison (5 sur 10) et de l'essai stressé à l'épiaison (5 sur 10) (tableau 5). L'ASC explique plus de 50 % de la variation totale obtenue au niveau des caractères nombre de

Tableau 1 : Analyse de la variance (carrés moyens) des différents caractères

CARACTERES	Génotype	Traitement	Génotype x traitement ddl = 28	Résiduelle	Résiduelle	C.V. (%)	
	Ddl = 14 (1)	ddl = 2 (2)		ddl = 84 (1)	ddl = 4 (2)	(1)	(2)
RDT (g)	57,6***	117,7***	31,3***	0,8	0,7	8,6	9,6
NGE	737,5***	2858,9***	960,1***	9,8	4,3	11,8	9,1
PMG (g)	659,1***	236,1**	349,7***	7,8	9,7	6,7	6,5
BIO (g)	30,4***	297,1**	55,5***	3,4	8,5	7,8	6,3
IR	0,1***	0,1***	0,1***	$7,02 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	6,6	7,8
DE	358,7***	20,9 ns	18,0 ns	27,9	10,9	2,4	3,4
LB	5,5***	1,1 ns	4,2***	0,9	0,9	7,4	7,6
LC	19,3***	5,4 ns	8,9***	1,8	1,9	13,5	11,2
HT (cm)	40,8***	67,8*	33,3***	9,4	7,2	5,1	5,1
SF (cm ²)	319,9***	937,8***	160,8***	14,8	5,6	5,4	7,9

SCE résiduelle 1 = SCE génotype x bloc + SCE génotype x bloc x irrigation.
Cette résiduelle est utilisée pour le calcul du F observé des effets génotype et interaction génotype x irrigation,

SCE résiduelle 2 = SCE bloc x irrigation. Cette résiduelle est utilisée pour le calcul du F observé de l'effet irrigation

*, **, *** significatif à 0,05, 0,01, 0,001 respectivement, ns = non significatif,

C.V. = coefficient de variation de l'erreur

Tableau 2 : Moyennes des hybrides F1 et des parents en fonction du stress hydrique

CARACTERES	F1			PARENTS		
	Irrig	Mont	Epi ai	Irrig	Mont	Epi ai
RDT	11,86	10,12	7,97	9,24	9,07	7,41
NGE	52,27	46,37	32,35	44,65	48,65	39,72
PMG	51,57	45,60	50,00	41,80	39,99	38,14
BIO	30,74	26,39	26,78	30,68	27,04	24,42
IR	0,40	0,39	0,30	0,30	0,34	0,31
DE	82,20	82,73	80,97	85,20	84,40	84,27
LB	12,07	12,33	12,50	12,40	12,80	11,93
LC	12,00	10,90	10,77	12,00	13,33	12,40
HT	61,80	59,00	58,37	59,47	60,40	59,07
SF	57,70	48,77	50,27	53,53	45,93	46,93

Tableau 3 : Analyse de la variance du demi-diallèle (5 x 5) selon la méthode 3 modèle I de GRIFFING (1956)

CARACTERES	IRRIG		MONT		EPIAI	
	CM AGC (ddl 4)	CM ASC (ddl 10)	CM AGC (ddl 4)	CM ASC (ddl 10)	CM AGC (ddl 4)	CM ASC (ddl 10)
RDT	40,59***	124,25***	64,11***	108,47***	13,89***	32,87***
NGE	884,58**	4963,26***	751,52***	1285,38***	516,46**	377,32***
PMG	88,74***	342,72***	850,21***	1788,26***	515,52**	376,80***
BIO	69,34***	234,97***	95,77***	127,10***	144,48**	329,94***
IR	0,11***	0,25***	0,11***	0,23***	0,03***	0,04***
DE	1544,84***	1919,76***	230,85***	620,10***	1545,68***	1673,75***
LB	48,74***	71,38***	54,92***	57,48***	33,28***	65,42***
LC	46,96***	57,88***	46,06***	53,65***	45,25***	50,61***
HT	654,71**	1093,77***	913,77***	1198,18***	725,21***	1273,04***
SF	800,33**	1280,75***	380,91***	528,91***	1040,12***	1080,17***

CM = carré moyen, AGC = aptitude générale à la combinaison,
 ASC = aptitude spécifique à la combinaison,
 *, **, *** significatif à 0,05, 0,01, 0,001 respectivement,
 ns = non significatif

Tableau 4 : Composantes de la variation des aptitudes à la combinaison des différents caractères par traitements

CARACTERES	AGC ₁ /ASC ₂		
	IRRI	MON	EPI
RDT	0,2	0,4	0,3
NE	0,4	0,4	0,2
NGE	0,4	0,4	0,9
PMG	0,2	0,3	0,2
BIO	0,3	0,5	0,3
IR	0,3	0,3	0,4
DE	0,5	0,6	0,6
LB	0,6	0,5	0,3
LC	0,5	0,6	0,6
HT	0,4	0,5	0,4
SF	0,4	0,5	0,6

$$1=2 \frac{\sum g_i^2}{4}, 2=\frac{1}{5} \sum S_{ij}^2$$

رابطه

Tableau 5 : Corrélations entre d'une part la F₁ et d'autre part l'AGC, l'ASC et le parent moyen

CARACTERES	F ₁ -Pmoy			F ₁ -AGC			F ₁ -ASC		
	IRR.	MON.	EPI.	IRR.	MON.	EPI.	IRR.	MON.	EPI.
RDT	0,02 ns	-0,13 ns	0,27 ns	0,59 ns	0,59 ns	0,38 ns	0,93***	0,59 ns	0,97***
NGE	-0,88***	0,02 ns	0,28 ns	0,67*	0,08 ns	0,52 ns	0,98***	0,78**	0,96***
PMG	0,05 ns	0,02 ns	-0,18 ns	-0,04 ns	0,64*	-0,05 ns	0,84**	0,95***	0,97***
BIO	0,14 ns	0,60 ns	0,36 ns	0,29 ns	0,25 ns	-0,21 ns	0,91***	0,99***	0,86**
IR	0,70*	0,71*	-0,10 ns	0,59 ns	0,26 ns	0,53 ns	0,98***	0,76*	0,72*
DE	0,23 ns	0,40 ns	0,40 ns	0,22 ns	0,27 ns	0,22 ns	0,51 ns	0,25 ns	0,30 ns
LB	-0,57 ns	-0,13 ns	-0,33 ns	0,58 ns	0,48 ns	0,19 ns	0,61 ns	0,39 ns	0,48 ns
LC	0,47 ns	0,15 ns	0,21 ns	0,56 ns	0,73*	0,55 ns	0,19 ns	0,26 ns	0,54 ns
HT	0,02 ns	0,27 ns	-0,27 ns	0,37 ns	0,75*	0,42 ns	0,92***	0,69*	0,28 ns
SF	-0,12 ns	0,25 ns	-0,33 ns	0,29 ns	0,21 ns	0,72*	0,90***	0,22 ns	-0,15 ns

IRR = irrigated, MON = stressed at stem elongation , EPI = stressed at heading date, caractères = traits,

RDT = grain yield, NGE = grain number/ear, PMG = thousand grain weight, BIO = air biomass,

IR = Harvest index, DE = Heading date, LB = barbs length, LC = ear collar length, HT = Straw height,

SF = leaf area

grains/épi, poids de 1000 grains, biomasse aérienne, indice de récolte (pour les trois traitements), rendement en grain/plante (irrigué et stressé à l'épiaison), hauteur de la tige (irrigué et stressé à la montaison) et surface foliaire (irrigué). Ces résultats montrent que la valeur de l'hybride est dépendante du croisement, ce dernier s'exprime d'autant mieux que le milieu est favorable.

3.3. RELATION ENTRE LA VALEUR PROPRE, L'HETEROSIS PARENTAL ET L'AGC

La majorité des corrélations $h_i - v_i$ sont négatives, dont seulement deux sont significatives. Il s'agit du rendement en grain au niveau du traitement irrigué et de la date d'épiaison au niveau des trois traitements. Pour ce dernier caractère, la valeur propre explique plus de 98 % de la variation totale obtenue (tableau 6).

La signification des corrélations $h_i - AGC$ dépend du traitement pour le rendement en grain, le nombre d'épis/plante, la longueur du col et la surface foliaire. La longueur des barbes ($r = 0,99^{***}$; $0,96^{***}$ et $0,97^{**}$ respectivement pour les traitements irrigué, stressé à la montaison et stressé à l'épiaison) et la hauteur de la tige ($r = 0,99^{**}$; $0,988^{**}$ et $0,97^{**}$ respectivement pour les traitements irrigué, stressés à la montaison et stressé à l'épiaison) montrent une corrélation $h_i - AGC$ significative dans les trois traitements (tableau 6). Aucune corrélation significative $AGC - v_i$ n'est obtenue.

3.4. CORRELATION ENTRE LES DISTANCES GENETIQUES, LA VALEUR F_1 , L'ASC ET L'HETEROSIS SPECIFIQUE (h_{ij}).

La majorité des corrélations avec la distance de Hanson et Casas et avec la distance de Mahalanobis (tableau 7) sont négatives, ce qui signifie que plus la distance entre les lignées parentales est grande et plus la valeur de l'hybride F_1 , l'hétérosis spécifique (h_{ij}) et l'ASC sont faibles. Dans la majorité des cas ces corrélations sont non significatives montrant qu'il y a une indépendance entre, d'une part, les distances étudiées et, d'autre part,

Tableau 6 : Corrélations $h_i - v_i$ et $h_i - AGC$

CARACTERES	$h_i - v_i$ (ddl = 3)			$h_i - AGC$ (ddl = 3)		
	IRR	MON	EPI	IRR	MON	EPI
RDT	-0,91*	-0,58 ns	-0,71 ns	-0,91*	-0,58 ns	-0,71 ns
NGE	-0,63 ns	-0,66 ns	0,56 ns	-0,63 ns	-0,66 ns	0,56 ns
PMG	-0,87 ns	-0,70 ns	-0,83 ns	-0,87 ns	-0,70 ns	-0,83 ns
BIO	-0,22 ns	-0,52 ns	0,04 ns	-0,22 ns	-0,52 ns	0,04 ns
IR	-0,84 ns	-0,57 ns	-0,59 ns	-0,84 ns	-0,57 ns	-0,59 ns
DE	-0,99**	-0,99***	-0,99***	-0,54 ns	-0,19 ns	-0,85 ns
LB	0,57 ns	0,57 ns	-0,30 ns	0,99***	0,96**	0,97**
LC	0,37 ns	-0,17 ns	0,49 ns	0,98**	0,84 ns	0,98**
HT	-0,29 ns	0,48 ns	-0,23 ns	0,99**	0,99**	0,97**
SF	-0,12 ns	-0,32 ns	0,25 ns	0,92*	0,70 ns	0,90*

Tableau 7 : Corrélations entre la distance de HANSON et CASAS d'une part et la moyenne des F_1 , l'hétérosis par rapport au parent moyen (h_{ij}) et l'ASC d'autre part et entre la distance de Mahalanobis d'une part et h_{ij} et la F_1 d'autre part

CARACTERES	$R^2_{F_1}$ - F_1 (ddl=8)	$R^2_{h_{ij}}$ - h_{ij} (ddl=8)	R^2_{ASC} - ASC (ddl=8)		Mahalanobis- h_{ij}	Mahalanobis- F_1
	IRR.	EPI.	MON.	EPI.	MON	MON
RDT	0,00 ns	-0,25 ns	-0,59 ns	-0,52 ns	-0,06 ns	-0,40 ns
NE	-0,37 ns	-0,18 ns	-0,60 ns	-0,60 ns	-0,21 ns	-0,27 ns
NGE	-0,18 ns	-0,69*	-0,71*	-0,78**	-0,39 ns	-0,44 ns
PMG	0,30 ns	-0,31 ns	-0,56 ns	-0,84**	0,78**	0,79**
BIO	-0,45 ns	-0,25 ns	-0,06 ns	-0,12 ns	-0,30 ns	-0,65*
IR	-0,12 ns	-0,33 ns	-0,65*	-0,61 ns	0,19 ns	0,23 ns
DE	0,44 ns	0,28 ns	0,09 ns	-0,07 ns	0,38 ns	0,34 ns
LB	-0,01 ns	-0,17 ns	-0,56 ns	-0,62 ns	-0,13 ns	0,05 ns
LC	-0,27 ns	-0,40 ns	-0,12 ns	-0,22 ns	0,25 ns	-0,01 ns
HT	-0,64*	-0,44 ns	-0,10 ns	-0,14 ns	0,24 ns	0,41 ns
SF	-0,19 ns	0,46 ns	-0,02 ns	-0,03 ns	0,37 ns	0,07 ns

la valeur F_1 , l'ASC et l'hétérosis spécifique, à l'exception des corrélations $R^2_{ij} - F_1$ de la hauteur de la tige ($r = -0,64^*$) au niveau du traitement irrigué, $R^2_{ij} - ASC$ du nombre de grains/épi ($r = -0,71^*$ et $-0,78^{**}$ respectivement pour les traitements stressés à la montaison et stressé à l'épiaison), $R^2_{ij} - h_{ij}$ du nombre de grains/épi ($r = -0,69^*$ au niveau du traitement stressé à l'épiaison).

4. DISCUSSION

Les corrélations entre d'une part les valeurs F_1 et d'autre part le parent moyen et l'AGC ne sont pas significatives dans la majorité des cas à l'exception de la corrélation $F_1 -$ parent moyen du nombre de grains/épi (irrigué) et de l'indice de récolte (irrigué et stressé à la montaison) et de la corrélation $F_1 -$ AGC du nombre de grains/épi (irrigué), du poids de 1000 grains, de la longueur du col et de la hauteur de la tige (stressé à la montaison) et de la surface foliaire (stressé à l'épiaison). Le parent moyen et l'AGC ne permettent pas de prédire la valeur F_1 car les effets non additifs sont plus importants que les effets additifs.

Les faibles corrélations $F_1 -$ parent moyen des caractères poids de 1000 grains, biomasse aérienne, hauteur de la tige, surface foliaire (les trois traitements), rendement en grain (irrigué et stressé à l'épiaison) ainsi que $F_1 -$ AGC des caractères nombre de grains/épi (stressés à la montaison et à l'épiaison), poids de 1000 grains, hauteur de la tige, rendement en grain (irrigué et stressé à l'épiaison), biomasse aérienne, indice de récolte (les trois traitements), surface foliaire (irrigué et stressé à la montaison), sont dues à une forte influence de l'ASC, ce résultat est en accord avec ceux obtenus par BOUKECHA (2001). Ce qui montre l'existence d'effets non additifs. L'AGC influence la valeur F_1 des caractères hauteur de la tige, longueur du col, poids de 1000 grains (stressé à la montaison), surface foliaire (stressé à l'épiaison), et nombre de grains/épi (irrigué).

Les corrélations $AGC - v_i$ non significatives tendent à confirmer un rôle assez fort des déviations à l'additivité. Les corrélations négatives entre l'hétérosis parental (h_i) et la valeur propre (v_i) pourraient indiquer la possibilité de fixation de l'hétérosis pour le rendement en grain, le nombre d'épis, le nombre de grains/épi, le poids de 1000 grains, la biomasse aérienne, l'indice de récolte, la date d'épiaison, la hauteur de la tige et la surface foliaire. Cependant, peu de corrélations sont significatives. Il y aurait donc une certaine indépendance entre la valeur propre et l'hétérosis parental. Cela signifierait que l'hétérosis ne s'explique pas uniquement par

la dominance complète, par conséquent l'expression de l'hétérosis dépend de l'hétérozygotie et des combinaisons de gènes favorables. Nos résultats sont en accord avec ceux de HANIFI-MEKLICHE et GALLAIS (1999) sur l'orge. Les corrélations h_i – AGC sont positives et significatives pour la majorité des caractères morphologiques (4/4, 2/4 et 4/4 respectivement pour les traitements irrigué, stressé à la montaison et stressé à l'épiaison) à l'exception de la surface foliaire et la longueur du col de l'épi (traitement stressé à la montaison). Pour le rendement en grain, cette corrélation est négative et significative uniquement pour le traitement irrigué. Cela tend à montrer que l'AGC de ces caractères est déterminée par l'hétérosis parental.

Le nombre de caractères présentant une corrélation F_1 -ASC significative (7/10, 5/10 et 5/10 respectivement dans les milieux irrigué, stressé à la montaison et stressé à l'épiaison) est plus important par rapport aux corrélations F_1 - Pmoy (2/11, 1/11 et 0/11 respectivement dans les traitements irrigué, stressé à la montaison et stressé à l'épiaison). Ces résultats sont en accord avec ceux de BETRAN *et al.* (2003), sur le maïs, qui indiquent que l'ASC permet de mieux prédire la performance hybride. De plus, le traitement irrigué (milieu favorable aux différents caractères) permet de mieux exprimer les potentialités génétiques des génotypes et de ce fait améliore la prévision des valeurs de l'hybride à partir de l'ASC par rapport aux traitements stressé à la montaison et stressé à l'épiaison. Ceci montre que les résultats obtenus dans un milieu favorable ne peuvent pas être extrapolés à un milieu défavorable, par conséquent la sélection doit se faire dans le milieu de culture.

Les corrélations négatives, bien que, non significatives dans la majorité des cas entre d'une part la distance de Hanson et Casas et la distance de Mahalanobis et d'autre part la F_1 , l'hétérosis spécifique et l'ASC montrent, selon HALLAUER et MIRANDA (1981), qu'il pourrait y avoir un effet défavorable de la distance génétique. Ces résultats sur la distance D^2 de Mahalanobis sont en accord avec ceux obtenus sur le blé par JATASRA (1980), RAGHUVANSHI *et al.* (1989), SINGH et BEHL (1991) et PICARD *et al.* (1992), sur le maïs par MELLO *et al.* (2001), et sur le cacao par DIAS *et al.* (2003). Par contre, SRIVASTAVA et ARUNACHALAM (1977) sur le triticale et GUO *et al.* (1989) sur le blé ont obtenu une liaison significative entre l'hétérosis du rendement et cette distance. En ce qui concerne la liaison entre la distance de Hanson et Casas et la valeur F_1 ou l'hétérosis spécifique, les résultats obtenus sont contradictoires. En effet, MARCHAIS (1978), travaillant sur des lignées de petit mil (*Pennisetum typhoides*) issus d'une même population F_2 , ne trouve pas de liaison entre cette distance et la F_1 , tandis que HANIFI-MEKLICHE et GALLAIS (1999), travaillant sur l'orge, trouvent une seule corrélation significative sur douze caractères étudiés.

Cependant, une forte liaison avec l'hétérosis spécifique a été mise en évidence par MARCHAIS (1978) pour la majorité des caractères étudiés, tandis que HANIFI-MEKLICHE et GALLAIS (1999) n'obtiennent que trois corrélations significatives sur douze caractères étudiés.

Certaines corrélations sont affectées par un stress hydrique telles que les corrélations F_1 -ASC (effets de dominance) du rendement en grain, de la surface foliaire (stressé à la montaison), de la hauteur de la tige et de la surface foliaire (stressé à l'épiaison), les corrélations F_1 – parent moyen (effets additifs) du nombre de grains par épi (stressé à la montaison et à l'épiaison) et de l'indice de récolte (stressé à la montaison) et les corrélations h_i – AGC de la longueur du col et de la surface foliaire (stressé à la montaison). Pour le rendement en grain, les corrélations $h_i - v_i$ et h_i – AGC sont rompues quel que soit le stade auquel le stress hydrique intervient. Tandis que d'autres corrélations apparaissent lorsqu'il y a stress hydrique telles que les corrélations F_1 -AGC des caractères poids de 1000 grains, longueur du col, hauteur de la tige (stressé à la montaison) et surface foliaire (stressé à l'épiaison).

5. CONCLUSION

Une meilleure prévision de la valeur hybride est obtenue sur l'environnement non stressé. En effet, l'étude des différents prédicteurs des valeurs F_1 et de l'hétérosis a montré une forte influence de l'aptitude spécifique à la combinaison sur la valeur F_1 de sept caractères sur dix au niveau du traitement irrigué. Cependant, les effets de dominance sont affectés par le stress hydrique. En effet, le nombre de corrélations significatives passe de sept pour dix caractères pour le traitement irrigué à cinq pour dix caractères pour les traitements stressé à la montaison et stressé à l'épiaison.

La signification des corrélations hétérosis parental – AGC au niveau de la majorité des caractères morphologiques tend à montrer que l'AGC de ces caractères est déterminée par l'hétérosis parental.

Les corrélations négatives bien que non significatives dans la majorité des cas entre d'une part la distance de Hanson et Casas et la distance de Mahalanobis et d'autre part la F_1 , l'hétérosis spécifique et l'ASC montrent qu'il pourrait y avoir un effet défavorable d'une trop forte distance génétique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BETRAN FJ, RIBAUT JM, BECK D et GONZALEZ de LEON D, 2003.-** Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress an nonstress environments. *Crop Science*, 43, 797 – 806.
- BOUKECHA D, 2001.-** Etude agronomique et génétique de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister en Sciences Agronomiques. I.N.A. p. 136.
- DIAS LAS, MARITA J, CRUZ CD et BARROS (de) EG, 2003.-** Genetic distance and its association with heterosis in cacao. *Ciência e agrotecnologia revista*, 25/04/01.
- EBERHART SA et GARDNER CO, 1966.-** A general model for genetic effects. *Biometrics*, 22, 864 – 881.
- GARCIA BF, SALINAS GEG, POZO OC, REYES HV, RAMIREZ MM, Lopez JAS, AGUIRE MB et SALAZAR OS, 2002.-** Estimation of genetic distances among green pepper (*Capsicum annum*. L.) lines using RAPD markers and its relationship with heterosis. Proceedings of the 16th International Pepper Conference Tampico, Tamaulipas, Mexico. November 10-12, 4 p.
- GUO P., Zhang J, Gan W et Cai M, 1989.-** Methods of distance analysis and heterosis. *Journal of Genetics and Genomics* 1989 16 (2): 97-104.
- GRIFFING B, 1956.-** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems, *Aust. J. Biol. Sci.* 9, 463-493.
- HALLAUER AR et MIRANDA JB, 1981.-** Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press/Ames., 468 p.
- HANIFI-MEKLICHE L et Gallais A, 1999.-** Heterosis, genetic effects and value of F2s and doubled-haploid lines in barley breeding. *Agronomie*, 19, 509-520.
- HANSON W D et CASAS E, 1968.-** Spatial relationship among eight populations of *Zea mays* L., utilizing information from a diallel mating design. *Biometrics*, 24, 867-880.

- JARASRA DS, 1980.-** Genetic divergence in bread wheat *Triticum aestivum*. Haryana Agric. Univ. J. Rers.,10, 18-25.
- LEFORT-BUSON M, 1986.-** Heterosis chez le colza oléagineux (*Brassica napus* L.) : analyse génétique et prédiction. Thèse de Doct. ès Sci. Nat. Univ. Paris-Sud, Centre d'Orsay, France. 228 p.
- MARCHAIS L, 1978.-** Une analyse génétique chez le petit mil pénicillaire à l'aide de la distance R^2 de Hanson et Casas. Ann. Amélior. Plantes 28, 165-193.
- MELO WMC, PINHO RGV, FERREIRA D.F., 2001.-** Capacidade combinatoria e divergência genética em híbridos comerciais de Milho. Ciência e agrotechnologia Revista, 25/04/01.
- PICARD B, BRANDLARD G, OURY FX, BERARD P et ROUSSET M, 1992.-** Etude de la diversité génétique du blé tendre, II. Application à la prédiction de l'hétérosis. Agronomie, 12, 683-690.
- RAGHUVANSHI KMS, SINGH SP et RAO SK, 1989.-** Parental diversity in relation to heterosis for yield and its components in wheat. Crop Improv. 1, 182-184.
- REDONA ED, MORENO LS, CRUZ (de la) I A et ORDONEZ SA, 2001.-** Heterosis and parental molecular divergence in rice. Plant & Animal Genome IX conference Town & Country Hotel, San Diego, CA, du 13 au 17 Janvier (résumé).
- SINGH I et BEHL RK, 1991.-** Genetic divergence in relation with combining ability and transgression in wheat. J. Genet. Breed., 2, 147-150.
- SRIVASTAVA PS et ARUNACHALAM V, 1977.-** Heterosis as function of genetic divergence in triticales. Pflanzenzücht. 78, 269-275.
- XIAO J, LI J, YUAN L, McCOUCH SR et TANKSLEY SD, 1996.-** Genetic diversity and its relationship to hybrid performance and heterosis in rice as revealed by PCR-based markers. Theor. Appl. Genet. 92, 637-643.
- XU W, VIRMANI SS, HERNANDEZ JE et REDONA ED, 1999.-** Association between simple sequence repeat (SSR) marker diversity, pedigree record, quantitative trait variation, and hybrid performance in rice. Plant breeding, IRRN, 24, 10-11.