

ETUDE DES MECANISMES DE STABILITE DU RENDEMENT GRAIN DE QUELQUES GENOTYPES DE BLE DUR (*TRITICUM DURUM* DESF.) SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE

BAHLOULI F.¹, BOUZERZOUR H.², BENMAHAMMED A.²

¹ Institut d'Agronomie Université de M'sila 28000 Algérie

² Institut de Biologie Université de Sétif 19000 Algérie

E-mail : faycal.bahlouli@caramail.com

Résumé : En zones semi-arides Algériennes, l'effet année possède une part importante dans la variation du rendement grain, par contre les différences entre génotypes sont non significatives. La sélection génotypique vis à vis du rendement doit se faire par année. La stabilité du rendement est une caractéristique très complexe dépendant de plusieurs autres variables. L'expression d'un rendement en grain élevé est associée à une meilleure performance pour le nombre de grain/m², le nombre de grains/épi et l'indice de récolte. Sous conditions contraignantes, lorsque le nombre de grain/m² est faible, les génotypes le compensent par une augmentation du poids moyen afin de minimiser la baisse du rendement en grain. Les génotypes productifs présentent des variations intersaisons élevées pour le rendement par contre les génotypes à rendement moyen possèdent des variations intermédiaires.

Mots clés : blé dur, rendement en grain, climat semi-aride, variation intersaison, génotypes.

Introduction :

La sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) des régions à fortes contraintes hydriques et thermiques a fait peu de progrès du point de vue amélioration du rendement grain et de l'adaptation à l'environnement. Les difficultés résident dans l'identification et la caractérisation des paramètres liés à la résistance aux contraintes climatiques. La caractérisation des mécanismes qui contrôlent la tolérance aux stress et leurs liaisons avec l'adaptation au milieu constitue l'axe de recherche le plus d'actualité.

Matériel et méthodes

Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station ITGC (Institut Technique des Grandes cultures), située à 4 km au sud ouest de la ville de Sétif. Le site expérimental est pratiquement soumis au climat des hautes plaines qui se caractérise par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale (Baldy et al., 1993). L'altitude moyenne est voisine de 1000 m.

Le matériel végétal (Tableau 1) est mis en place dans un dispositif en blocs randomisés, avec quatre répétitions, elle a duré six campagnes consécutives, de 1997/1998 à 2002/03. La parcelle élémentaire est constituée de 6 rangs de 5 m de long soit 6m². Le semis est effectué en novembre et la récolte est faite au mois de juin.

Tableau -1- Liste des variétés de blé dur étudiées et leur origine

Pedigree	Origine
1- 439/Ads/97	Italie
2- Massara1	Syrie
3- Mrb5	Syrie
4- Cyprus1	Chypre
5- Mbbachir	Algérie
6- Derraa	Syrie
7-Heider/Martes//Huevos de Oro	Algérie
8- Heider	Syrie
9- Waha	Algérie
10- Beliouni3258	Algérie

Conditions climatiques

La quantité moyenne de pluies enregistrées par campagne agricole est variable, la valeur la plus élevée était durant la campagne 2002/2003 avec 521.8mm, la plus basse au cours de la campagne 2001/2002 avec 215.9 mm. Durant les campagnes expérimentales, la quantité de pluie tombée était moyenne pour la première année, faible la deuxième année et importante la troisième en la comparant avec la moyenne 1981/2003 (Tableau 2).

Tableau -2- Données climatiques de la période étudiée

Mois		Campagnes						
		97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	81-03
9	P	84.5	120	85.5	39.4	47.2	4.3	42.9
	T	22.1	22.7	24.7	23.4	22.8	20.6	21.5
10	P	45.1	16.5	50.1	47.3	14.4	15.9	32.8
	T	16.1	13.5	19.5	15.6	21.4	16.0	16.0
11	P	69.4	57.9	23.9	15.2	35.3	101.2	37.2
	T	9.2	9.3	9.6	10.4	10.6	9.9	10.1
12	P	43.7	23.2	80.9	61.3	8.5	67.4	44.1
	T	6.6	5.7	6.7	8.4	6.2	7.9	6.6
1	P	9.6	65.3	5.9	79	22.7	116	41
	T	6.1	6.3	4.6	6.6	6.9	5.2	5.7
2	P	39.8	15.9	5.7	20.4	24	38.8	34.8
	T	7.8	5.4	8.8	7.0	8.8	4.8	6.9
3	P	13.1	19.4	21.5	8.6	29.3	36.6	33.1
	T	10.0	9.9	15.5	17.1	12.1	9.8	9.8
4	P	52	8.4	58.9	13.2	8.8	38.4	34.6
	T	14.2	14.5	15.0	16.0	15.4	12.6	12.4
5	P	101.2	4.3	61.9	19.3	24.2	43.8	44.9
	T	17.7	23.9	22.9	18.8	20.2	16.9	17.6
6	P	19.4	22.2	20.3	0.0	1.5	59.4	21.9
	T	25.6	28.0	25.1	25.9	26.4	24.1	23.2
Total	P	477.8	353.1	414.6	303.7	215.9	521.8	367.3
Moyenne	T	13,54	13,92	15,24	14,92	15,08	12,78	12,98

P = pluie (mm), T = température moyenne (°C)

Une comparaison inter mensuelle des deux années extrêmes (2001/2002 et 2002/2003) nous révèle des fluctuations de quantités de pluies variables selon les mois, mais en moyenne elle est en faveur de la campagne 2002/2003 (Figure 1).

Concernant la température moyenne, on enregistre une diminution qui débute à partir du mois de septembre (environ 20°C) jusqu'au mois de février (environ 6°C), puis elle remonte vers le mois de juin (environ 25°C), cette augmentation de température coïncide avec la phase de remplissage des grains (Tableau 2).

La courbe qui dessine la température moyenne des deux années extrêmes suit une même allure pour les deux années avec une légère différence en faveur de la campagne 2001/2002 (Figure 1).

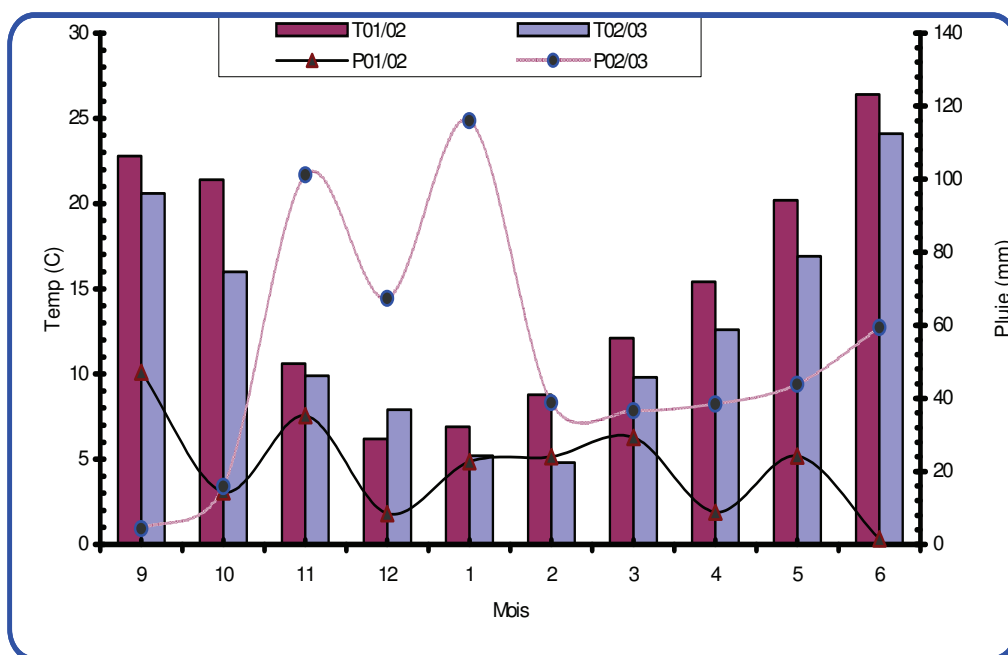


Figure -1- Variations de la pluviométrie et de la température moyenne mensuelle des campagnes extrêmes du site expérimental.

Notation, mesures et analyse des données :

Les mesures effectuées ont porté sur :

- La date de réalisation du stade épiaison. Cette date sert à la détermination de la durée de la phase végétative (PVG). La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison (BE) et celle produite à maturité (BM). La date de réalisation du stade maturité, celle-ci sert à la détermination de la durée de la phase remplissage du grain (PRG).

- La hauteur des plantes (HT, cm), Les bottillons récoltés au stade maturité servent aussi au comptage des épis (NE) ramené à l'unité de surface (m²), au rendement grain (RDT) estimé à partir du battage des épis provenant des bottillons pour obtenir l'indice de récolte (HI). HI (%) = 100(RDT/BM). La récolte mécanique de l'essai donne le rendement grain (RDT) de la parcelle élémentaire, exprimé en g/m². Le poids de 1000 grains (PMG). Le nombre de grains produits par unité de surface (NGM²) et le nombre de grains par épi (NGE). NGM² = 1000(RDT/PMG), avec RDT en g/m² et le PMG en g, NGE = NGM²/NE.

Une fois par semaine, à partir de la date de réalisation du stade épiaison qui a été notée pour estimer la durée de la phase végétative (PVG), on échantillonne la végétation provenant d'un segment de rang de 1m de long par parcelle élémentaire. La matière sèche est obtenue après passage à l'étuve à 85°C pendant 24 heures. La vitesse de croissance végétative (VCV) est déterminée par le rapport de la biomasse accumulée au stade épiaison et la durée de la phase végétative (levée-épiaison).

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

$$D = PIG / V \text{ Avec : } D = \text{durée de remplissage en jours}$$

PIG = poids moyen du grain atteint au stade maturité (mg)

V= vitesse de remplissage (mg/j)

La vitesse de remplissage ramenée au nombre de grains/m² (VRG, g/j/m²) est obtenue par:

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

L'étude de la stabilité a été abordée par la méthode de Finlay et Wilkinson (1963) pour le rendement grain, le nombre de grains/m², le poids de 1000 grains et l'indice de récolte. Cette méthode utilise le coefficient de régression (b) pour décrire la réponse des génotypes à la variation environnementale.

Une analyse de la variance à deux critères de classification non contrôlés, environnement et génotype, a été faite pour les variables mesurées sur les différentes répétitions. Le modèle adopté dans l'analyse est le modèle additif (Steel et Torrie, 1980): $Y_{ijk} = \mu + E_i + G_j + G \times E_{ij} + B(E)_{jk} + e_{ijk}$

La régression progressive est utilisée dans le cas où on utilise plusieurs variables indépendantes. Toute co-variable qui améliore le coefficient de détermination (R²) et réduit du carré moyen résiduel est retenue par le modèle. L'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour une description des liaisons complexes qui existent entre les variables et leur répartition chez les différents individus évalués.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance montre un effet année et une interaction génotype x année significatifs pour l'ensemble des variables soumises à l'analyse. L'effet génotype, testé par rapport à la variance d'interaction, n'est significatif que pour la hauteur du chaume et la durée de la phase végétative (Tableau 3).

Tableau -3- Carré moyen de l'analyse de la variance

Source	ddl	RDT (g m ⁻²)	NGM ² (m ⁻²)	NGE (...)	NE (m ⁻²)	PMG (g)	HI (%)
Année (A)	5	160249**	36927750**	1153**	123104**	1468**	1437**
Génotype (G)	9	13796ns	18697188ns	74.9ns	7508ns	38ns	133**
A x G	45	17698**	25551840**	97.7**	12233**	36**	85**
Résiduelle	118	1116.4	1497437	13.0	2105	3.2	16.9
		BE (g m ⁻²)	BM (g m ⁻²)	VCV (g j ⁻¹ m ⁻²)	VRG (g j ⁻¹ m ⁻²)	HT (cm)	PVG (j)
Année (A)	5	282444**	172959**	22.9**	42.1**	1016**	271**
Génotype (G)	9	117732**	113746ns	5.8ns	5.7ns	1164	80
A x G	45	58960**	97918**	3.9*	6.9**	271**	24*
Résiduelle	118	17407	19680	1.2	0.5	25.5	9.5

ns, *,** = effet non significatif, significatif au seuil de 5 et 1% respectivement. RDT = rendement en grains, NGM² = nombre de grains m⁻², NGE = nombre de grains/épi, NE = nombre d'épis m⁻², PMG = poids de 1000 grains, HI = indice de récolte, BE = poids de la matière sèche mesurée au stade épiaison, BM = biomasse mesurée à maturité, VCV = taux de croissance végétative, VRG = taux de remplissage du grain, HT = hauteur du chaume, PVG = durée de la phase végétative.

Pour l'ensemble des variables, l'effet année est de loin celui qui absorbe la plus grande part de la variation observée. Ceci indique que les différences entre années ou campagnes agricoles sont donc plus importantes relativement aux différences observées entre les génotypes étudiés.

La campagne 1999/00 a été la plus favorable à l'expression de hauts rendements grains. Ce niveau de production est associé à de meilleures performances pour le nombre de grains m⁻², de grains par épi, d'épis m⁻². Il est aussi lié à une meilleure expression de l'indice de récolte, de la biomasse aérienne mesurée à maturité, à une longue durée de la phase végétative et à un faible poids 1000 grains (Tableau 4). La campagne 2001/02 est celle qui a été la plus défavorable à l'expression du rendement grain avec une réduction des performances pour les composantes du rendement, de la durée de la phase végétative et de la biomasse produite (Tableau 4, Figure 2).

Tableau -4- Moyennes des variables mesurées : effet année (E), génotype (G) et interaction G x E

Année	RDT	NGM ²	NGE	NE	PMG	HI	BE	BM	VCV	VRG	HT	PVG
Effet moyen année												
1997/98	306.9	10416	27.0	393	29.9	31.2	688	995	5.8	5.9	63.2	118
1998/99	315.2	8908	24.7	364	35.5	27.7	836	1151	7.1	5.3	72.2	116
1999/00	357.8	13582	26.9	505	26.8	33.7	691	1049	5.6	7.2	57.6	124
2000/01	326.8	9150	22.6	411	35.9	34.6	950	5.3	6.6	68.5	118	
2001/02	179.6	4852	13.5	367	37.2	17.2	878	1057	7.4	4.3	65.2	118
2002/03	199.9	4239	13.9	315	47.1	21.9	756	956	6.2	4.3	72.9	122
Moyenne	281.0	8525	21.5	392	35.4	27.7	745	1026	6.2	5.6	66.6	119
Effet moyen génotype												
Ads	273.5	7637	21.2	354	37.2	28.0	691	965	5.9	5.2	60.5	117
Massara1	237.9	7289	19.4	392	37.3	26.1	691	929	5.9	4.6	62.8	118
Mrb5	300.5	9072	22.3	401	35.2	29.0	739	1039	6.2	5.9	66.5	119
Cyprus1	312.4	10201	23.6	403	34.9	29.3	745	1057	6.2	6.4	63.5	120
Waha	283.7	8490	20.3	416	34.7	29.1	706	989	6.0	5.3	59.9	117
Derraa	298.3	9289	21.9	393	36.2	29.7	703	1001	5.9	6.0	63.2	119
Hmho	312.4	9649	23.9	400	34.7	30.7	720	1033	6.0	6.1	69.6	118
Heider	293.4	8359	24.0	357	38.2	28.5	1039	6.2	6.0	63.5	121	
Mbb	241.0	7158	17.9	399	35.6	25.3	748	989	6.2	4.9	68.7	122
Belioni	257.0	8100	20.2	407	33.3	21.5	966	1224	7.8	5.5	87.6	123

RDT = rendement en grains (g), NGM² = nombre de grains m⁻², NGE= nombre de grains/épi, NE = nombre d'épis m⁻², PMG = poids de 1000 grains, HI = indice de récolte, BE = poids de la matière sèche mesurée au stade épiaison, BM = biomasse mesurée à maturité, VCV = taux de croissance végétative, VRG = taux de remplissage du grain, HT = hauteur du chaume, PVG = durée de la phase végétative.

Les différences d'expression des variables mesurées dues à l'effet année induisent le plus souvent des interactions génotype x année conduisant à l'instabilité des performances des cultivars dans le temps. Les coefficients de corrélation montrent que les années sont peu similaires pour le rendement grain (Tableau -5-). L'effet moyen génotype n'est significatif que pour la hauteur du chaume et la durée de la phase végétative. Le choix d'un génotype donné, sur la base d'une ou plusieurs des variables mesurées, doit donc se faire par année et non en moyenne des six campagnes testées. Ceci à cause de l'effet de l'interaction génotype x année qui est significative.

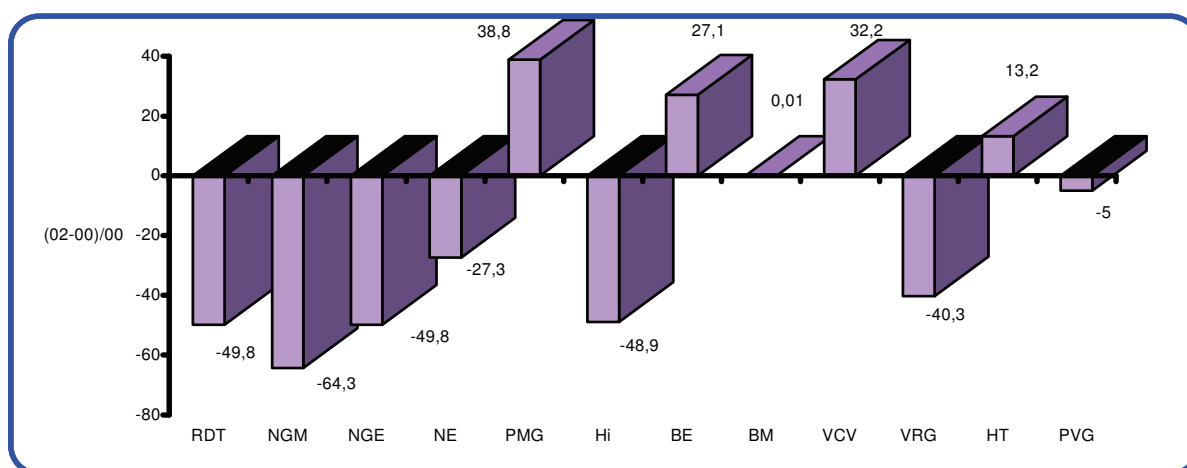


Figure -2- Différence d'expression des variables mesurées selon les années 1999/00 (favorable au rendement) et 2001/02 (défavorable au rendement).

Tableau -5- Coefficients de corrélation inter-années du rendement grain.

	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
1997/98	1.00	-0.142	0.283	0.132	0.327	0.385
1998/99		1.00	-0.723*	0.204	-0.458	0.271
1999/00			1.00	-0.059	0.598*	0.038
2000/01				1.00	-0.220	-0.380
2001/02					1.00	0.288
2002/03						1.00

$r = 0.578$ au seuil de 5%, $n = 10$.

Tous les génotypes testés montrent les mêmes capacités de production, en moyenne des six années. Il faut cependant identifier le génotype qui répond le plus favorablement possible à la variation des saisons pour être assez régulier en production. L'étude des coefficients de corrélation indique que le rendement grain au cours des six années est positivement lié au nombre de grains m^{-2} ($r = 0.923$, $n = 60$), au nombre de grains épi^{-1} ($r = 0.831$) et à l'indice de récolte ($r = 0.844$).

Le nombre de grains m^{-2} est positivement lié au nombre de grains épi^{-1} ($r = 0.872$), à l'indice de récolte ($r = 0.792$) et négativement lié au poids de 1000 grains ($r = -0.681$). Ces liaisons montrent que la production d'un nombre de grains m^{-2} élevé conduit à un indice de récolte et à un rendement grain élevés. Un nombre de grains épi^{-1} élevé améliore le nombre de grains m^{-2} . Un poids de 1000 grains élevé ne semble réalisable que suite à la réduction du nombre de grains m^{-2} .

La régression progressive indique que le rendement est la résultante des grains produits par m^2 , de l'indice de récolte et du poids de 1000 grains :

$$RDT = 0.0253NGM^2 + 1.80HI + 5.21PMG - 170 \quad (R^2 = 0.9721)$$

La variation du rendement grain est donc étroitement liée à l'expression du nombre de grains m^{-2} , de l'indice de récolte et du poids de 1000 grains. La stabilité du rendement est donc dépendante de celles de ces trois variables.

La stabilité du rendement est approchée par le calcul du coefficient de régression de Finlay et Wilkinson (1963) et par la variance inter-saisons (Li *et al.*, 1986). Un génotype stable est celui qui a un coefficient de régression égale à l'unité et une faible variance intersaisons. Le génotype recherché est celui qui a un $b = 1$, une faible variance inter-campagnes et un rendement grain supérieur à la moyenne générale de tous les génotypes évalués.

Les coefficients de détermination du rendement, du nombre de grains m^{-2} , et de l'indice de récolte sont supérieurs à 70% pour l'ensemble des variétés sauf celui du génotype Massara1 qui est très faible. Ceci indique que la variation des caractères de cette variété ne trouve pas une part importante d'explication dans la variation de l'indice du milieu. Les coefficients de détermination du poids de 1000 grains sont assez faibles suggérant que la variation de ce caractère ne suit pas toujours celle induite par l'environnement (Tableau -6-).

Le coefficient de régression du rendement grain varie de 0.28 pour Massara1 (non significativement différent de zéro) à 1.40 pour Derraa. Ads, Waha, Derraa et Heider/Martes//Huevos de oro se caractérisent par un b significativement supérieur à l'unité. Mrb5, Heider et Mbb ont un b significativement inférieur à 1. Cyprus et Beliouni ont un coefficient de régression non significativement différent de l'unité (Tableau -6-).

Tableau –6- Paramètres de stabilité du rendement grain, du nombre de grains m⁻², du poids de 1000 grains et de l'indice de récolte.

Caractère	RDT			HI			NGM ²			PMG		
	b	R ²	S ^{2*}	b	R ²	S ^{2**}	b	R ²	S ²	b	R ²	S ²
Ads	1.35 [£]	87	11.2	0.97 [¤]	0.90	12.6	0.66 [¢]	0.53	13.8	1.29 [£]	0.87	92.3
Massara1	0.28 ^ø	17	2.4	0.48 ^ø	0.61	4.5	1.42 [£]	0.48	72.0	0.51 [¢]	0.70	31.8
Mrb5	0.75 [¢]	72	9.8	0.71 [¢]	0.85	13.9	1.19 [¤]	0.27	86.4	0.86 [¤]	0.74	48.3
Cyprus1	1.12 [¤]	76	18.1	1.65 [£]	0.75	47.4	1.12 [¤]	0.23	93.3	0.58 [¢]	0.76	29.2
Waha	1.22 [£]	84	10.7	0.92	0.84	12.3	1.11 [¤]	0.60	34.9	1.43 [£]	0.84	118.0
Derraa	1.40 [£]	75	23.5	1.75 [£]	0.79	54.5	1.37 [£]	0.62	52.2	1.03 [¤]	0.76	189.5
Hmho	1.29 [£]	76	11.7	1.32 [£]	0.89	24.2	1.37 [£]	0.62	49.2	1.11 [¤]	0.73	80.5
Heider	0.75 [¢]	74	5.7	0.88 [¤]	0.89	10.8	2.06 [£]	0.70	103.9	0.98 [¤]	0.98	47.0
Mbb	0.75 [¢]	77	6.2	0.55 [¢]	0.72	9.0	1.38 [£]	0.56	57.1	1.08 [¤]	0.84	67.0
Belioni	0.94 [¤]	76	7.1	0.75 [¢]	0.78	10.1	0.97 [¤]	0.48	33.9	0.80 [¤]	0.82	37.9

S^{2*} = x 10³, S^{2**} = x10⁶, b[¢] < 1, b[¤] = 1, b[£] > 1, b^ø = non significativement différent de 0.

La variance intersaisons, la plus faible en valeur, est observée chez Massara1 pour le caractère rendement grain. Des variations intermédiaires caractérisent le rendement grain de Heider, Mbb et Belioni, alors que Cyprus1 et Derraa présentent de fortes variances intersaisons (Tableau – 6-). Le coefficient Tau de corrélation de rang de Kendall indique que les moyennes génotypiques du rendement grain sont liées aux variances intersaisons et aux coefficients de régression du rendement grain ($Y_i/S^2 = 0.662$, $Y_i/b = 0.624$).

Les coefficients génotypiques de régression du rendement sont liés aux variances intersaisons ($b/S^2 = 0.757$). Les paramètres statistiques du rendement (b et S²) sont aussi significativement corrélés avec ceux du nombre de grains m⁻² et de l'indice de récolte ($b_{RDT}/b_{NGM^2} = 0.75$, $b_{RDT}/S_{HI}^2 = 0.67$, $S_{RDT}^2/b_{NGM^2} = 0.93$, $S_{RDT}^2/S_{NGM^2}^2 = 0.95$, $S_{RDT}^2/S_{HI}^2 = 0.66$). Parmi les génotypes évalués Cyprus1 présente une moyenne de rendement supérieure à la moyenne générale, un coefficient de régression b = 1 et une variance intersaisons 7.5 fois plus élevée que celle de Massara1, la variété la plus stable de par la statistique S² (Tableau –6-).

Le coefficient de corrélation de rang entre les coefficients de régression du nombre de grains m⁻² et du poids de 1000 grains est de signe négatif ($b_{NGM^2}/b_{PMG} = -0.83$) suggérant que l'augmentation de l'un se fait souvent au détriment de l'autre (effet de compensation). De plus la variation du poids de 1000 grains mesurée par b et S² reste indépendante de celle du rendement grain, puisque les coefficients de corrélation de rang entre les statistiques de ces variables sont non significatifs.

Comparativement au comportement du cultivar Mbb, les génotypes Heider, Mrb5 et Cyprus1 se montrent plus productifs sur toute l'étendue de l'échelle représentant les potentialités du milieu de production (Figure–3-).

Heider et Mrb5 ont un comportement très similaire alors que Cyprus1 devient de plus en plus productif à mesure que le milieu devient plus fertile. La variété Massara1 représente un cas particulier de point de vue stabilité du rendement grain dans le temps (Figure –3-).

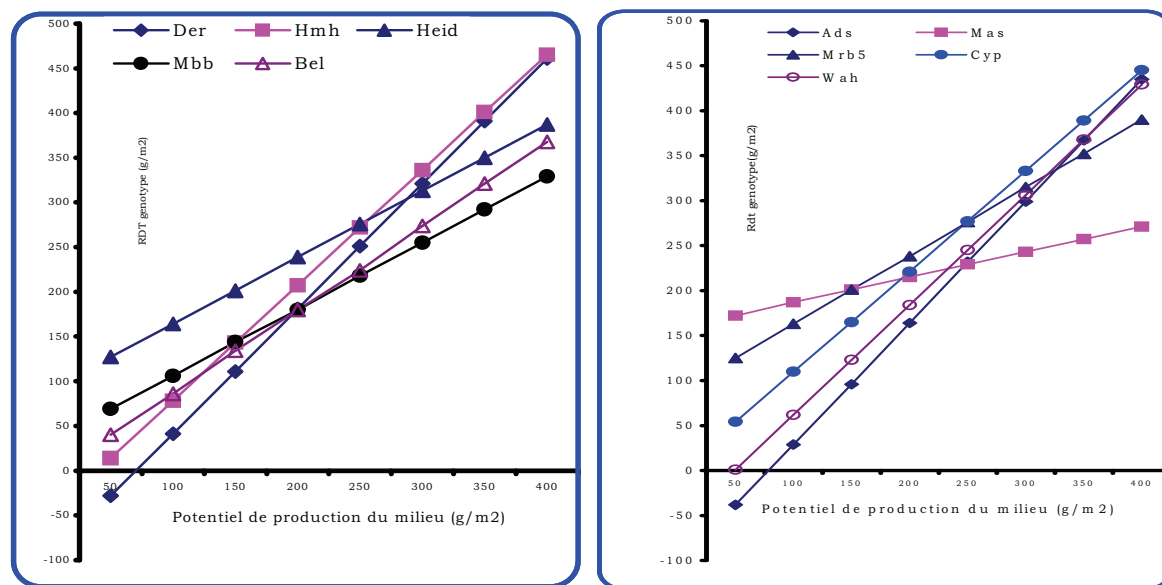


Figure -3- Réponse du rendement grain des différents génotypes à la variation du potentiel de production des saisons.

Massara1 valorise peu les milieux favorables, mais elle garde une remarquable capacité de production dans les milieux contraignants où elle arrive à faire un rendement grain inégalé par les autres génotypes (Figure -3-). De tels génotypes selon Simane *et al.*, (1993) sont tolérants aux stress et ils s'adaptent grâce à leur plasticité de comportement à diverses situations contraignantes. La plasticité de comportement est liée à plusieurs phénomènes d'ordre phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques (Blum et Pnuel, 1990, Araus *et al.*, 1998, Blum 1996).

La régression du poids de 1000 grains de chaque génotype sur le nombre de grains m^{-2} produit au cours des six campagnes montre que la réduction du poids de 1000 grains, induite par l'augmentation de nombre de grains m^{-2} , est génotypiquement dépendante. Pour une augmentation de la moyenne du nombre de grains m^{-2} de 1000 grains, Massara1, Mrb5, Heider, Mbb et Belioni réduisent le poids de 1000 grains par un facteur -2.98, -1.55, -2.80, -1.83 et -1.30 g/jour respectivement.

Le poids de 1000 grains est réduit chez Ads497, Cyprus1, Waha et Heider/Martes/Huevos de Oro par un facteur de -1.01, -1.06, -1.06 et -1.09g respectivement. Derraa est la variété qui fait jouer le moins l'effet de compensation entre ces deux composantes avec une réduction de -0.84 g du poids de 1000 grains pour une augmentation d'un millier du nombre de grains m^{-2} .

Les coefficients de rang entre b et S^2 du rendement avec le coefficient de régression du poids de 1000 grains sur le nombre de grains m^{-2} est positif et significatifs ($\tau_{b_{RDT}/b_{PMG-NGM^2}} = 0.890$ et $\tau S^2_{RDT}/b_{PMG-NGM^2} = 0.749$). Ces coefficients indiquent que, sous conditions contraignantes, lorsque le génotype n'arrive pas à produire un nombre élevé de grains m^{-2} , il compense cette faiblesse par une augmentation du poids de 1000 grains (Figure -4-). Le degré de cette compensation, pour minimiser de la baisse du rendement grain, est variable selon les génotypes.

La corrélation entre les moyennes génotypiques du poids de 1000 grains et le coefficient de régression du poids de 1000 grains sur le nombre de grains m^{-2} est significative et de signe négative ($\tau_{PMG}/b_{PMG-NGM^2} = -0.681$). Elle indique que les génotypes qui utilisent de manière significative le poids de 1000 grains pour compenser la réduction du nombre de grains m^{-2} induite par le stress sont les génotypes à PMG élevé (gros grains).

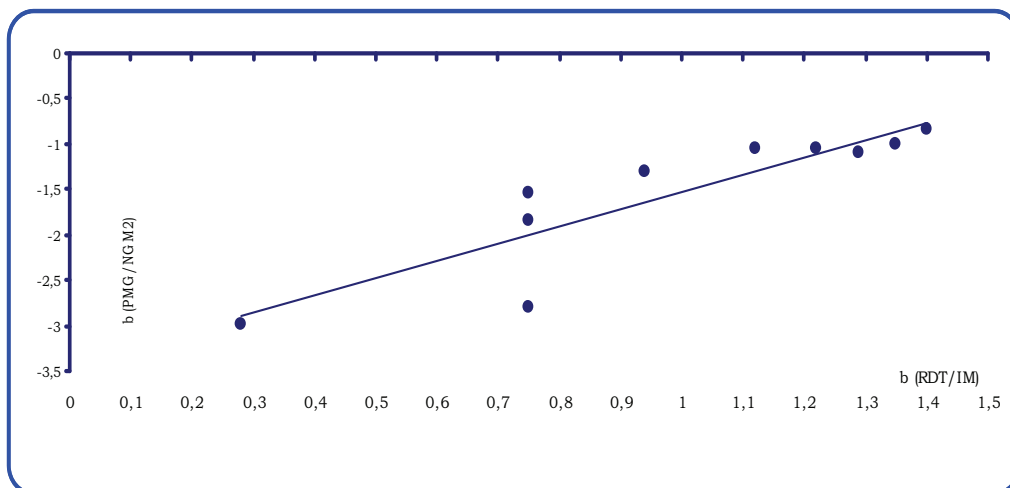


Figure -4- Relation entre les coefficients de régression du rendement grain sur l'indice du milieu et celui du poids de 1000 grains sur le nombre de grains m⁻².

Pour mieux visualiser les relations existantes entre les réponses génotypiques pour ces variables (RDT, NGM², HI et PMG) et le rendement moyen des six campagnes par génotype, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales (Figure -5-). Le plan formé par les axes 1 et 2 explique 79.1% de l'information disponible dans les variables soumises à l'analyse.

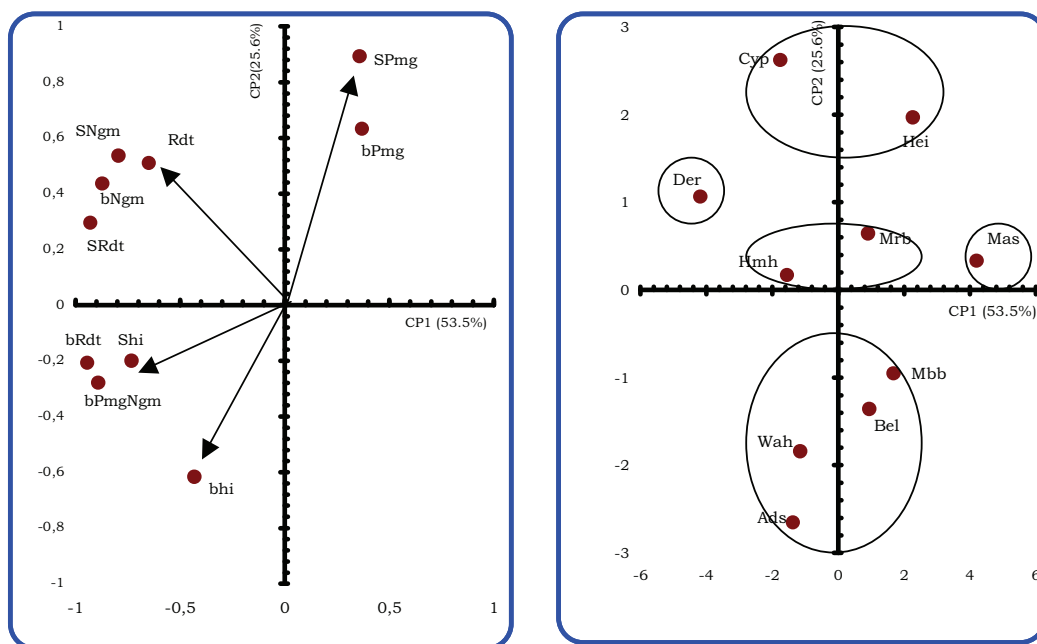


Figure -5- Représentation des variables et des individus sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP.

L'axe 1 gère l'information relative à la variation du rendement et du nombre de grains m^{-2} . L'axe 2 gère, par contre, l'information relative à la variation du poids de 1000 grains et la réponse de l'indice de récolte à la variation du milieu. Ces deux caractéristiques s'opposent le long de l'axe (Figure -5-). Dans la mesure où les deux axes sont non corrélés, ces résultats confirment que la variation du PMG est partiellement indépendante de celle du rendement grain.

Le long de l'axe 1 s'opposent Massara1 et Derraa. Massara1 est relativement plus stable pour le rendement et le nombre de grains m^{-2} . A l'inverse Derraa est le plus irrégulier. Heider/Martes//Huevos de Oro et Mrb5, situés près du point d'origine, ont donc une stabilité intermédiaire pour le rendement et le nombre de grains m^{-2} . Cet axe indique que la stabilité, synonyme d'adaptation, est négativement corrélée avec la réalisation d'un haut rendement grain, notamment chez Derraa, Heider/Martes// Huevos de Oro, Mrb5 et Massara1.

Les caractères pris en charge par l'axe 1 ne discriminent pas entre les six géotypes restant qui sont plutôt liés à l'axe 2. Cyprus et Heider s'opposent le long de cet axe à Waha, Ads497, Mbb et Beliouni (Figure -5-). Cyprus1 et Heider se caractérisent par une variation élevée du poids de 1000 grains, à l'inverse de Waha, Ads497, Mbb et Beliouni. De part leur position sur le plan formé par les axes 1 et 2, Waha et Ads497 se distinguent par une meilleure répartition de la matière sèche (HI).

Ceci leur confère la capacité de donner de hauts rendements comparativement à Mbb et Beliouni qui ont tendance à donner un faible rendement grain (Figure-5-). Waha et Ads497 sont relativement moins stables (stabilité mesurée par l'ensemble des variables soumises à l'ACP, et pas seulement par le coefficient de régression), alors que Mbb et Beliouni le sont plus. Cyprus1 est plus productif et moins stable comparativement à Heider qui est moins productif et plus stable (Figure -5-).

Ces résultats montrent que la stabilité de rendement est une caractéristique très complexe, dépendante de plusieurs autres variables comme l'est le rendement grain lui-même. Dans le cas présent, elle est négativement corrélée avec la productivité estimée par le rendement grain. Elle liée à la stabilité du poids de 1000 grains et du nombre de grains m^{-2} . L'instabilité du rendement grain peut avoir diverses origines.

Une forte sensibilité au stress conduit à un rendement nul, alors qu'une réponse génotypique à la fertilité du milieu conduit à un rendement plus élevé qu'attendu. Un géotype qui répond favorablement à l'amélioration des conditions de production est désirable pour peu qu'il arrive à éviter le rendement nul sous stress. La forte compensation entre le nombre de grains par épi et le nombre d'épis qui se matérialise en période de pré-anthèse fait que la réponse du nombre de grains par épi à ces stress est très variable (Wardlaw, 2002).

Conclusion

Les stress les plus communs aux zones semi-arides sont le déficit hydrique, le stress thermique et la radiation. Ces stress interviennent le plus souvent en interaction, surtout lors de la période de remplissage du grain. Le poids individuel du grain et le nombre de grains par épi sont les composantes les plus affectées par ces stress au cours de cette période.

La prévision du comportement variétal sur une échelle de variation des rendements du milieu similaire à celles observées au cours des saisons étudiées, indique que les géotypes avec un $b > 1$ sont très risqués lors des années peu favorables à l'expression du rendement.

De tels géotypes perdent leur capacité de production à des potentialités de production du milieu où d'autres géotypes, notamment ceux avec un $b = 1$ et surtout ceux ayant un $b < 1$, donnent un rendement grain acceptable sous de telles conditions de croissance. Ces géotypes (avec $b > 1$) reprennent cependant l'avantage du rendement dans les environnements favorables.

Références bibliographiques :

- Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakhoul H., Nachit M.M., (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *FCR*, 55 : 209 - 223.
- Baldy C., Ruelle P., Fernandes A., (1993). Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse*, 4 : 85-93.
- Blum A., (1996). Crop responses to drought and the inter relation of adaptation. *Plant growth. Regul.* 20 : 135-148.
- Blum A., Pnuel Y., (1990). Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41 : 799-810.
- Finlay K.W., Wilkinson G.N., (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust J. Agric. Research*, 14 : 742-754.
- Li C.S., Binns M.R., Leftkovitch P., (1986). Stability analysis : where do we stand ? *Crop Science*. 26 : 894-900.
- Randall P.J., Moss H.J., (1990). Some effects of temperature regime during GF on wheat quality. *Aust. J. Agro. Res.* 41 : 603-617.
- Simane B., Peacock J.M., Struik P.C., (1993). Differences in development plasticity growth rate among drought. Resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var.durum). *Plant and Soil*, 157 : 155-166.
- Steel R.G.D., Torrie J.H., (1980). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. *Mc Graw Hill Inc, NY*, 633 pp.
- Stone P.J., Nicolas M.E., (1995). A survey of the effects of high temperature during grain fill on yield and quality of 75 wheat cultivars. *Aust. J. Agro. Res.* 46 : 475-492.
- Wardlaw I.F., Dawson I.A., Munibi P.M., (1989). Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. *Aust.J.Agri.Res.* 46 : 15 - 24.
- Wardlaw I.F., (2002). Interaction between drought and high temperature during grain filling in wheat in controlled environments. *Annals of Botany*. 90 : 469-476.