

Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude

H. Bouzerzour, A. Djekoune, A. Benmahammed, L. Hassous

En Algérie, la presque totalité des surfaces cultivées en orge sont localisées sur les hautes terres, semi-arides, où les possibilités d'intensification sont très réduites. La pluviométrie et les températures y sont sujettes à de grandes variations intra et interannuelles, qui affectent sérieusement les rendements des cultures [1]. L'utilisation de variétés locales est presque de règle et l'adoption de nouvelles variétés est conditionnée par la stabilité de leur production [2, 3]. Les contraintes climatiques souvent mises en cause dans de tels cas sont le gel tardif [3], la sécheresse et les hautes températures terminales [4-6]. La sélection variétale est pratiquée sur la base du rendement en grain ; or, les résultats de certaines études s'accordent à montrer que le rendement en grain est un caractère très variable, soumis à des interactions génotype/lieu fortes et que son coefficient d'héritabilité est plutôt

faible [4-7]. Le recours à d'autres caractères agronomiques, utilisés en parallèle avec le rendement en grain dans le cadre d'une approche intégrative, pourrait constituer une autre méthode, dans la recherche d'une meilleure stabilité de la production [8, 9].

L'étude de la stabilité du rendement en grain nécessite de lier la notion de régularité de production à des caractères morphologiques, facilement mesurables sur la plante. Plusieurs études ont identifié des caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques, qui participent à la tolérance aux divers stress et à la régularité de la production [10-12] : il faut toutefois déterminer ceux qui semblent les plus prépondérants au niveau de chaque environnement où la sélection est pratiquée. La hiérarchisation des caractères mesurables est souhaitable pour ne prendre en considération que les plus intéressants, vu l'existence d'une multitude de caractères candidats à la réalisation d'une meilleure stabilité du rendement en grain. Il est nécessaire aussi de vérifier l'efficacité des variables retenues comme caractères réellement capables de jouer un rôle effectif dans la stabilité de la production. Les analyses de régression et de corrélation ainsi que les analyses en composantes principales et, de manière générale, les méthodes d'analyse multidimensionnelles sont parmi les techniques statistiques les plus utilisées pour cerner les variables qui contribuent le plus aux variations observées au niveau du rendement en grain dans un environnement donné. Ces techniques identifient les caractères qui

sont candidats potentiels à la sélection pour une meilleure productivité et à une meilleure stabilité de la production. L'étude de la validité des caractères retenus est faite selon la méthode de la sélection divergente. Cette méthode utilise la distribution de la variabilité phénotypique du caractère concerné, en retenant les individus extrêmes, pour mesurer l'évolution de la moyenne de toute la population concernée, au cours des différents cycles de sélection. La différence entre les moyennes des groupes de génotypes extrêmes donne une mesure de l'amplitude des valeurs que peut prendre ce caractère. Ces valeurs extrêmes servent de repères à la sélection, elles sont aussi utilisées dans les calculs de la différentielle de sélection, de la réponse à la sélection et de l'héritabilité réalisée [11, 13, 14].

S'agissant de zones semi-arides d'altitude, la biomasse aérienne est une caractéristique qui traduit bien la capacité d'un génotype à utiliser au mieux les potentialités du milieu [15, 16]. L'indice de récolte donne une mesure du degré de reconversion d'une partie de la biomasse aérienne produite en grain [11]. La précocité est, quant à elle, un caractère adaptatif qui permet à la plante de positionner son cycle de développement pour éviter les contraintes climatiques majeures [12, 17]. La présente expérimentation a pour objectif d'examiner la contribution de la biomasse aérienne, celle de la précocité à l'épiaison et celle de l'indice de récolte à la régularité des rendements de l'orge conduite en zone semi-aride continentale.

H. Bouzerzour : Institut de biologie, Département d'agronomie, Centre universitaire d'Oum-El-Bouaghi, 4000, Algérie.
A. Djekoune : Laboratoire d'écophysiologie, Institut des sciences de la nature, Université de Constantine, 25000, Algérie.
A. Benmahammed, L. Hassous : Institut de Biologie, Station expérimentale agricole, Institut technique des grandes cultures, BP 03 Sétif, 19000, Algérie.

Tirés à part : H. Bouzerzour

Matériels et méthodes

Les essais ont été conduits sur la ferme expérimentale agricole de Sétif, au cours des campagnes agricoles 1993/1994, 1994/1995 et 1995/1996, avec une pluviométrie voisine de 370 mm (moyenne 1961-1990) et une altitude de 1 100 m. La pluviométrie et les températures des mois d'octobre à juin sont représentées dans la *figure 1*, pour les trois années concernées. La fertilisation phospho-azotée est constituée d'un premier apport de 100 kg/ha de superphosphate à 46 %, juste avant le semis, et d'un second apport de 100 kg/ha d'ammonitrate 33,5 %, au stade tallage. Le désherbage est réalisé avec du 2,4-D (750 ml dans 250 l d'eau/ha). Le semis, est effectué entre les 10 et 15 du mois de novembre. Au cours d'un premier essai, 165 génotypes ont été semés en sous-blocs de 24 variétés chacun, dans un dispositif en blocs complètement randomisés, avec trois répétitions, au cours de la campagne 1993/1994. La surface des parcelles élémentaires est de 10 m². Sur ces génotypes ont été notés la date d'épiaison, exprimée en nombre de jours à partir de la date du semis (JAE), le rendement en grain obtenu par récolte à la machine (RDT) et la hauteur des plantes

(PHT). À maturité, et à trois endroits pris dans le sens de la diagonale de la parcelle élémentaire, ont été récoltés des segments de 1 m de long par deux rangs. Sur ces échantillons ont été déterminés la biomasse aérienne (BIO), le poids de 1 000 grains (PMG), le nombre de grains par épi (NGE), le rendement en grain (RDT), l'indice de récolte (IR) et le nombre d'épis/m² (NE).

Les données ont été traitées par l'analyse de la variance classique, la régression multiple et une analyse en composantes principales. Statistiquement l'interprétation des données collectées sur les différentes variables, mesurées dans des unités différentes, est simplifiée, parce que l'analyse en composantes principales est faite sur des données normalisées en unité d'écart type. Elle est utilisée dans le but de déterminer les caractères qui contribuent à l'expression du rendement en grain, introduit comme variable supplémentaire. Elle donne donc une idée sur les caractéristiques requises que doit posséder le génotype modèle pour réaliser un bon rendement en grain, dans un milieu donné.

On a également calculé, pour chaque variable analysée, le coefficient d'héritabilité, qui donne une mesure de l'emprise que peut avoir le sélectionneur sur un tel caractère. Ce coefficient est déterminé par le rapport de la variance génotypique à la variance phénotypique [18] :

$$h^2 = 100 (\sigma^2_g / \sigma^2_p)$$

La variance génotypique (σ^2_g) a été déduite de la table de l'analyse de la variance, par différence entre les carrés moyens des écarts génotypique (CMg) et résiduel (CMrés) :

$$\sigma^2_g = (CMg - CMrés)$$

La variance phénotypique a été prise comme la somme des variances génotypique (σ^2_g) et résiduelle divisée par le nombre de répétitions :

$$(\sigma^2_{rés}/r) : \sigma^2_p = (\sigma^2_g + \sigma^2_{rés}/r)$$

Les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques ont été déterminés par le rapport des écarts types des variances phénotypique et génotypique sur la moyenne du caractère considéré [19] :

$$Cvp \% = 100 (\sqrt{\sigma^2_p/X}),$$

$$Cvg \% = 100 (\sqrt{\sigma^2_g/X})$$

Ces paramètres donnent une idée de la variabilité disponible par caractère. Le gain génétique attendu en sélection (GGA) a été calculé par la formule donnée par Allard [13] et ramené en pourcentage de la moyenne du caractère considéré :

$$GGA = 100 (k \sqrt{\sigma^2_g \cdot h^2}), k = 2,06$$

qui mesure l'intensité de sélection (5 %) en unité d'écart type.

Après traitement des données collectées sur les 165 génotypes, des groupes contrastés pour la biomasse aérienne, la précocité à l'épiaison, l'indice de récolte et le rendement en grain ont été constitués. Du fait de la forte liaison entre la précocité et l'indice de récolte, les groupes contrastés pour la précocité sont identiques à ceux qui divergent pour l'indice de récolte. Pour garder une dimension raisonnable aux expérimentations de 1994/1995 et 1995/1996, le nombre de génotypes retenus a été limité à 9 par groupe et le nombre de groupes limité à 2 (M et m) par critère de sélection, soit un total de 54 génotypes (*tableau 1*). Le groupe M désigne les génotypes ayant de fortes valeurs pour le caractère sélectionné, et m celui des génotypes qui ont de faibles valeurs. Sur ces 54 génotypes sélectionnés ont été

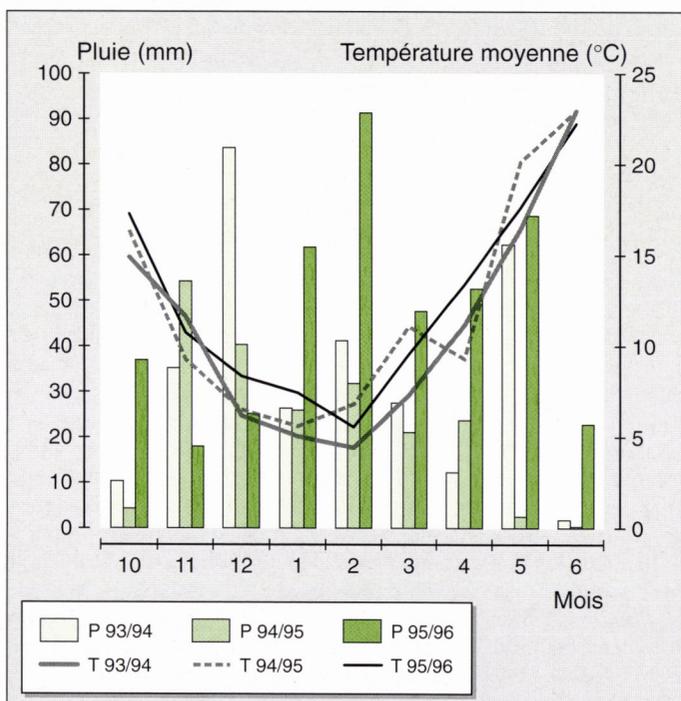


Figure 1. Pluviométrie et températures mensuelles des trois années d'étude.

Figure 1. Monthly rainfall and temperature levels during the 3 year study.

Tableau 1**Liste des groupes de géotypes d'orge sélectionnés selon trois critères de sélection**

Sélection sur la base de la précocité à l'épiaison			
Groupe tardif		Groupe précoce	
1 Barberousse	Moyenne du groupe : JAE = 109 jours IR = 40 % BIO = 1,1 kg/m ²	Icb.89.824	JAE = 85 jours IR = 20 % BIO = 0,7 kg/m ² RDT = 372 g/m ²
2 Sonora		Icb.84.974	
3 Fakir		Icb.88.439	
4 Manitou		Icb.88.615	
5 S16-31		Icb.88.912	
6 Tamaris		Icb.82.74	
7 Plaisant		Rihane 03 Arrar	
8 Oregon 1730003		As46 Rihane 05	
9 Icb 104041		Rihane 03	
Sélection sur la base de la biomasse aérienne			
Groupe forte biomasse aérienne		Groupe faible biomasse aérienne	
1 M6/Robur.35.6.3/ Attiki Icb.88.1189	JAE = 104 jours IR = 21 % BIO = 2,0 kg/m ² RDT = 432 g/m ²	Comp Xss 29/Cm.63//cr.266.15.2	JAE = 86 jours IR = 30 % BIO = 1,3 kg/m ² RDT = 422 g/m ²
2 Sinis 28.Icb.84.632		M5/Galt//As.46/3/Th.unk.23	
3 Sinis 25.Icb.84.632		WI2269/Th.unk.48	
4 Saïda		As.46/Aths*2//Sarras	
5 Plaisant		Guiza.121/Pue//Cr.366.15.2	
6 Rebelle		Cyb.3601/Api//Cm.67/3/Ager	
7 Tichedrett		Motan	
8 Tina		Kenyan research Bell//As.46//Alpha	
9 Arizona/Nopal Icb.86.86		Lignée.640/Bgs//Celaya Icb.82.440	
Sélection sur la base du rendement en grain			
Groupe haut rendement		Groupe faible rendement	
1 Acsad 176	JAE = 93 jours IR = 35 % BIO = 1,7 kg/m ² RDT = 564 g/m ²	Icb.86.341	JAE = 84 jours IR = 18 % BIO = 1,3 kg/m ² RDT = 248 g/m ²
2 Rihane 07		Icb.89.1110	
3 Kerney		Icb.89.831	
4 Steptoe		Icb.89.799	
5 Cmb.86.A.1181.C		Arig.8/Imperial.Icb.82.1452	
6 Icb .86.368		Icb.84.632	
7 Icb 88.611		Icb.83.687	
8 Icb 84.1485		Lignée 527/NK.12.72 Icb.85.321	
9 Icb 84.1487		Deir Alla 106//Api//EB.89.8.2/3/Chzo/Prn	

JAE, IR, BIO, RDT sont respectivement le nombre de jours à l'épiaison, l'indice de récolte, la biomasse aérienne accumulée et le rendement en grain, en moyenne par groupe de géotypes.

List of barley genotype groups selected on the basis of three selection criteria

effectuées les mêmes mesures que précédemment. Une analyse de variance est effectuée par critère de sélection. Les moyennes des groupes de géotypes divergents sont comparées par la méthode des contrastes. La différentielle de sélection a été calculée comme la différence entre les moyennes observées des groupes M et m sélectionnés. Les réponses directes et corrélatives ont été prises comme la différence entre les moyennes, des mêmes groupes, observées l'année suivante, pour le caractère sélectionné et les variables non prises en compte en sélection [14]. L'héritabilité réalisée a été calculée par le rapport de la réponse à la sélection (RS) sur la différentielle de sélection (DS) [11] :

$$h^2 \text{ réalisée} = \text{RS/DS}$$

Des matrices de corrélations entre paires de caractères ont été calculées et discutées pour chaque critère de sélection.

Résultats et discussion**Variabilité des caractères mesurés**

L'analyse de la variance des variables mesurées au cours de l'essai réalisé lors de la campagne 1993/1994 révèle des

effets géotypes significatifs, mettant en évidence une grande variabilité phénotypique pour les différents caractères mesurés (tableau 2). Les coefficients de variation géotypiques sont légèrement inférieurs aux coefficients de variation phénotypiques. L'héritabilité est élevée pour l'ensemble des caractères confirmant le peu d'influence du milieu, au cours de cette campagne sur l'expression du potentiel. Les gains attendus en sélection sont très élevés et varient de 10,5 % de la moyenne pour la précocité à l'épiaison à 54,5 % de la moyenne pour le nombre de grains par épi (tableau 3).

L'examen des coefficients de corrélation indique que le rendement en grain est positivement lié au nombre de grains par m² ($r = 0,722^{**}$), à l'indice de récolte ($r = 0,539^{**}$), au nombre de grains par épi ($r = 0,522^{**}$), à la précocité à l'épiaison ($r = 0,202^{**}$) et à la biomasse aérienne ($r = 0,496^{**}$); le nombre d'épis/m² ne montre pas de liaison significative avec le rendement en grain ($r = 0,066$ ns). Malgré la variation observée pour ce caractère, qui est relativement très forte (345 à 940 épis/m²), cette composante ne semble pas intervenir dans l'expression des différences géotypiques du point de vue du rendement en grain. Ceci s'explique probablement par le fait que les géotypes à faible nombre d'épis compensent ce défaut grâce aux autres composantes du rendement, pour donner un rendement en grain équivalent à celui des lignées ayant un nombre d'épis plus élevé par unité de surface.

Une liaison positive significative existe entre le nombre de grains par épi et la précocité à l'épiaison ($r = 0,409^{**}$). Elle indique que la fertilité des épis est plus forte chez les géotypes épiaient tardivement. Cette liaison, qui met en cause le gel tardif dans la réduction de la fertilité des variétés précoces, explique en partie la liaison entre le rendement en grain et la précocité à l'épiaison, déjà mentionnée ci-dessus. La précocité apparaît comme un caractère dont il faut tenir compte dans la recherche d'une plus grande stabilité de la production dans la mesure où il conditionne la stabilité d'une des composantes du rendement. La distribution des valeurs observées pour ce caractère indique que le sens de sélection est dirigé vers une plus grande précocité d'épiaison (figure 2).

L'indice de récolte est positivement corrélié au nombre de grains par épi et au nombre de grains par m². Ces deux composantes constituent la part de la

Tableau 2**Analyse de la variance des caractères mesurés chez les 165 génotypes évalués à Sétif pendant la saison 1993/1994**

Source	Carrés moyens des écarts								
	ddl	NE	NGE	PMG	PHT	BIO	JAE	IR	RDT
Génotype	494	74 292,2**	37,6**	40,1**	120,2**	0,21**	36,5**	101**	16 932,6**
Résidus	328	9 034,4	7,1	20,6	4,9	0,07	3,8	10	2 475,2

** : effet génotype hautement significatif ; NE = nombre d'épis par m² ; NGE = nombre de grains par épi ; PMG = poids de 1 000 grains (g) ; PHT = hauteur des plantes (cm) ; BIO = biomasse aérienne (kg/m²) ; JAE = nombre de jours à l'épiaison, compté du 1^{er} janvier ; IR = indice de récolte (%) ; RDT = rendement en grain (g/m²).

Analysis of variance for parameters measured in 165 barley genotypes studied at the Sétif experimental farm during the 1993/1994 cropping season**Tableau 3****Moyennes, étendues, coefficients de variation phénotypiques et génotypiques, gain génétique attendu en sélection, et coefficient d'héritabilité des variables mesurées chez les 165 génotypes d'orge étudiés au niveau du site de la ferme expérimentale de Sétif en 1993/1994**

Variabiles*	Moyennes	Étendues	Cvp %	Cvg %	GGA %	h ² %
NE	618	345/940	25,46	23,86	45,6	87
NGE	17,5	6,5/33,4	29,11	27,77	54,5	91
PMG	39,6	23/51	13,30	11,54	20,5	75
NGM ²	11	3,1/21,9	28,19	27,24	54	93
RDT	414,5	110/631	18,12	16,74	31,7	85
PHT	79,2	55/102,5	11,52	10,93	21,1	89
BIO	1,6	0,8/2,4	24,86	22,89	43	84
JAE	92,6	80/119	5,4	5,3	10,5	95
IR	0,267	0,09/0,56	13,5	12,6	11	70

* NE = épis/m ; NGE = nombre de grains/épi ; PMG = poids de 1 000 grains (g) ; NGM² = nombre de grains (1 000/m²) ; RDT = rendement en grain (g/m²) ; PHT = hauteur des plantes en (cm), BIO = biomasse aérienne, (kg/m²), JAE = nombre de jours du 1^{er} janvier à l'épiaison ; IR = indice de récolte = RDT/BIO. Cvp = coefficient de variation phénotypique ; Cvg = coefficient de variation génotypique ; GGA = gain génétique attendu en sélection ; h² = coefficient d'héritabilité.

Means, ranges, phenotypic and genotypic coefficients of variation, genetic gain and heritability of variables measured in 165 barley genotypes studied during the 1993/1994 cropping season at the Sétif agricultural farm

biomasse aérienne qui est valorisée sous forme de grains. Ce rapport est négativement corrélé à la biomasse aérienne ($r = -0,54^{**}$), indiquant que chez les génotypes étudiés l'augmentation de l'indice de récolte se fait, en général, au détriment de la biomasse aérienne. Utilisé comme critère de sélection, l'indice de récolte, qui est positivement corrélé à la précocité à l'épiaison, risque donc de réduire la biomasse aérienne chez les génotypes sélectionnés. La biomasse aérienne est positivement liée au nombre d'épis par m², à la hauteur des plantes et au poids de 1 000 grains ($r = 0,591^{**}$;

$0,237^{**}$ et $0,265^{**}$ respectivement). La distribution fréquentielle de la variabilité observée est normale et présente une large étendue, indiquant de grandes possibilités de sélection à l'intérieur du matériel végétal (figure 3).

La régression multiple, du rendement en grain sur les caractères morphologiques, retient la biomasse et l'indice de récolte qui expliquent plus de 51 % de la variation du rendement en grain :

$$RDT = 141,65 \text{ BIO} + 815,89 \text{ HI} - 37,6$$

$$(r^2 = 0,513)$$

La matrice des moyennes génotypiques des 8 variables actives, soumises à l'analyse en composantes principales, explique 80,5 % de la variation disponible sur les trois premiers axes principaux. Les corrélations entre les variables introduites et les deux premiers axes indiquent que le rendement en grain est déterminé par la précocité, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte, tous positivement corrélés avec l'axe 1 (figure 4). La biomasse aérienne et le nombre d'épis par unité de surface sont positivement corrélés avec l'axe 2, indiquant qu'une forte biomasse aérienne est liée surtout à la contribution du nombre d'épis par unité de surface, ce qui explique la contribution de la biomasse aérienne au rendement en grain déterminée par l'analyse de la régression. Ces différentes analyses indiquent que la précocité, l'indice de récolte et la biomasse aérienne sont des caractères étroitement associés au rendement en grain. Ils interviennent donc directement ou indirectement dans l'élaboration de ce caractère chez l'orge conduite en zone semi-aride d'altitude.

Réponse directe à la sélection sur la base des caractères associés au rendement en grain**Sélection sur la base de la biomasse aérienne**

L'analyse de la variance pluriannuelle de la biomasse aérienne montre des effets année et interaction génotype/année significatifs, alors que l'effet génotype n'est pas significatif (tableau 4). Ces interactions génotype/lieu indiquent que la biomasse aérienne reste, comme le rendement en grain d'ailleurs, soumise aux effets des années et des interactions qu'elles engendrent. Ces interactions absorbent l'effet moyen génotype et obligent à s'intéresser au comportement des génotypes par année. L'étude des moyennes indique que l'écart de biomasse aérienne, entre années extrêmes, est plus important en valeur que celui observé entre les moyennes des groupes contrastés pour ce caractère (390 et 230 g/m²), ce qui montre l'influence de l'année sur l'expression de cette caractéristique (tableau 5). Par année, l'écart de biomasse aérienne le plus important, entre groupes contrastés, est observé au cours de l'année de sélection (730 g/m²). Cet écart se réduit à 160 g/m² l'année suivante, pour devenir non significatif en troisième année (tableau 5). L'héritabilité réalisée varie de 22 % à 0, respectivement pour

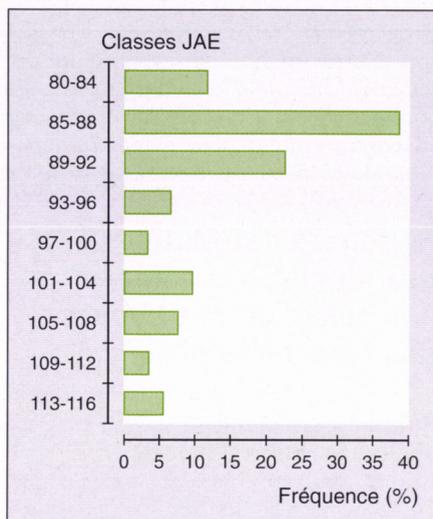


Figure 2. Distribution fréquentielle de la précocité à l'épiaison observée chez 165 génotypes d'orge.

Figure 2. Frequency distribution of days-to-heading obtained for 165 barley genotypes.

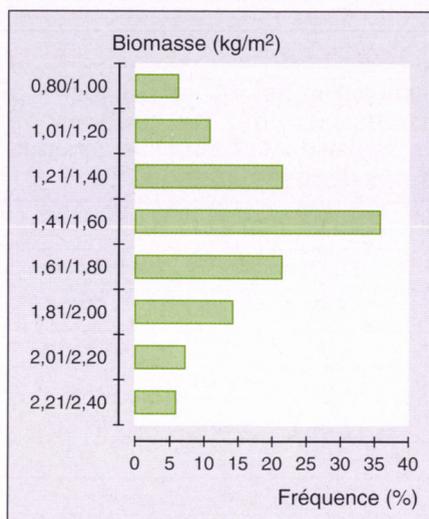


Figure 3. Distribution fréquentielle de la biomasse aérienne observée chez 165 génotypes d'orge.

Figure 3. Frequency distribution of above-ground biomass obtained for 165 barley genotypes.

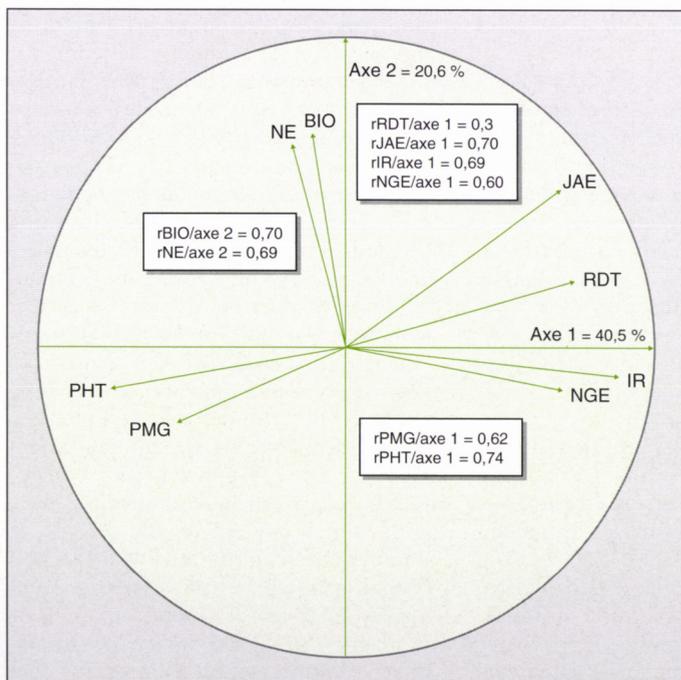


Figure 4. Cercle des corrélations entre les caractères mesurés chez les 165 génotypes d'orge et les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales. RDT variable supplémentaire.

Figure 4. Correlations between measured variables and first principal component analysis axes for 165 barley genotypes.

les deux années tests. Ces résultats indiquent que la réponse directe à la sélection sur la base de la biomasse aérienne est variable et dépendante des années.

Sélection sur la base de la précocité

L'analyse de la variance pluriannuelle de la précocité à l'épiaison des groupes contrastés pour cette caractéristique au cours des trois années montre des effets

année, génotype et interaction génotype/année significatifs (tableau 4). L'interaction génotype/lieu indique que la précocité à l'épiaison reste, comme le rendement en grain et la biomasse aérienne, soumise aux effets des années et des interactions qu'elles engendrent. L'étude des moyennes du nombre de jours à l'épiaison montre que l'écart entre années extrêmes reste intermédiaire

(16 jours), comparativement aux écarts observés entre les moyennes de précocité des groupes divergents pour cette caractéristique, pour les trois années (19 jours) et par année (24, 20 et 11 jours respectivement pour 1993/1994, 1994/1995 et 1995/1996) (figure 5). La réponse directe à la sélection sur la base de la précocité à l'épiaison est positive et significative mais elle est variable en valeur en fonction des années (tableau 5, figure 5).

Ces résultats montrent qu'un génotype peut présenter des différences de date d'épiaison d'une année sur l'autre allant jusqu'à 16 jours, tout en gardant sa précocité vis-à-vis des génotypes auxquels il est comparé. Ce comportement s'explique par le fait que la phénologie de la plante est rythmée par les sommes de températures supérieures à 0 °C accumulées, sommes dépendantes de la variation climatique observée au cours de l'année. Cette variation dans le nombre de jours requis pour épier pose des problèmes en sélection. En effet, au niveau des zones à climat variable, où la culture est soumise à diverses contraintes d'ordre climatique, le sélectionneur cherche à utiliser la précocité pour moduler le rythme de développement de la plante et la conformer au climat moyen du lieu de production afin d'éviter ces contraintes. L'indicateur utilisé est la date de sortie des épis, en temps réel. La date désirable est, en général, déterminée suite à des études fréquentielles qui cadrent la période la moins risquée vis-à-vis des contraintes en question. Si la variation interannuelle en matière de précocité reste dans les limites fixées par ces études, ce caractère est très utile comme critère de sélection. Si au contraire cette variation est plus importante et sort du cadre limite, la précocité à l'épiaison, utilisée comme mécanisme d'esquive, n'est d'aucune utilité en sélection et il faut l'assortir de la tolérance génétique.

Pugsley [20] a étudié les besoins en vernalisation, en vue de réduire la sensibilité des génotypes à la somme des températures supérieures à 0 °C ; il a abouti à la sélection de génotypes plus tardifs et plus stables du point de vue date d'épiaison. Pour le blé dur (*Triticum durum* Desf.), Abassenne *et al.* [21] rapportent l'existence d'importantes variations dans les réponses aux sommes de températures supérieures à 0 °C. Ils montrent que la date d'épiaison de certains génotypes, comme Ci 9225/Trob's, ne varie que de 3 jours au cours des trois années qu'a

Tableau 4

Analyse de la variance de la biomasse aérienne, de la précocité à l'épiaison et du rendement en grain mesurés chez les groupes de génotypes divergents pour la précocité à l'épiaison, la biomasse aérienne et le rendement en grain pour 165 génotypes d'orge

Critère de sélection	Carrés moyens des écarts					
	ddl	Précocité		Biomasse		Rendement
Source	ddl	JAE	RDT	BIO	RDT	RDT
Année (Y)	2	4 302**	2,9**	2,19**	1,18**	1,51**
Génotype(G)	17	907**	0,03ns	0,29ns	0,06ns	0,15*
YxG	34	58**	0,08**	0,26**	0,05**	0,06**
M/m	1	4 468**	0,94**	2,17**	0,11**	1,68**
Blocs/Y	6	32,0	0,01	0,04	0,01	0
Résiduelle	102	4,7	0,01	0,02	0	0

ns, *, ** r = effets non significatif et significatif à 5 et 1 % respectivement ; JAE = nombre de jours à l'épiaison ; RDT = rendement en grain (g/m²) ; BIO = biomasse aérienne (kg/m²) ; M/m est le contraste de comparaison des moyennes des groupes divergents ; M = moyenne du groupe avec fortes valeurs pour le critère de sélection ; m = moyenne du groupe de génotypes avec faibles valeurs pour le critère de sélection.

Analysis of variance for above-ground biomass, earliness and grain yield in groups of barley genotypes (total 165) differing in terms of earliness, above-ground biomass and grain yield

duré l'étude, alors que celle du cultivar Waha varie de plus de 19 jours. Il est possible que des génotypes d'orge possèdent eux aussi cette caractéristique adaptative.

Réponse du rendement en grain à la sélection sur la base des caractères liés

L'analyse de la variance du rendement en grain, mesurée chez les variétés issues des sélections directes et indirectes, révèle des effets année et interaction génotype/année significatifs. L'effet génotype n'est significatif que pour le rendement en grain de la sélection directe, car cette dernière engendre des différentielles de sélection plus importantes en valeur que celles engendrées par la sélection indirecte (tableaux 4 et 5).

Les moyennes de rendement en grain des trois années restent sensiblement équivalentes pour les trois critères de sélection. Elles varient de 600 à 610 g/m² (tableau 5). La variation interannuelle est moyenne dans le cas de la sélection sur la base de la biomasse aérienne (270 g/m²) et forte dans le cas de la sélection sur la base de la précocité à l'épiaison (450 g/m²) et du rendement

en grain (330 g/m²). Ces écarts significatifs représentent, respectivement, 45, 74 et 54 % de la moyenne générale du rendement en grain de chaque critère de sélection.

La réponse du rendement en grain à la sélection sur la base de la biomasse aérienne et de la précocité est, en moyenne sur les trois années, positive et significative, mais réduite en valeur, par rapport à la réponse à la sélection directe. Les écarts de rendement en grain entre les moyennes des groupes divergents sont de 60, 60 et 200 g/m² respectivement pour les critères biomasse aérienne, précocité à l'épiaison et rendement en grain (tableau 5). La sélection directe est donc plus efficace dans l'identification de génotypes très contrastés pour le rendement en grain.

La réponse à la sélection sur la base de la biomasse est non significative, deux années sur trois, alors que celle de la sélection sur la base de la précocité est significative deux années sur trois, dont une année avec une réponse négative (tableau 5, figure 6). La sélection sur la base de la précocité à l'épiaison va jusqu'à inverser l'ordre des moyennes des groupes : certaines années les lignées tardives sont les plus productives alors que d'autres années la sélection dans le sens

de la précocité est au contraire à favoriser. Cette inversion des rendements remet en cause le choix du caractère précocité à l'épiaison comme critère de sélection à utiliser pour réduire la variabilité du rendement en grain (figure 6).

Réponses corrélatives des variables mesurées à la sélection sur la base des caractères liés

Sélection sur la base de la précocité à l'épiaison

L'étude des moyennes des composantes du rendement et des caractères morphologiques des groupes contrastés pour la précocité, étudiées au cours des deux années extrêmes, 1994/1995 et 1995/1996, indique que les différences de productivité entre années entre ces groupes sont essentiellement dues aux différences dans la production d'épis/m² et de biomasse aérienne (tableau 6). Au cours de la campagne 1994/1995, les génotypes précoces ont réussi à produire plus d'épis et de biomasse aérienne par unité de surface que les variétés tardives alors que l'inverse s'est produit au cours de la campagne 1995/1996 (tableau 6). La réalisation du nombre d'épis par unité de surface débute au stade épi 1cm et se termine aux environs du stade 2 nœuds [22], stade auquel les talles secondaires les plus vigoureuses débutent leur montée. Ces deux stades se situent au cours des mois de février et mars, dans la zone d'étude [23, 24]. Les conditions de croissance (pluviométrie et températures) de cette période expliquent en partie les différences de comportement entre années. Les pluviométries enregistrées au cours des mois de février, mars, avril et mai ont été de 32, 21, 24 et 3 mm pour la campagne 1994/1995, soit 79 mm au total. Les pluviométries enregistrées au cours des mêmes mois de la campagne 1995/1996 ont été de 92, 48, 53 et 70 mm, soit 263 mm [25]. Ces précipitations sont accompagnées par des températures, plus clémentes au cours des mois de février et mars 1995 (températures moyennes de 7 et 11 °C pour février et mars 1995, avec des minima de 2,3 et 6,1 °C ; contre des températures moyennes de 5,5 et 9 °C pour février et mars 1996, avec des minima de -2 et -0,1 °C). Ces conditions de croissance, très différentes entre années, expliquent les comportements très contrastés des

Tableau 5

Moyennes de la biomasse aérienne (kg/m²), de la précocité à l'épiaison et du rendement en grain (g/m²) des génotypes d'orge sélectionnés sur la base la biomasse aérienne, de la précocité à l'épiaison, et du rendement en grain et étudiés au cours de trois années à la ferme expérimentale agricole de Sétif

Critères	Biomasse		Précocité		Rendement
	BIO	RDT	JAE	RDT	RDT
Effets					
Moyenne générale	1,74	600	108	610	610
Effet année					
1994	1,68	440	98	420	430
1995	1,96	660	113	550	630
1996	1,57	710	117	870	760
Différence	0,39*	270*	19*	450*	330*
Ppds 5 %	0,37	210	7,3	269	233
Effet groupe de génotypes					
M	1,85	630	118	640	710
m	1,62	570	99	580	510
Différence β	0,23*	60*	19*	60*	200*
Effet génotype/année					
M 1994/1993	2,05	440	110	440	570
m 1994/1993	1,32	420	86	390	280
Différence	0,73*	20ns	24*	50ns	290**
M 1994/1995	2,05	660	123	470	690
m 1994/1995	1,89	660	102	570	570
Différence	0,16*	0ns	21*	- 100*	120**
M 1995/1996	1,61	770	120	1 000	860
m 1995/1996	1,51	640	109	780	660
Différence	0,10ns	130**	11*	220**	200**
Ppds 5 %	0,13	90	2,7	90	90

Ppds 5 % pour l'effet année est calculée sur la base de la variance d'interaction génotype/année, celle des interactions génotype/année est calculée utilisant la résiduelle de l'analyse de la variance ; β : l'écart entre les groupes divergents est testé par la méthode des contrastes.

Above-ground biomass, earliness and grain yield means for groups of barley genotypes differing in terms of above-ground biomass, earliness and grain yield during the 3 year study at the Sétif agricultural farm

groupes de génotypes précoces et tardifs. En ce qui concerne la précocité à l'épiaison, ce ne sont donc pas les valeurs extrêmes qui sont à prendre en considération : les variétés précoces, productives en année non gélive, s'exposent au gel, en année gélive. De même, la sélection pour une grande tardiveté expose les variétés sélectionnées aux effets des hautes températures et à la sécheresse. Pour réduire la variabilité des rendements en grain, liée à la précocité, il faut donc déterminer une période optimale, en matière d'épiaison, qui fait courir le moins de risques vis-à-vis des deux contraintes, de nature imprévisible, que sont le gel tardif et l'interaction de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle. Cette recherche est à com-

pléter par l'étude des différents mécanismes de réponse (précocité génétique, réponse à la photopériode, réponse à la vernalisation et leurs interactions) des génotypes aux stimuli de l'environnement pour les prendre en compte dans le processus de sélection. La recherche de la tolérance à la sécheresse et aux basses et hautes températures terminales devient donc nécessaire, si la variation de la précocité interannuelle est plus grande, en valeur, que celle observée entre génotypes pour une même année.

Sélection sur la base de la biomasse aérienne

L'analyse de la variance des composantes du rendement en grain, de la hauteur des plantes, de l'indice de récolte et de la

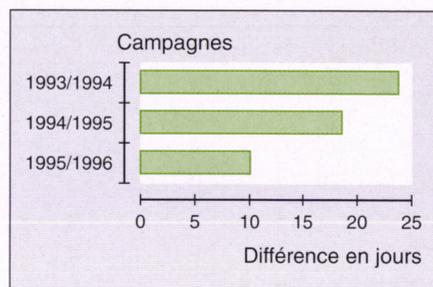


Figure 5. Écart entre les moyennes du nombre de jours à l'épiaison des groupes de génotypes d'orge divergents pour la précocité au cours des trois années étudiées.

Figure 5. Differences in mean number of days to heading in groups of barley genotypes (total 165) differing in terms of earliness during the 3-year study.

précocité à l'épiaison, mesurés chez les groupes de génotypes contrastés pour la biomasse aérienne, indique des effets année et interaction génotype/année significatifs. L'effet principal génotype n'est significatif que pour le poids de 1 000 grains et la précocité à l'épiaison (tableau 7). La différence entre les moyennes des groupes contrastés, indicatrice des changements qui s'opèrent suite à la sélection sur la base de ce caractère, n'est pas significative pour le nombre de grains par épi, le poids de 1 000 grains et l'indice de récolte (tableau 8). Ceci indique :

- soit que de fortes et faibles valeurs de ces caractères existent, aussi bien chez des génotypes possédant une forte qu'une faible biomasse aérienne et qu'ils ne contribuent donc pas, en moyenne sur les trois années, aux différences de biomasse aérienne ;
 - soit que la contribution de ces caractères est positive une année, puis négative l'année suivante, avec un effet net nul en moyenne sur les trois années.
- Comme les interactions génotype/année sont significatives, le sens de variation des moyennes des caractères qui présentent des réponses corrélatives significatives à la sélection sur la base de la biomasse aérienne doit être étudié par année (tableau 8). La sélection pour une forte biomasse aérienne, sur du matériel végétal non ségrégant, conduit à une augmentation du nombre d'épis, de la hauteur de paille, de la tardiveté et du rendement en grain. Cependant les différences entre groupes contrastés notées au cours de l'année de sélection restent supérieures aux réponses corrélatives enregistrées, quel que soit le caractère.

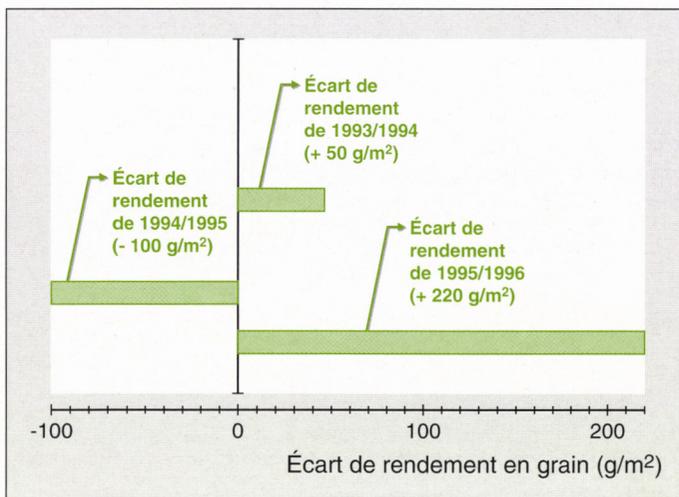


Figure 6. Écarts moyens du rendement en grain, entre groupes M et m divergents pour la précocité à l'épiaison étudiés au cours de trois années.

Figure 6. Deviations in mean grain yield for M and m groups of barley genotypes differing in terms of the number of days-to-heading during the 3-year study.

C'est ainsi que les 17 jours de différence en précocité entre groupes divergents en 1993/1994, se réduisent à 6 jours en 1995/1996 (tableau 8). On note peu de variation du nombre de grains/épi, du poids de 1 000 grains et de l'indice de récolte. Cette réduction des différences, au cours des années suivantes, entre groupes contrastés pour les caractères qui contribuent à la formation de la biomasse aérienne, explique les interactions genotype/année observées et l'inefficacité de ce caractère lié à engendrer des réponses corrélatives du rendement en grain, plus importantes et surtout plus régulières dans le temps.

L'étude des corrélations par année indique que, au cours de la campagne 1994/1995, la biomasse reste positivement corrélée au rendement en grain ($r = 0,64^{**}$ $n = 18$) ; mais c'est le poids de 1 000 grains qui explique le mieux les différences génotypiques en matière de biomasse aérienne, puisque la corrélation entre ces deux variables est de $0,55^*$, alors que celle qui lie la biomasse et les épis n'est que de $0,04$ ns. La régression progressive, conduite avec les données de cette campagne, retient le poids de 1 000 grains, qui explique 40 % de la variation observée au niveau de la biomasse aérienne (tableau 9). La troisième année, la biomasse garde toujours sa liaison significative avec le rendement en grain ($r = 0,61^{**}$), mais elle reprend ses liaisons significatives, observées en première année, avec le nombre d'épis ($r = 0,60^{**}$) et avec la précocité à l'épiaison ($r = 0,47^*$). La régression progressive confirme le rôle des épis dans la formation de la biomasse, caractère auquel s'ajoutent la précocité à l'épiaison et l'indice de récolte (tableau 9).

Ces résultats indiquent que la biomasse aérienne est la résultante de plusieurs variables. La contribution individuelle de chacune de ces variables à la formation de cette biomasse est dépendante de leur degré d'expression permis par le milieu. La biomasse aérienne, en tant que telle, est soumise, au même titre que le rendement en grain, aux effets du milieu ; il apparaît toutefois que cette variation de la biomasse aérienne engendre des effets sur le rendement en grain moins importants que ceux observés suite à la sélection directe.

L'intérêt de recourir aux caractères associés, dans le processus de sélection au niveau des zones à climat variable, se justifie par la recherche d'une plus grande

Tableau 6

Moyennes des composantes du rendement, de la hauteur et de la biomasse épigée en 1994/1995 et 1995/1996 chez les groupes de géotypes d'orge divergents pour la précocité à l'épiaison

Année	Groupes	Caractères mesurés				
		NE	NGE	PMG	PHT	BIO
1994/1995	M	377	37	37	74	1,36
1995/1996	M	587	38	42	74	2,37
	m	477	37	43	82	1,87

NE : nombre d'épis/m² ; NGE : nombre de grains par épi ; PGM : poids de mille grains ; PHT : hauteur des plantes (cm) ; BIO : biomasse aérienne (kg/m²) ; M et m : groupes divergents.

Yield components, plant height and above ground biomass, measured during 2 years (1994/1995 and 1995/1996) on groups of barley genotype divergent for earliness

Tableau 7

Analyse de la variance des caractères mesurés chez les groupes de géotypes divergents pour la biomasse aérienne, étudiés au cours de trois années à la ferme expérimentale agricole de Sétif

Source	ddl	Carrés moyens des écarts					
		NE	NGE	PMG	PHT	JAE	IR
Année (Y)	2	360 267**	5 184**	226**	1 045**	4 714,9**	4 339**
Géotype (G)	17	35 080ns	46ns	121**	154ns	543**	88ns
YxG	34	39 123**	68**	28**	101**	80,4**	181**
M/m	1	18 1001**	16ns	27ns	1 574**	7 743**	19ns
Blocs/Y	6	1 026	3,8	19,0	31,0	40	10
Résidus	102	1 776	3,8	0,7	13,1	8,9	8,1

ns, *, ** = effets non significatif et significatif à 5 et 1 % respectivement ; NE = nombre d'épis/m² ; NGE = nombre de grains par épi ; PMG = poids de 1 000 grains(g) ; PHT = hauteur des plantes (cm) ; JAE = nombre de jours à l'épiaison à compter du 1^{er} janvier.

Analysis of variance for traits measured in barley genotypes differing in terms of above-ground biomass during the 3-year study on the Sétif agricultural farm

Tableau 8

Moyennes des caractères mesurés chez les groupes de génotypes d'orge divergents pour la biomasse aérienne au cours de trois années au niveau de la ferme expérimentale agricole de Sétif

Effets	Caractères mesurés					
	JAE	NE	PHT	NGE	PMG	IR
Moyenne générale						
	104	546	83	30,7	40,2	35,9
Effet année						
1994	94	640	83	19,5	39,4	27,7
1995	108	505	87	35,9	38,7	34,7
1996	111	493	79	36,9	42,5	45,5
Différence ω	17*	147*	8*	17,4*	3,8ns	17,8*
Ppds 5 %	2,7	127	2,7	7,8	5,0	12,8
Effet principal génotype						
M	111	568	86	30,4	39,7	35,6
m	97	513	79	31,1	39,8	35,9
Différence ω	14*	55*	7*	0,6ns	0,1ns	- 0,3ns
Interaction génotype/année						
M 1993/1994	103	694	83	18,0	39,0	22,2
m 1993/1994	86	586	81	20,9	39,7	33,3
Différence	17*	108*	2ns	- 2,9ns	0,7ns	- 11,1*
M 1994/1995	116	24	92	35,8	39,3	35,8
m 1994/1995	100	485	83	36,1	38,0	33,2
Différence	16*	39*	9*	- 0,3ns	1,3ns	2,7ns
M 1995/1996	114	520	82	37,3	43,4	48,6
m 1995/1996	108	466	75	37,5	41,4	42,4
Différence	6*	54*	7*	- 0,2ns	0,2ns	6,2*
Ppds 5 %	2,7	39	3,3	3,2	2,1	4,6

Ppds 5 % pour l'effet année est calculée sur la base de la variance d'interaction génotype/année, celle des interactions génotype/année est calculée utilisant la résiduelle de l'anova ; ω : l'écart entre les groupes M et m est testé par la méthode des contrastes.

Means for characters measured in a group of barley genotypes differing in terms of above-ground biomass

Tableau 9

Régression progressive appliquée aux données prises sur les génotypes d'orge, issues de la sélection divergente sur la base de la biomasse aérienne

Critère variable	b	ET	Prob (%)	R ² partiel	R ² multi.	Constante
Campagne 1994/1995						
BIO	PMG	0,0444	0,0078	0	0,3946	0,6613
	IR	- 0,0196	0,0061	0,25	0,1705	0,3461
	NGE	0,0161	0,0071	2,60	0,0932	
Campagne 1995/1996						
BIO	NE	0,0013	0,0002	0	0,4148	0,7012
	JAE	0,0130	0,0049	1,06	0,1250	- 0,1545
	IR	- 0,0073	0,0028	1,17	0,1193	

b = coefficient de régression partiel ; ET = écart type du b ; BIO = biomasse aérienne ; IR = indice de récolte ; NGE = nombre de grains par épi ; PMG = poids de 1 000 grains.

Stepwise regression analysis of parameters measured in groups of barley genotypes differing in terms of above-ground biomass

stabilité de la production. Dans de telles situations, le sélectionneur doit s'intéresser à :

- l'efficacité de la sélection sur la base du caractère lié, pour s'assurer que les variétés sélectionnées gardent l'avantage qui les caractérise quelles que soient les conditions de culture auxquelles elles sont soumises ; dans le cas contraire le caractère se prête mal à la sélection indirecte ;
- la réponse corrélative obtenue au niveau rendement en grain, suite à la sélection sur la base du caractère lié, doit être positive, avec des écarts de rendement en grain entre années et sites inférieurs à ceux observés suite à la sélection directe ; dans le cas contraire il y a peu d'intérêt à faire de la sélection indirecte.

Pour une meilleure efficacité de la sélection indirecte, la réponse corrélative du rendement en grain doit donc être positive et significative quelle que soit l'année. Cette réponse doit être associée à une interaction génotype/année très réduite, voire nulle. Plusieurs années et sites sont donc nécessaires pour s'assurer de l'efficacité en sélection d'un caractère donné. Il est fort probable aussi que la sélection sur la base d'un seul caractère risque d'être relativement peu efficace. Il est nécessaire d'associer d'autres caractères qui complètent la biomasse. Les résultats de cette étude révèlent l'effet de la précocité sur la variabilité des rendements en grain et montrent qu'il est nécessaire de fixer ce caractère à un seuil déterminé suite à des études sur les mécanismes de réponse des génotypes aux stimuli de l'environnement. Ces résultats en corroborent d'autres [12, 17] qui notent que la précocité d'épiaison est le principal caractère variétal lié à l'adaptation et mis en cause dans les interactions génotype/lieu pour le rendement en grain. Ces auteurs rapportent aussi que les variétés tardives sont, en général, plus stables du point de vue date d'épiaison et rendement en grain que les variétés précoces. En outre, une croissance précoce rapide permet la production d'une biomasse aérienne appréciable, améliore l'utilisation de l'eau du sol, ce qui confère un avantage marqué en zone semi-aride [26]. Pour réduire les aléas liés à la sélection directe, sur la base du rendement grain (soumis à de fortes interactions génotype/lieu), il faut donc utiliser simultanément la précocité à l'épiaison et la biomasse aérienne comme critères de sélection en vue de développer des variétés plus stables du point de vue production.

Conclusion

Le présent travail constitue une tentative d'utiliser la précocité à l'épiaison, l'indice de récolte et la biomasse aérienne comme critères de sélection pour améliorer la stabilité de la production des variétés d'orge destinées aux zones semi-arides d'altitude. Les résultats de l'expérimentation indiquent que la réponse à la sélection sur la base de la précocité à l'épiaison est variable d'un environnement à un autre, les génotypes sélectionnés répondant différemment aux conditions du milieu (sécheresse intermittente, hautes températures de fin de cycle et gel tardif). La sélection sur la base de la biomasse aérienne semble plus prometteuse dans la réduction de la variabilité inter-annuelle des rendements, mais reste soumise à l'influence des années parce qu'elle est la résultante de différents caractères comme le nombre d'épis, la hauteur des plantes et le poids de 1 000 grains, qui prennent des valeurs variables en fonction des conditions climatiques qui ont lieu au cours de leur formation. Ces résultats indiquent que la sélection sur la base d'un seul caractère, dans un milieu aussi variable que celui pour lequel la sélection est envisagée, est peu efficace. Une sélection multicaractères est donc nécessaire. Elle doit tenir compte, en plus du rendement en grain, de la précocité d'épiaison (en vue d'éviter le gel tardif et les hautes températures de fin de cycle) et de la biomasse aérienne, qui est un bon indicateur de l'adaptation au milieu et d'efficacité d'utilisation de l'eau ■

Références

1. Baldy G. *Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières*. Document du Projet céréale, 1974.
2. Bouzerzour H, Hadj Sahraoui A. *Performances des nouvelles variétés de céréales en milieu producteur*. Document Interne FEA Sétif, 1989 ; 9 p.
3. Bouzerzour H, Monneveux P. Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. In : *Séminaire sur la tolérance à la sécheresse*. INRA France, les Colloques, 1992 ; 64 : 205-15.
4. Acevedo E, Craufurd PQ, Austin RD, Perez Marco P. Traits associated with high grain yield in barley in low yielding environments. *J Agric Sci Camb* 1991 ; 116 : 23-36.

Summary

Effects of above-ground biomass, harvest index and earliness on barley (*H. vulgare* L.) grain yields in semiarid highland zones

H. Bouzerzour, A. Djekoune, A. Benmahammed, L. Hassous

The effects of above-ground biomass, harvest index and earliness on barley (Hordeum vulgare L.) grain yields under semiarid highland conditions were investigated at the Agricultural Experimental Station of Sétif (Algeria). From amongst 165 different varieties, 54 genotypes were selected on the basis of above-ground biomass, earliness and grain yield. These selected genotypes were studied for two seasons on the same experimental site, in a randomized complete block design with three replications on 10 m² plots. Data were collected on grain yield, yield components and some morphological traits.

The results highlighted a positive correlation between grain yield and above-ground biomass and between grain yield and earliness. There was also a significant correlation between spike fertility and earliness, indicating that late genotypes have high fertility rates since they avoid frost. The harvest index was positively correlated with the number of kernels/head and with the number of kernels/m², but negatively correlated with plant biomass. The harvest index and above-ground biomass explained more than 51% of the observed variations in grain yield. Genotype x environment interactions indicated that plant biomass and earliness, like grain yield, are subject to year effects. Direct responses to selection in favour of above-ground biomass and of earliness were variable and year dependent. Grain yield was not correlated with above-ground biomass selection once in 3 years, while selection for earliness was twice negatively correlated with yields. There were fewer observed differences between contrasting groups of genotypes with respect to traits affecting plant biomass and earliness, thus explaining the observed genotype x year interactions and the relative inefficiency of the selection criteria studied for correlation with grain yield and production stability. Monotrait selection did not seem very efficient, despite the fact that selecting for plant biomass slightly reduced grain yield variability.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 307-17.

5. Ceccarelli S, Grando S, Hamblin J. Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica* 1992 ; 64 : 49-58.
6. Bouzerzour H, Benmahammed A. Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis* 1994 ; 12 : 11-4.
7. Bouzerzour H, Djekoune A. Étude de l'interaction génotype/lieu de la rendement de l'orge en zone semi-aride. *Rev Sci Techn* (université de Constantine) 1996 ; 7 : 16-28.
8. Marshall DR. Australian plant breeding strategies for rainfed areas. In : *Drought tolerance in winter cereals*. New York : John Willey & Sons, 1987 : 89-98.
9. Monneveux P. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales ? In : *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*, Montrouge : AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, 1991 : 165-86.
10. Borojevic S, Williams AW. Genotype/environment interactions for leaf area parameters and grain yield components and their effects on wheat yield. *Crop Sci* 1982 ; 22 : 1020-5.
11. Sharma RC, Smith EL. Selection for high and low harvest index in three winter wheat populations. *Crop Sci* 1986 ; 26 : 1147-50.
12. Durum wheat in dry areas. *J Agri Sci Camb* 1987 ; 108 : 599-608.
13. Allard RW. *Principles of plant breeding*. New York, Londres : Longman.
14. Falconer DS. *Introduction to quantitative genetics*. New York, Londres : Longman, 1982 ; 340 p.
15. Meynard JM. L'analyse de l'élaboration du rendement des céréales sur les essais de fertilisation. *Pers Agric* 1987 ; 115 : 76-83.
16. Siddique KLM, Tenant D, Perry MM, Belford KK. Water use and water use efficiency of old and modern cultivars in a mediterranean type environment. *Aust J Agric Res* 1990 ; 41 : 431-47.
17. Annicchiarico P, Perenzin M. Adaptation patterns and definition of macro-environments for selection and recommendation of common-wheat genotypes in Italy. *Plant Breeding* 1994 ; 113 : 197-205.
18. Le Cohec F. Les méthodes de calcul du coefficient d'héritabilité en amélioration des plantes. *Ann Amélior Plantes* 1972 ; 22 : 115-25.
19. Le Cohec F. Variabilité génétique, hérabilités et corrélations de 15 caractères d'une population de clones de topinambour (*Helianthus tuberosus* L.). *Agronomie* 1990 ; 10 : 797-806.
20. Pugsley AT. A genetic analysis of spring and winter habit of growth in wheat. *Aust J Agric Res* 1971 ; 22 : 21-31.

21. Abbassenne F, Bouzerzour H, Hachemi L. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Annales Agronomiques de l'INA*, Alger, 1997 ; 18 p.

22. Kirby EJM, Appleyard M, Fellows G. Effects of sowing date and variety on main shoot leaf emergence and number of leaves of barley plant. *Agronomie* 1985 ; 5 : 117-26.

23. Bounachada N. *Caractéristiques des variétés d'orge* (*Hordeum vulgare* L.) destinées aux hauts plateaux de l'Est. Mémoire Ingénieur.

24. Oultache S. *Étude comparative de l'élaboration du rendement chez trois variétés typiques de blé dur* (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. Mémoire Ingénieur, INES agronomique université de Batna, 1991 ; 65 p.

25. ONM. *Données climatologiques de la région de Sétif*, 1996 ; 17 p.

26. Hanson PR, Riggs TJ, Klose SJ, Austin RB. High biomass genotypes in spring barley. *J Agric Sci Camb* 1985 ; 105 : 73-8.

Résumé

La présente étude a porté sur la contribution de la biomasse, de l'indice de récolte et de la précocité, au rendement en grain de l'orge, en zone semi-aride d'altitude à la station expérimentale agricole de Sétif (Algérie). Cent soixante-cinq variétés ont été testées à partir desquelles on a sélectionné 54 génotypes sur base de la biomasse, de la précocité à l'épiaison et du rendement en grain.

Les résultats indiquent des liaisons significatives entre le rendement en grain et la précocité à l'épiaison ainsi qu'entre le rendement en grain et la biomasse aérienne. De même une liaison positive et significative a été notée entre le nombre de grains par épi et la précocité à l'épiaison, ce qui indique que la fertilité des épis est plus forte chez les génotypes tardifs. L'indice de récolte est positivement corrélé avec le nombre de grains par épi et avec le nombre de grains par m² ; il est négativement corrélé avec la biomasse aérienne. L'indice de récolte et la biomasse aérienne expliquent plus de 51 % de la variation du rendement en grain. Les interactions génotype/environnement montrent que la biomasse aérienne et la précocité à l'épiaison sont, comme le rendement en grain, soumises aux effets des années. L'inefficacité relative des caractères étudiés à être corrélatifs du rendement en grain indique que la sélection monocaractère semble peu efficace, même si la sélection sur la base de la biomasse aérienne tend à réduire l'irrégularité des rendements en grain.
