

Caractérisation de la croissance du grain et recherche des parents pour l'amélioration du taux de remplissage du grain et du rendement de l'orge en bour au Maroc

Karrou M.

Département d'Agronomie, INRA Maroc, B.P. 415, Avenue de la Victoire, Rabat

Résumé

L'orge occupe une place importante dans les systèmes de production en agriculture pluviale au Maroc. Néanmoins, les rendements de cette culture restent faibles à cause du manque de pluies et des sécheresses qui sont devenues plus fréquentes ces dernières décennies. En effet, les sécheresses de fin du cycle ont souvent un effet négatif sur le poids du grain qui est une des composantes les plus déterminantes du rendement grains. Les objectifs de cette étude sont donc l'évaluation de la variation génotypique des caractéristiques de la croissance du grain (durée et taux de remplissage des grains), l'investigation de la compensation entre le taux de remplissage et le nombre de grains et le choix des parents pouvant être utilisés dans les programmes d'amélioration des plantes pour augmenter le taux de remplissage du grain et le rendement grains. Pour atteindre ces objectifs, quatorze génotypes d'orge ont été exposés à sept différents environnements climatiques créés par des semis précoces et tardifs de ces cultivars pendant quatre années au domaine expérimental de Merchouch. Les résultats obtenus montrent une variation génotypique significative pour tous les paramètres mesurés sous la majorité des environnements. De même, il a été démontré que le rendement grains est plus corrélé au taux de remplissage des grains et au nombre de grains par épi et par m² qu'au poids de 1000 grains. Quant au poids de 1000 grains, il est positivement lié au taux de remplissage de 1 grain. Des relations négatives ont été enregistrées entre le nombre des grains et le taux de remplissage du grain. En terme de rendement grains, la variété Aglou paraît plus stable sous les différents environnements. Les anciens génotypes tendent à avoir les taux de remplissage du grain les plus élevés et des nombres de grains faibles à moyens. Les variétés Annoceur et Amalou ont eu les taux les plus faibles et des nombres de grains relativement élevés. Quant à Azilal, elle a des taux et des nombres de grains élevés. Dans cette étude, nous avons démontré

chez l'orge une variabilité génotypique significative pour les différents paramètres mesurés. En plus, dans le matériel génétique testé il existe des génotypes ayant des taux de remplissage du grain et des nombres de grains élevés qui peuvent être croisés pour créer des variétés adaptées aux conditions de l'agriculture pluviale marocaine.

Mots clés : Agriculture pluviale, orge, sélection, taux, remplissage, grain

Abstract : Grain growth characterization and identification of genetic material to be used in grain filling rate and yield improvement of barley in Morocco

Barley is an important crop within the farming system in rainfed agriculture of Morocco. Nevertheless, its yields remain low because of a lack of rainfall and drought that has become more frequent during these last decades. In fact, terminal drought has a negative effect on kernel weight which is one of the most determinant components of grain yield. The objectives of this study were to evaluate the genotypic variation of grain growth characteristics, to investigate the compensation between grain filling rate and kernel number and to choose parents that can be used in plant breeding programs to improve kernel growth rate and grain yield. To reach these objectives, fourteen genotypes of barley were exposed to seven different climatic environments created by early and late sowings of these cultivars during four years at Merchouch experiment station. Data showed significant genotypic variations for all parameters under most environments. It was also shown that grain yield was more correlated to grain filling rate and kernel number than to one thousand seed weight. Kernel weight was positively linked to one kernel growth rate. Negative relations between kernel numbers and kernel filling rates were demonstrated. In terms of grain yield, the variety Aglou seems to be more stable under different environments. The old genotypes tend to have the highest grain growth rates but low to medium kernel numbers. Varieties Annoceur and Amalou had the lowest rates and relatively high kernel numbers. Azilal had the highest rates and kernel numbers. In this study, we showed, for barley, significant genotypic variation for the different parameters measured. Among the genetic materials tested, there were genotypes that had high grain filling rates and kernel numbers that can be used in crossing to create varieties that are adapted to the conditions of rainfed agriculture of Morocco.

Key words : Rainfed agriculture, barley, selection, grain, kernel, growth, rate

ملخص : مميزات حب الشعير والبحث عن الأنواع الأم لتحسين نسبة ملأ الحب ومردودية الشعير في الزراعة البعلية بالمغرب

قروم .

المعهد الوطني للبحوث الزراعية، قسم الزراعة، ص.ب. 415، الرباط، المغرب

يحتل الشعير مكانة عالية في أساليب الانتاج في الزراعة المحلية بالمغرب، لكن تبقى غلته ضئيلة و ذلك راجع الى قلة الامطار والجفاف الذي تعرفه البلاد و بالأخص في السنوات الاخيرة. إن جفاف أواخر الموسم الزراعي له فعالية سلبية على ملء حب الشعير ومن تم على اعداد احدى المكونات الهامة للحصيلة وهو وزن الحبة ولهذا فإن الاهداف من هذه الدراسة هي تقييم التغير الوراثي (الصنف) المتعلق بمميزات نمو الحب والبحث إذا كان من الممكن الحصول على الموازنة بين قيمة ملء الحب وعدد الحبات و كذلك اختيار الانواع الام الممكن استعمالها في برامج التحسين المرثي النباتي لأجل الرفع من نسبة ملء الحب و الحصيلة. للوصول الى هذه الاهداف قفنا بعرض أربعة عشر نوعا من الشعير على سبع حالات مناخية بمحطة التجارب بمرشوش، وذلك بزرع هذه الاصناف مبكرا (أوائل نوفمبر) ومتأخرا (أوائل دجنبر) لمدة أربع سنوات (1997/98-2000/2001) تبين النتائج المحصل عليها بأن هناك تغيرا وراثيا (صنفي) في جميع العوامل التي قيست و أن الحصيلة كانت مرتبطة بقيمة ملء الحبوب وعدد الحبات ووزن 1000 حبة. وبالنسبة لوزن 1000 حبة فله علاقة مثبنة بقيمة ملء الحبة الواحدة. لقد استنتج كذلك بأن هناك ارتباط عكسي بين الحبات ونسبة ملء الحبة الواحدة. وبالنسبة للحصول، فيعتبر الصنف أكلو أكثر تكيفا مع تغيرات المناخ. والأصناف القديمة تميزت بأعلى قيمة ملء الحب وأقل عدد الحبات. أما الصنف أملو فلقد أعطى أقل قيمة وأعلى عدد الحبات. والشعير تداس كانت قيمة ملء حبة وعدد حباته عالية. نستخلص من هذه الدراسة بأن هناك تغير وراثي مهم في جميع العوامل التي قيست وبأنه توجد من ضمن الاربعة عشر نوعا من الشعير اصناف ذات قيمة ملء الحب وعدد الحبات عالية يمكن استعمالها لخلق اصناف متلائمة مع حالات الزراعة البعلية بالمغرب.

الكلمات المفتاحية : زراعة بعلية، شعير، استنباط الاصناف و نسبة، ملء، حب

Introduction

L'orge occupe, en moyenne, 42 % de la superficie totale réservée aux céréales au Maroc ; soit environ 2.200.000 ha . C'est une culture qui peut être pratiquée dans les différents agro-systèmes marocains ; mais avec une prédominance dans les zones arides et semi-arides où elle représente environ 70 % de la superficie totale des céréales. La superficie d'orge irriguée ne dépasse guère 4 %. Les zones de culture de cette espèce sont caractérisées par un manque de pluie et des fluctuations importantes des précipitations dans le temps et dans l'espace. De même, les sécheresses dans ces zones sont fréquentes et peuvent survenir à n'importe quel moment au cours du cycle de croissance de l'orge. Néanmoins, on peut distinguer, d'une façon générale au Maroc, deux types de sécheresses (El Mourid et Watts, 1993) ; la sécheresse du début de la campagne agricole et qui coïncide avec la germination des semences et la levée des plan-

tules et celle de fin du cycle qui est la plus fréquente et qui affecte la formation et le remplissage du grain de l'orge. Parmi les solutions pouvant remédier à la réduction du poids de 1000 grains causée par la combinaison du stress hydrique et du stress thermique de fin du cycle est la sélection de variétés ayant la capacité de remplir leurs grains plus rapidement et d'avoir des taux de remplissage du grain élevés. En effet, il a été démontré que le poids du grain est plus positivement corrélé au taux qu'à la durée de remplissage du grain (Sofield et al., 1977 ; El Hafid, 1991). De même, il semble qu'il n'y a aucune association génétique entre le taux et la durée de remplissage du grain, bien que les conditions environnementales qui favorisent l'accroissement du taux ont tendance à réduire la durée de remplissage du grain (Ho and Jui, 1989). Il a été aussi démontré qu'il est possible de sélectionner pour un taux de remplissage et un poids du grain élevés indépendamment de la longueur de la période de croissance du grain (Bruckner et Frohberg, 1987).

La variation génotypique du taux et de la durée de croissance du grain a été démontrée chez l'orge par certains chercheurs (Dofing and Knight, 1994). Cependant, bien que le rôle de l'augmentation du taux de remplissage du grain sur le poids du grain ait été vérifié par plusieurs auteurs comme cela a été mentionné auparavant, l'élaboration du rendement-grains reste lié au nombre de grains qui est la composante la plus déterminante du rendement grains (Whan et al., 1996).

Les objectifs de cette étude sont donc l'évaluation de la variation génotypique des caractéristiques de la croissance du grain et de la compensation entre le taux de remplissage et le nombre de grains ainsi que le choix de parents d'orge pouvant être utilisés dans les programmes de sélection des plantes pour améliorer le taux de remplissage du grain en cherchant un compromis entre l'augmentation du taux de remplissage et la réduction du nombre de grains. Ce compromis peut aboutir à l'augmentation et à la stabilisation du rendement grains sous les conditions de l'agriculture pluviale au Maroc.

Matériels et méthodes

Quatorze génotypes marocains d'orge, anciens et nouveaux, ayant des caractéristiques agronomiques différentes ont été choisis pour cette étude. Ces génotypes sont Rabat (071), Merzaga (077), Tamellalt (Tam), Asni (Asn), Acsad 176 (A176), Annoceur (Anno), Arig 8 (905), Massine (Mas), Azilal (Azi), Tiddas (Tid), Aglou (Agl), Amira (Ami), Igrane (Igr) et Amalou (Ama). L'expérimentation consistait en l'installation d'un essai variétal en semis précoce (5-15 Novembre) et tardif (5-15 Décembre) en 1997/98, 1998/99, 1999/2000 et 2000/2001 (l'essai n'a pas été conduit en semis tardif en 1997/98) au domaine expérimental de Merchouch (latitude 33° 47') sur un sol profond de type argileux. La combinaison entre les époques de semis et les années d'expérimentation nous ont permis de créer sept différents environnements. Le dispositif expérimental utilisé est en blocs aléatoires complets à 4 répétitions et chaque parcelle élémentaire a une superficie de 5m x 1,5m. L'orge a été semée au semoir à une densité de 200 graines par m². Les engrais ont été apportés en tenant compte de la richesse du sol en azote, phosphore et potassium. Les doses apportées sont, en moyenne, 60 kg N/ha, 60 kg P/ha et 40 kg K/ha. Les mauvaises herbes ont été contrôlées précocement au début du tallage à l'aide

d'un herbicide. A la maturité, les essais ont été récoltés avec une moissonneuse batteuse expérimentale.

Le rendement grains à l'hectare a été estimé à partir d'une parcelle de 4m x 1m. Quant au nombre de grains par m² et au poids de 1000 grains, ils ont été calculés sur une placette de 2 mètres linéaires par parcelle élémentaire. Le nombre de grains par épi a été obtenu en divisant le nombre de grains par m² par le nombre d'épis par m².

L'analyse de la stabilité génétique, consistant en la comparaison du rendement d'un génotype au rendement moyen de toutes les variétés dans un même environnement, a été faite sur un nombre restreint de cultivars. Ces génotypes choisis en tenant compte de leurs dates d'inscription au catalogue officiel sont Rabat (1957), Tamellalt (1984), Aglou (1988) Annoeur (1991) et Igrane (1997).

Le stade anthèse de chaque génotype est enregistré lorsque les anthères apparaissent sur 50 % des épis et la maturité physiologique est notée lorsque 50 % des épis sont devenus jaunes.

La durée de remplissage du grain est exprimée en terme de somme de températures ou somme de degré-jours (SDJ) entre l'anthèse et la maturité physiologique. La formule utilisée pour déterminer cette somme est $SDJ = \sum((T_{max} + T_{min})/2)$. T_{max} et T_{min} correspondent, respectivement, aux températures journalières maximales et minimales. La température de base est considérée comme étant égale à zéro. Le taux de remplissage d'un grain est obtenu en divisant le poids moyen d'un grain par la somme de degré-jours et est exprimé en microgrammes (μg). Le taux de remplissage des grains par m² est déterminé de la même façon mais en remplaçant le poids moyen d'un grain par le poids des grains par m²; ce taux est exprimé en grammes (g).

Pour tous les paramètres mesurés, l'analyse de la variance a été faite à l'aide du logiciel SAS. Cependant, cette analyse a montré dans la majorité des cas que l'interaction environnement x génotype était significative pour les paramètres de la croissance du grain. Cette interaction a rendu difficile la synthèse des données obtenues. Pour résoudre ce problème, nous avons suivi l'approche adoptée par Whan et al. (1996). En effet, l'analyse des clusters hiérarchisés (distance euclidienne) a été utilisée pour grouper les environnements similaires pour chaque paramètre. L'objectif visé par cette analyse est de réduire au minimum le nombre de groupes tout en maintenant le maximum de variation.

Toutes les analyses statistiques (variance, corrélation, régression et cluster) ont été réalisées en utilisant le "Système d'Analyse Statistique" SAS (1988).

Résultats et discussion

Le tableau 1 montre les données de la pluviométrie des 4 années d'expérimentation. Les quantités totales enregistrées de Septembre à Mai sont 373mm, 344,5mm, 218,2mm et 324,5mm, respectivement, pour les campagnes agricoles 1997/98, 1998/99, 1999/2000 et 2000/2001. Les pluies reçues pendant la période de croissance de l'orge pour les semis précoces et pour les campagnes précitées sont, respectivement, 313mm, 344,5mm, 158mm et

241,5mm. Pour les semis tardifs, ces quantités sont 344,5mm pour 1998/99, 121,9mm pour 1999/2000 et 224mm pour 2000/2001.

Tableau 1. Quantités de pluie reçues en mm de Septembre à Mai (PT), au cours des cycles de croissance (PRC) et au cours des périodes de remplissage des grains (PRG) par 14 génotypes d'orge en 1998/99, 1999/2000 et 2000/2001 au domaine expérimental de Merchouch.

Année	Environnement	Période de semis	Quantité de pluie		
			PR	PRC	PRG
1997/98		Précoce	373	313	32
1998/99		Précoce	345	345	12.5
		Tardif		345	12.5
1999/00		Précoce	218	159	65.4
		Tardif		122	65.4
2000/01		Précoce	325	242	8.4
		Tardif		224	8.4

Si on tient compte des quantités de pluies reçues directement par la culture, nous pouvons distinguer 7 environnements différents et qui sont 1998/99-précoce (344,5mm) 1997/98-précoce (313mm), 2000/2001-précoce (241mm), 2000/2001-tardif (224mm), 1999/2000-précoce (158,7mm) et 1999/2000-tardif (121,9mm). Le 7ème environnement est 1998/99-tardif (344,5mm) ayant reçu la même quantité que l'environnement 1998/99-précoce ; mais un régime thermique différent. L'analyse de la pluviométrie des 4 années d'étude montre que les quantités totales reçues pendant toutes les campagnes agricoles et celles reçues effectivement par la culture sont, d'une façon générale, inférieures à la moyenne du site calculée sur plusieurs années. De même, la majorité de ces pluies sont concentrées entre Décembre et Février correspondant à la période végétative de la culture d'orge. Au cours de la période de remplissage du grain (anthèse-maturité physiologique), seuls 32mm (23mm en semis tardifs), 12,5mm, 65mm et 8,4mm de pluies sont directement reçus par les orges semées que se soit précocement ou tardivement. Cependant, bien que les quantités reçues tardivement sont faibles, les plantes ont bénéficié de l'eau résiduelle stockée dans le sol pendant la période de Décembre à Février qui était souvent pluvieuse et de celle conservée pendant l'année de la jachère ayant précédé la culture d'orge. En effet, Bouzza (1990) a montré qu'en zones semi-arides du Maroc, des quantités d'eau pouvant aller jusqu'à 100mm peuvent être conservées dans le sol et transférées de l'année de la jachère à l'année de la culture suivante.

Les rendements grains, le nombre de grains par épi et par m² et les poids de 1000 grains des différents génotypes conduits sous les sept environnements sont présentés dans les tableaux 2, 3 et 4. L'analyse de la variance montre un effet significatif de l'environnement, du génotype et de l'interaction environnement x génotype pour les paramètres précités. En effet, la sécheresse de 1999/2000 a eu un effet négatif sur le rendement grains et sur le nombre de grains en semis précoce et tardif. Cependant, bien que la chute du nombre de grains a été compensée par l'augmentation du poids de 1000 grains, cette augmentation n'a pas pu entraîner un accroissement significatif des rendements.

Les meilleurs rendements (Tableau 2) ont été obtenus par les génotypes Merzaga, Azilal en semis précoce de 1997/98, par Amira, Annoceur, Massine, Azilal et Amalou en semis précoce de 1998/99, par Merzaga, Amalou, Rabat, Annoceur, Acsad 176 et Asni en semis tardif de 1998/99, par Azilal, Amira, Aglou et Tamellalt en semis précoce de 1999/2000, par Aglou, Annoceur et Amalou en semis tardif de 1999/2000, par Tiddas, Massine, Annoceur, Aglou et Amira en semis précoce de 2000/2001 et par Massine, Tiddas, Amalou, Annoceur, Aglou et Acsad 176 en semis tardif de 2000/2001. Pour le nombre de grains (Tableau 3), certaines variétés, telles que Annoceur, et Amalou ont pu maintenir les valeurs de ce paramètre relativement élevées indépendamment de l'environnement ; par contre d'autres comme Igrane, Rabat et Merzaga ont beaucoup plus souffert du stress hydrique de 1999/2000 que les autres. Quant au poids de 1000 grains (Tableau 4), il a tendance à rester élevé chez les anciens génotypes Rabat et Merzaga, quelque soit l'environnement et même sous des conditions de déficit pluviométrique élevé. Par contre les variétés Amalou, Igrane, Massine, Arig 8 et Tamellalt tendent à avoir les poids de 1000 grains les plus bas. En général, on peut dire que les réponses à l'environnement sont variables d'un génotype à un autre surtout lorsque ces environnements sont très contrastés.

Tableau 2. Rendement grains de 14 génotypes (G) d'orge conduits sous 7 environnements (E) au domaine expérimental de Merchouch.

Génotype	M981	M991	M992	M001	M002	M011	M012	Moy
071 (1956*)	2380	3220	5560	940	1550	3350	3180	2881
077 (1956)	5780	3040	5900	1100	1510	2220	3210	3193
Tam (1984)	2640	5080	5270	1540	1710	3960	4540	3533
Asn (1984)	3510	4690	5420	1100	1290	4070	3830	3415
A176 (1984)	4030	5100	5440	1350	1710	3660	4580	3693
Anno (1991)	4680	5720	5550	1220	2180	4800	4640	4110
905 (1973)	4460	4160	5000	1400	1720	4080	4080	3556
Mas (1994)	3720	5450	4770	1010	1590	4910	5270	3816
Azi (1989)	5560	5490	4610	1750	1790	4180	4790	4022
Tid (1988)	4160	5140	4870	1200	1780	5130	4890	3879
Agl (1988)	3930	4640	4910	1710	2430	4780	4640	3862
Ami (1997)	4540	6030	5200	1730	1870	4510	4170	4005
Igr (1997)	3160	4330	3930	1110	1550	3270	4160	3072
Ama (1997)	2840	5400	5690	1300	2070	3820	4850	3708
Moy	3960	4820	5150	1320	1770	4090	4340	
E (L.S.D)	440							
G (L.S.D)	1010	1300	NS	450	520	1050	550	
E x G	**							
CV (%)	13.1	14.0	18.0	15.0	16.0	17.0	9.0	

*Année d'inscription

Tableau 3. Nombre de grains par épi de 14 génotypes (G) d'orge conduits sous 7 environnements (E) au domaine expérimental de Merchouch.

Génotype	M981	M991	M992	M001	M002	M011	M012	Moy
071	25	18	33	20	12	11	25	21
077	51	15	34	17	10	14	22	23
Tam	16	22	27	19	12	48	25	24
Asn	24	22	29	14	12	55	21	25
A176	36	23	32	23	15	38	53	31
Anno	50	30	32	18	20	41	55	35
905	33	27	36	19	14	19	50	28
Mas	32	26	27	15	11	37	52	29
Azi	33	49	32	14	12	43	24	30
Tid	23	22	38	15	16	72	27	30
Agl	21	24	27	17	19	25	27	23
Ami	34	26	27	20	19	38	39	29
Igr	22	28	23	12	12	21	25	20
Ama	41	30	39	18	18	58	51	36
Moy	32	26	31	17	14	37	35	
E (L.S.D)	5							
G (L.S.D)	7	6	5	3	4	10	13	
E x G	*							
CV (%)	12.3	13.1	9.5	8.7	9.4	14.0	12.4	

Tableau 4. Poids de 1000 grains de 14 génotypes (G) d'orge conduits sous 7 environnements (E) au domaine expérimental de Merchouch

Génotype	M981	M991	M992	M001	M002	M011	M012	Moy
071	50	50	45	44	43	32	29	42
077	52	49	42	50	48	32	30	43
Tam	40	38	41	41	38	27	28	36
Asn	32	33	44	36	40	30	26	34
A176	39	50	44	41	39	30	27	39
Anno	43	40	41	39	40	30	26	37
905	46	39	41	41	44	28	26	38
Mas	39	44	46	42	45	29	26	39
Azi	39	44	42	42	44	30	26	38
Tid	38	38	38	40	41	30	24	36
Agl	36	42	43	41	43	31	25	37
Ami	41	43	43	40	39	30	26	37
Igr	40	36	46	43	43	27	26	37
Ama	39	36	39	37	40	27	25	35
Moy	41	42	43	41	41	30	26	
E (L.S.D)	3							
G (L.S.D)	4	6	3	3	2	2	3	
E x G	**							
CV (%)	10.1	10.3	8.7	8.4	7.7	7.9	6.5	

L'analyse des corrélations entre le rendement grains et les principales composantes de rendement montre que le rendement grains est beaucoup plus positivement lié au nombre de grains par m² et au nombre de grains par épi qu'au poids de 1000 grains. Les coefficients de corrélation sont, respectivement, de 0,86 et 0,63 pour les deux premières variables. Ces résultats confirment ceux obtenus chez les céréales par d'autres chercheurs (Dakheel et al., 1993) qui ont trouvé que le nombre de grains est la composante la plus déterminante du rendement grains. Il semble que les conditions de sélection ont favorisé l'expression d'une variabilité génétique pour le rendement grains. En effet, puisque le nombre de grains est souvent élaboré sous des conditions relativement plus humides (eau stockée) en comparaison avec la période de remplissage du grain, les améliorateurs ont pu développer un matériel diversifié en terme de fertilité de l'épi ; ce qui a influencé l'élaboration du rendement.

L'analyse de la stabilité génétique a été faite sur un nombre restreint de variétés en tenant compte de leurs dates d'inscription au catalogue officiel. L'analyse de la stabilité génétique (Fig. 1) montre que, contrairement au blé dur (Karrou, 2003), un effort considérable en terme d'amélioration génétique du rendement grains a été consenti sous des conditions relativement favorables et stressantes.

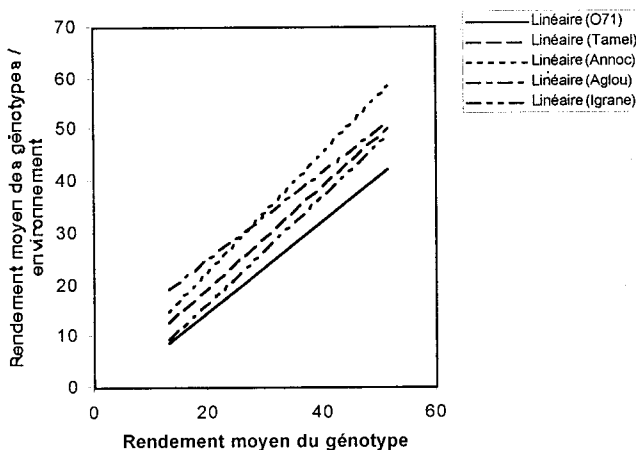


figure1. Analyse de la stabilité du rendement de différents génotypes d'orge

En effet, toutes les variétés ont donné des rendements supérieurs à ceux du génotype le plus ancien Rabat et ce sous les différentes conditions climatiques de Merchouch. Néanmoins, cette amélioration est plus importante pour les variétés Annoceur et Igrane sous les conditions climatiques les plus humides et pour Aglou sous les situations les plus défavorables. Quant à Tamellalt, la variation de ses rendements avec l'environnement reste parallèle à celle de Rabat. Néanmoins, ses rendements sont plus proches de ceux de Annoceur et de Aglou, respectivement sous les conditions les plus défavorables et favorables. La variété Aglou semble avoir une large adaptation bien que son rendement grains reste inférieur à ceux d'autres génotypes sous les conditions les plus favorables. En effet, Ceccarelli et al. (1992) pensent que les amé-

liorateurs travaillant dans les zones arides et semi-arides doivent chercher un compromis entre le rendement potentiel et la tolérance à la sécheresse. De même, Marshal (1987) a suggéré que dans les environnements difficiles, il est plus judicieux de viser des rendements stables avec moins de risque de productivité nulle que des rendements potentiels élevés qui sont difficiles et même impossibles à réaliser.

Les paramètres de croissance des grains (durée et taux de remplissage d'un grain et des grains par m²) sont présentées dans les tableaux 5, 6 et 7. L'analyse de la variance montre des effets significatifs de l'environnement (E), du génotype (G) et de l'interaction E x G sur ces paramètres. Pour grouper les environnements similaires pour chaque paramètre, la méthode d'analyse des clusters hiérarchisés a été utilisée. En effet, pour la durée de remplissage du grain (Tableau 5), deux groupes (GR) distincts ont été identifiés ; il s'agit du groupe 1 à faibles valeurs composé des environnements 1, 2, 3, 4 et 5 et le groupe 2 formés des environnements 6 et 7 où les durées sont relativement plus longues. Pour le groupe 1, les variétés Igrane et Annoceur ont eu les durées de remplissage du grain les plus élevées et les cultivars Arig 8, Azilal et Aglou tendent à avoir les valeurs les plus faibles. Pour le groupe 2, les variétés Amalou, Acsad 176, Arig 8 et Igrane ont les valeurs les plus fortes par contre Asni, Annoceur et Tiddas ont eu les plus courtes durées de remplissage du grain. Cette étude montre aussi que même si les anciennes variétés aient des cycles de croissance plus longs que ceux des nouvelles variétés, elles tendent à avoir des durées de remplissage du grain moyennes. Dans le cas du taux de remplissage moyen d'un grain (Tableau 6), les deux groupes mentionnés ci-dessus sont également retenus. Pour les deux groupes, les anciens génotypes Rabat et Merzaga sont parmi les orges qui ont eu les taux de remplissage du grain les plus forts. Les cultivars Arig 8 et Azilal, pour le groupe 1 et Asni et Annoceur, pour le groupe 2, ont également donné les plus hautes valeurs du taux de remplissage du grain. Pour ce qui est du taux de remplissage des grains par m² (Tableau 7), les environnements ont été classés en trois groupes à savoir GR1 où les valeurs du taux sont faibles (environnements 4 et 5), GR2 avec des valeurs intermédiaires (environnements 1, 6 et 7) et GR3 qui est composé des environnements à fortes valeurs (environnements 2 et 3). D'une façon générale et indépendamment de la classification des environnements, les anciens génotypes Rabat et Merzaga et la variété Igrane tendent à avoir des taux de remplissage des grains par m² les plus faibles ; Par contre, la variété Azilal a eu le taux moyen le plus élevé. Les cultivars ayant donné les meilleurs résultats sont Tamellalt, Asni, Acsad 176, Annoceur, Azilal, Aglou et Amira en groupe 1, Arig 8, Azilal, Tiddas et Aglou en groupe 2 et Annoceur, Massine, Azilal et Tiddas en groupe 3.

Tableau 5. Durée de remplissage du grain de 14 génotype conduits sous 7 environnements domaine expérimental de Merchouch

Génotype	M981	M991	M992	M001	M002	Moy	M011	M012	Moy
071	547	507	523	411	533	504	605	628	617
077	444	473	501	381	689	498	555	645	600
Tam	593	512	490	382	543	504	691	546	619
Asn	574	442	480	424	628	510	563	549	556
A176	539	466	509	497	513	505	724	674	699
Anno	478	469	509	565	700	544	604	547	576
905	558	494	508	465	273	460	689	637	663
Mas	497	576	525	428	495	504	652	567	610
Azi	528	507	486	300	495	463	675	587	631
Tid	509	568	556	441	512	517	569	568	569
Agl	485	431	490	527	457	478	560	647	625
Ami	564	494	544	314	516	495	637	565	601
Igr	506	549	572	636	641	581	703	583	643
Ama	462	565	525	525	544	524	805	643	724
Moy	520	504	516	450	542		648	599	
E(L.S.D)	32								
G(L.S.D)	23	20	25	30		35	34	40	
ExG	**								
CV(%)	10.00		7,2	11,0	7,2		6,3	7,1	11,0

Tableau 6. Taux de remplissage moyen de 1 grain de 14 types d'orge conduits sous 7 environnements au domaine expérimental de Merchouch

Génotype	M981	M991	M992	M001	M002	Moy	M011	M012	Moy
071	91	99	86	107	81	93	53	46	50
077	117	104	84	131	70	101	58	47	52
Tam	67	74	84	107	70	81	39	51	45
Asn	56	75	92	85	64	74	53	47	50
A176	72	107	86	83	76	85	41	40	41
Anno	90	85	81	69	57	76	50	48	49
905	82	79	81	88	161	98	41	41	41
Mas	78	76	88	98	91	86	44	46	45
Azi	74	87	86	140	89	95	44	44	44
Tid	75	67	68	91	80	76	53	42	47
Agl	74	97	88	78	94	86	51	39	45
Ami	73	87	79	127	70	87	47	46	47
Igr	79	66	80	68	67	72	38	45	42
Ama	84	64	74	71	74	73	34	39	36
Moy	80	83	83	96	82		46	44	
E (L.S.D)	25								
G (L.S.D)	11	12	5	15	13		8	4	
E x G	**								
CV (%)	10.6	12.8	12.6	12.0	11.0		11.0	10.0	

Tableau 7. Taux de remplissage des grains par m² de 14 génotypes d'orge conduits sous 7 environnements au domaine expérimental de Merchouch

Génotype	M991	M992	Moy	M00	M002	Moy	M981	M011	M012	Moy
071	635	1063	849	229	291	260	435	554	506	498
077	643	1178	910	289	219	254	1302	400	498	733
Tam	992	1076	1034	403	315	359	445	573	832	617
Asn	1061	1129	1095	259	205	232	611	723	698	677
A176	1094	1069	1082	272	333	302	748	506	680	644
Anno	1220	1090	1155	216	311	264	979	795	848	874
905	842	984	913	301	630	466	799	592	641	677
Mas	946	909	927	235	321	278	748	753	929	810
Azi	1083	949	1016	583	362	472	1053	619	816	829
Tid	905	876	890	272	348	310	817	902	861	860
Agl	1077	1002	1039	324	532	428	810	794	717	774
Ami	1221	956	1088	551	333	442	805	708	738	750
Igr	789	687	738	175	242	208	625	465	714	601
Ama	956	1084	1020	248	381	314	615	475	754	615
Moy	962	1004	311	344	771	633	731			
E (L.S.D)	253									
G (L.S.D)	221	80	180	120	401	150	120			
E x G	**									
CV (%)	15.0	12.0		16.0	15.0	15.0	14.0	13.5		

Le tableau 8 montre les relations qui existent entre le taux de remplissage d'un grain et les autres paramètres. Ce taux est lié positivement au poids du grain et négativement à la durée de remplissage du grain et aux nombres de grains par épi et par m². Ceci montre donc que le taux de remplissage du grain est la composante la plus déterminante dans l'élaboration du poids du grain et qu'il existe une compensation entre le taux de remplissage du grain et le nombre de grains. Ce résultat confirme ceux de Whan et al. (1996) sur blé tendre et ceux de Karrou (2003) sur blé dur. L'analyse des corrélations montre également que le taux de croissance d'un grain n'a pas affecté le rendement grain. Cependant, le taux de remplissage des grains par m² est positivement associé au rendement grains et au nombre de grains par épi et par m² et est négativement lié à la durée de remplissage du grain. Ces résultats montrent donc que pour augmenter le rendement grains de l'orge dans des environnements méditerranéens similaires à ceux du Maroc, il est nécessaire de prendre en considération, dans les programmes de sélection variétale, à la fois le taux de remplissage du grain et le nombre de grains et de choisir la meilleure combinaison des deux. En effet, l'utilisation de plus d'un critère de sélection sous des environnements difficiles est suggérée par Loss et al. (1989) qui ont montré qu'aucun caractère pris individuellement n'a donné le même résultat pour les différents génotypes utilisés.

Tableau 8. Corrélations entre les traits agro-physiologiques chez 14 génotypes d’orge sous 7 différents environnements au domaine expérimental de Merchouch

	Rtg	P1000	DRG	T1g	Tm2	Gm2	GEp
Rtg	1						
P1000-	0.22**	1					
DRG	0.18	-0.55**	1				
T1g	-0.27**	0.82**	-0.88**	1			
Tm2	0.94**	0.01	-0.14**	0.03	1		
Gm2	0.86**	-0.62**	0.39*	-0.58**	0.73**	1	
GEp	0.63**	-0.39**	0.29**	-0.36**	0.52**	0.69**	1

(Rtg=Rendement grains ; P1000=Poids de 1000 grains ; DRG=Durée de remplissage du grain ; T1g=Taux de remplissage de 1 grain ; Tm2= Taux de remplissage des grains par m² ; Gm2=Grains par m² ; Gep=grains par épi).

Pour identifier des génotypes prometteurs pouvant être utilisés comme parents dans la création de variétés d’orge adaptées aux environnements semi-arides caractérisés par des sécheresses de fin de cycle, nous avons lié sur des graphes le taux de remplissage du grain au nombre de grains par épi. La figure 2 montre que pour le groupe 1, les anciens génotypes Merzaga, Arig 8 et Rabat ont tendance à avoir des taux de remplissage du grain élevés et des nombres de grains par épi moyens. En plus, Azilal s’est caractérisé par sa capacité de maintenir élevés le taux de remplissage du grain et le nombre de grains par épi. Par contre, Igrane, Asni et Tamellalt ont eu des taux de croissance du grain et des nombres de grains les plus bas. Quant aux variétés Annoceur et Amalou, elles ont eu des taux de remplissage faibles et des nombres de grains élevés. Dans le cas du groupe 2 (Fig. 3), Tiddas, Annoceur, Asni et Amira ont eu des taux de remplissage du grain élevés et des nombres de grains par épi élevés à moyens. Par contre chez Igrane, les valeurs des paramètres précités étaient les plus faibles. Amalou est une variété qui a donné des taux faibles et des nombres de grains élevés.

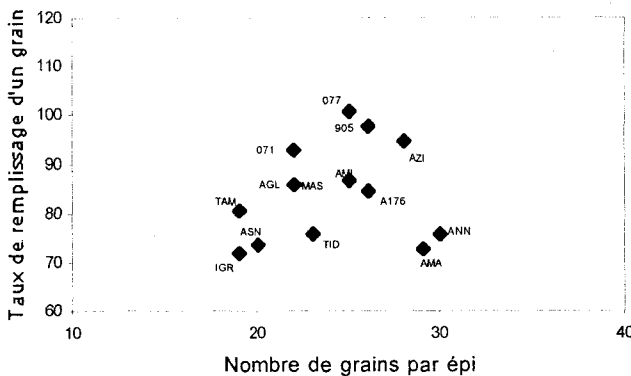


Figure 2. Relation entre le taux de remplissage d’un grain et le nombre de grains par épi chez l’orge : Groupe 1

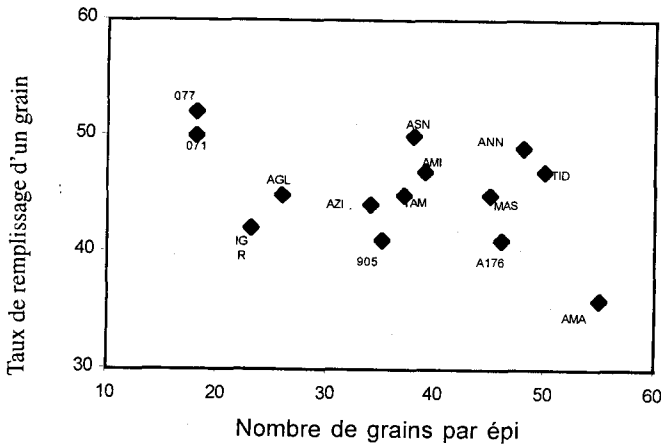


Figure 3. Relation entre le taux de remplissage d'un grain et nombre de grains par épi chez l'orge : Groupe 2

De cette étude on peut conclure qu'il existe une variabilité génotypique pour les différents paramètres mesurés qu'il faut exploiter pour créer des variétés adaptées et augmenter et stabiliser les rendements de l'orge et que le nombre de grains reste la composante la plus déterminante du rendement de cette céréale. De même, le poids du grain peut être augmenté par l'amélioration du taux de remplissage du grain. Dans le groupe des génotypes testés il existe des matériels génétiques ayant des taux de remplissage du grain assez élevés et des nombres de grains faibles et vis versa qui peuvent être croisés pour créer des variétés adaptées pouvant assurer l'augmentation et la stabilité du poids du grain et du rendement sous les conditions d'agriculture pluviale marocaine.

Références

- Bouzza, A., 1990. Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. Ph.D. dissertation. University of Nebraska, Lincoln Nebraska.
- Bruckner, P. L. and Froberg, R. C., 1987. Rate and duration of grain fill in spring wheat. *Crop Sci.* 27 : 451-455.
- Ceccarelli, S., Grando, S. and Hamblin, J., 1992. Relationship between barley grain yield measured in low- and high yielding environments. *Euphytica*
- Dakheel, A. J., Naji, I., Mahalakshmi, V. and Peacock, J. M., 1993. Morphophysiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology* 34 : 297-307.

- Dofing, S. M. and Knight, C. W. 1994. Variation for grain characteristics in northern-adapted spring barley cultivars. *Acta Agric. Scand., Sect. B. Soil and Plant Sci.* 44 : 88-93.
- El Hafid, R., 1991. Variation génotypique du taux et de la durée de remplissage chez le blé en zone semi-aride marocaine. Rapport de titularisation. CRRRA-Settat, Maroc.
- El Mourid, M. and Watts D. G., 1993. Rainfall pattern and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. pp. 59-80. In Jones, M. et al. (Eds). *The agrometeorology of rainfed barley-based farming systems*. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Ho, K. M. and Jui, P. Y., 1989. Duration and rate of kernel filling in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Cereal Research Communications* 17 : 69-76.
- Karrou, M. 2003. Identification of potential grain growth characteristics and parents to use in selecting adapted durum wheat in harsh Mediterranean type of environment. *Al Awamia* (in press)
- Loss, S. P., Kirby, E. J. M., Siddique, K. H. M. and Perry, M. W., 1989. Grain growth and development of old and modern Australian wheats. *Field Crops Research* 21 : 131-146.
- Marshall, D. R., 1987. Australian plant breeding strategies for rainfed areas. In *Drought Tolerance in Winter Cereals*, pp. 89-99. Eds J. P. Strivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma. John Wiley and Sons. New York.
- SAS., 1988. *SAS/STAT User's guide*, release 6.03 edition. Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC.
- Sofield, I., Evans, L. T., Cook, M. G. and Wardlaw, I. F., 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4 : 785-97.
- Whan, B. R., Carlton, G. P. and Anderson, W. K., 1996. Potential for increasing growth in spring wheat. I. Identification of genetic improvements. *Aust. J. Agric. Res.* 47 : 17-31.