

Étude de la variabilité génétique, agro-morphologique et technologique des populations Méditerranéennes du blé dur

A. AMAMOU¹, M. RAMCHOUN², N. NSARELLAH¹, A. ESSARIOU³, M. TAGHOUTI⁴

(Reçu le 25/01/2017; Accepté le 08/03/2017)

Résumé

le blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum*) est la troisième espèce la plus cultivée au monde et la deuxième au Maroc. Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence de l'environnement et du fond génétique sur l'adaptation, le rendement et ses composantes ainsi que sur la qualité technologique de deux populations de blé dur (76 accessions et 120 lignées recombinées). Deux essais de génotypes blé dur ont été installés dans deux stations expérimentales de l'INRA à savoir Sidi El Aidi et Merchouch. Des observations concernant la croissance, le rendement et la qualité technologique du grain récolté ont été effectuées et analysées. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de faire des groupes homogènes et des associations des caractères de différentes accessions et RILs. L'analyse de certains aspects de qualité (Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), Taux de Vitrosité (TV), Indice de Jaune (IJ) et Taux de Cendres (TC)) a permis de déceler une variabilité importante et similaire pour les deux populations. L'analyse électro-phorétique a montrée que 58 % des accessions et 62 % des LR présentent une bonne force de gluten. En plus, il y avait des corrélations entre ces caractères d'une part, et entre ces mêmes caractères et les caractères agro-morphologiques d'autre part. La constitution des deux populations a montrée une grande variabilité multi-axe, ce qui démontre une grande possibilité de combinaison de gènes et d'adaptation. Ce matériel contient une grande part d'ingrédients génétiques nécessaires pour un programme d'amélioration génétique méditerranéen.

Mots clés: Blé dur, accessions, lignées recombinantes, variabilité génétique, caractères agro-morphologiques, caractères technologiques.

Study of the agro-morphological and technological genetic variability of the Mediterranean populations of durum wheat

Abstract

Durum wheat (*Triticum turgidum* var. *Durum*) is the third mostly grown crop in the world and second in Morocco. This work aims to study the influence the genetic and the environmental effect on the adaptation, the yield and its components and on the grain quality of two durum wheat populations (76 durum accessions and 120 Recombinant Inbred Lines (RILs)). Two trials were installed in two INRA experimental stations, namely Sidi El Aidi (Settat) and Merchouch (Rabat). Several measurements on growth and phenological stages were carried out and analyzed and quality traits were measured in laboratory after harvest. The Principal Components Analysis (ACP) was performed to relate phenological traits and grain quality traits among RILs and accessions. Analysis of certain aspects of quality (Dodecyl Sodium Sulphates (SDS), Vitreousness Rate (TV), Yellow Index (IJ) and Ash content (TC)) also allowed to detect an important and similar variability for the two populations. The electrophoresis analysis showed that 58% from the accessions and 62% of RILs present a good gluten force. Moreover, there were correlations between these characters on the one hand, and these characters and the agromorphologic characters on the other hand. A great multi-axis variability was observed which can serve as a base for new variation. This variation is controlled by many useful genes which can be used in durum wheat programs to release new varieties adapted to Moroccan environment and presenting good quality genes for durum wheat.

Keywords: Durum wheat, accessions, recombinant inbred lines (RILs), genetic variability, agro-morphologic traits and grain quality.

INTRODUCTION

Les céréales couvrent une superficie de 5,3 millions ha, soit près de 60% de la SAU du Maroc. Elles constituent 13% du Produit Intérieur Brut (PIB) agricole et 45% du total des importations alimentaires (Bartali, 1995).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe la troisième place après l'orge et le blé tendre; aussi bien au niveau des superficies que des productions (Ouassou, 1995) (1,1 millions ha avec un rendement moyen de 11 q/ha (ONICL, 2004). Il est cultivé principalement dans des zones pluviales.

Environ 60% des sols arables du Maroc se trouvent localisés en zones arides et semi-arides (200-400 mm) (El Mourid

et al., 1996). Ces zones sont caractérisées par une faiblesse et surtout une irrégularité des précipitations, par l'état aggravé des sols et par les fortes températures prolongées sur une grande période de l'année (El Mourid et Karrou, 1996). C'est pour cette raison que les rendements varient en moyenne de 5 à 12 qx/ha (Jouve, 1988; MARA/FAO, 1982; Crawford et Purvis, 1986).

Dans le but d'introduire de nouvelles caractéristiques au matériel génétique local, cette étude a pour objectif l'évaluation de plusieurs aspects de la variabilité génétique des caractères agro-morphologiques et technologiques dans deux populations de blé dur.

¹ Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, INRA, Maroc

² Faculté des Sciences et Techniques Settat

³ Centre Régional de la Recherche Agronomique de Rabat, INRA, Maroc

⁴ Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Errachidia, INRA, Maroc

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le matériel végétal utilisé est constitué de deux populations de blé dur:

- Une (76 accessions) incluant des variétés anciennes, des variétés améliorées et des lignées adaptées aux zones arides et prometteuses pour la résistance/tolérance à la sécheresse, aux hautes températures et aux majeurs maladies et insectes; et de 5 témoins répétés 4 fois dans l'essai, il s'agit de Mrb5, Haurani, Korifla, Waha et Gidara2.

- Une population de 112 lignées sœurs (lignées recombinées) issues du croisement Lahn x Cham1, de leurs deux parents et les 5 témoins répétés 6 fois dans l'essai.

L'essai est réalisé dans deux stations de l'INRA, il s'agit de:

- Domaine expérimental de Sidi El Aidi (SEA), situé en zone semi-aride, à 16 km au Nord de la ville de Settat, l'essai dans ce domaine est irrigué.

- Domaine expérimental de Merchouch (MCH), situé dans la zone du bour favorable du Maroc à 40 km au Sud-Est de la ville de Rabat, l'essai dans ce domaine est en bour.

Dans chaque domaine, le dispositif expérimental adopté est «Augmented design» dont chaque parcelle est constituée de 6 rangs de 2,5 m de longueur avec un interligne de 0,3 m. Ainsi, la superficie totale de chaque parcelle est de 4,5 m² (0,3 x 6 x 2,5 m). Les bordures de chaque essai sont constituées de la variété du blé dur Karim afin d'éviter l'effet bordure sur les lignées.

Au champ, une dose de semis de 133 kg/ha a été utilisée pour les deux essais et des observations agro-morphologiques

ont été prises. Il s'agit du nombre de jours à la levée, du nombre de jours à l'épiaison (JE) et du nombre de jours à la maturité (JM) ainsi que la hauteur de la plante (H). Au laboratoire, on a procédé à la détermination de rendement (Rdt) et ses composantes: Nombre d'épis/m² (NEp/m²), Nombre de grains par épis (NG/Ep) et poids de 1000 grains (PMG).

Pour la qualité technologique, les lignées de blé dur analysées sont aux nombres de 21 pour chaque type de population. Elles sont prises dans les différentes catégories de rendement, faible, moyen et élevé. Les témoins ont été également analysés; Haurani, Waha, Korifla, Gidara2 et Mrb5. Les mesures technologiques réalisées pour ces populations sont la teneur en gliadines et en gluténines, test de sédimentation au SDS, le taux de vitrosité, l'indice de jaune et le taux de cendre.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La comparaison des coefficients de variation dans le tableau 1 montrent que certaines caractéristiques sont plus variables que d'autres. Ainsi, les données phénologiques (jours à l'épiaison, jours à la maturité) ont une faible variabilité alors que la variabilité la plus élevée est constatée chez le rendement puisque le coefficient de variation est plus élevé, il est de 39,2 à Sidi El Aidi et 34,8 à Merchouch. Les différences de rendement peuvent être expliquées par le fait qu'à Sidi El Aidi on a apporté des suppléments d'irrigation, ce qui a influencé le nombre de grains par épis et par la suite le rendement. Les autres caractères sont dus à la bonne conduite culturale.

Tableau 1: description des données des accessions dans les deux stations

Caractères	Minimum		Maximum		Moyenne		CV (%)	
	MCH	SEA	MCH	SEA	MCH	SEA	MCH	SEA
NEp/m ²	41,3	36,3	100,7	134,7	71,3	89,2	21,0	24,3
NG/Ep	16,4	15,1	51,8	58,1	33,2	30,7	23,2	26,4
PMG (g)	19,4	18,1	56,5	52,9	37,5	33,4	19,8	18,9
JE	96,0	112,0	133,0	131,0	121,5	117,0	5,4	5,5
JM	158,0	153,0	175,0	174,0	166,6	157,0	2,2	2,6
PS (kg/ha)	65,2	29,1	85,1	84,6	78,2	77,5	3,6	8,0
H (cm)	75,0	82,0	175,0	174,0	109,3	105,6	22,1	17,9
Rdt (qx/ha)	7,9	4,5	39,8	46,5	20,7	23,6	34,8	39,2

NEp/m²: Nombre d'épis par mètre carré, NG/Ep: Nombre de grains par épi, PMG: Poids de mille grains, JE: Jour à l'épiaison, JM: Jour à la maturité, PS: Poids spécifique, H: Hauteur, Rdt: Rendement, CV: coefficient de variation.

Tableau 2: description des données des lignées recombinantes (RILs) dans les deux stations

Caractères	Minimum		Maximum		Moyenne		CV (%)	
	MCH	SEA	MCH	SEA	MCH	SEA	MCH	SEA
NEp/m ²	44,0	39,3	117,3	130,3	71,8	83,7	19,9	20,6
NG/Ep	21,6	15,4	92,9	80,8	38,6	35,9	22,9	22,1
PMG (g)	26,8	18,9	52,4	39,1	36,3	29,2	12,4	15,7
JE	111,0	112,0	133,0	112,0	121,8	112,0	4,9	0,0
JM	161,0	153,0	175,0	160,0	168,7	155,6	2,1	1,9
PS (kg/ha)	67,9	62,1	81,0	81,0	75,9	71,4	3,5	19,3
H (cm)	80,0	84,0	130,0	154,0	96,5	96,5	10,5	8,7
Rdt (qx/ha)	13,1	9,2	52,7	38,9	24,6	20,8	24,6	34,6

La même interprétation des résultats des accessions peut être faite aussi pour les RILs, sauf que dans ce cas la supériorité de rendement est inversée. A Merchouch (24,6 q/ha), la moyenne de rendement est supérieure à celle de Sidi El Aidi (20,6 q/ha). Cependant, les différences ne sont pas significativement différentes. Ceci peut être expliqué par le fait que la compagne agricole s'est caractérisée par des précipitations bien réparties au cours de l'année. L'apport d'irrigation à Sidi El Aidi n'a pas donné d'effet significatif du rendement.

La variabilité la plus élevée est constatée pour le rendement puisque le coefficient de variation est plus élevé, il est de 34,6 à Sidi El Aidi et 24,6 à Merchouch.

Les caractères phénologiques (épiaison, maturité) ont montré une faible variabilité, comparativement aux autres. Ceci peut être du au fait que ces caractères répondent très fortement aux conditions de l'environnement. Ainsi, ces variétés sont toutes sensibles à la longueur du jour et à l'accumulation des degrés jour.

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET GROUPEMENT DES ACCESSIONS

Pour minimiser le nombre de variables, nous avons effectué une analyse en composantes principales pour chaque station. La figure 1 illustre le résultat de cette analyse. Les premiers axes ont pu respectivement expliquer 58,93 % et 58,91 % de la variabilité à Merchouch et à Sidi El Aidi. Ces données montrent que l'étendue de la variabilité des accessions a une tendance multidirectionnelle qui fait intervenir toutes les caractéristiques mesurées.

Une autre constatation montre que l'adaptation de ces différentes accessions est flexible: elle change avec le site. Ainsi, cette collection a un potentiel d'adaptabilité important résidant dans la multitude de combinaisons de ses différents caractères. Ceci indique qu'elle constitue un bon point de départ pour l'amélioration génétique.

RELATION ENTRE LES DIFFÉRENTS CARACTÈRES POUR LES ACCESSIONS

Station de Merchouch

La variabilité des caractères peut être rendue non utile (pour le généticien) du fait de la corrélation entre les

caractères. Cette corrélation des caractères peut être due à des phénomènes de compensation physiologique ou à des associations génétiques. Il convient donc de voir si ces corrélations sont importantes. Il serait nécessaire de se référer à l'étude du groupement effectué dans le paragraphe précédent (ACP). En faisant les corrélations entre les différents caractères, nous avons constaté une corrélation positive entre le poids de mille grains et le poids spécifique ($R=0,46$). Cette corrélation est en accord avec celle notée par Dexter *et al.*, (1987) et Bakhella, (1996). On note aussi l'existence d'une corrélation entre le poids spécifique et la hauteur ($R=0,40$). Le nombre d'épis et la hauteur quand à eux sont négativement corrélés, avec ($R= -0,53$) (Figure 2). La relation entre le PMG et le PS est de type physique (elle s'explique par la forme et le poids des grains dans un volume donné). La relation négative entre la hauteur et le nombre d'épis viendrait du fait que les variétés hautes et tardives ont des talles infertiles (pas d'épis), ces variétés seront moins productives.

Ces corrélations sont aussi bien présentées dans le biplot de l'ACP (Figure 1). Les variables qui vont dans le même sens et qui sont proches sont corrélées positivement, alors que les variables qui vont dans deux sens opposé sont corrélées négativement, selon l'ACP.

Station de Sidi El Aidi

A cette station, on note deux corrélations positives une entre le rendement et le nombre d'épi ($R=0,64$) et l'autre entre le rendement et le nombre de grain par épi ($R=0,73$). La figure 3 illustre ces deux corrélations qui indiquent que le rendement supérieur est expliqué par le nombre de grains par épi et le nombre d'épis à Sidi El Aidi.

Seules les corrélations significatives ont été rapportées dans cette étude. Ces relations sont logiques et explicables et ont été rapportées par plusieurs auteurs. Cependant, les coefficients de détermination varient entre 0,16 % et 0,5 %, c'est-à-dire qu'elles expliqueraient entre 16 % et 50 % de la variabilité totale des caractères étudiés, indiquant que les caractères ne sont pas totalement interdépendants. La variabilité de ces caractères provient du choix aléatoire des lignées, ce qui n'est pas le cas des RILs, issus d'un seul croisement.

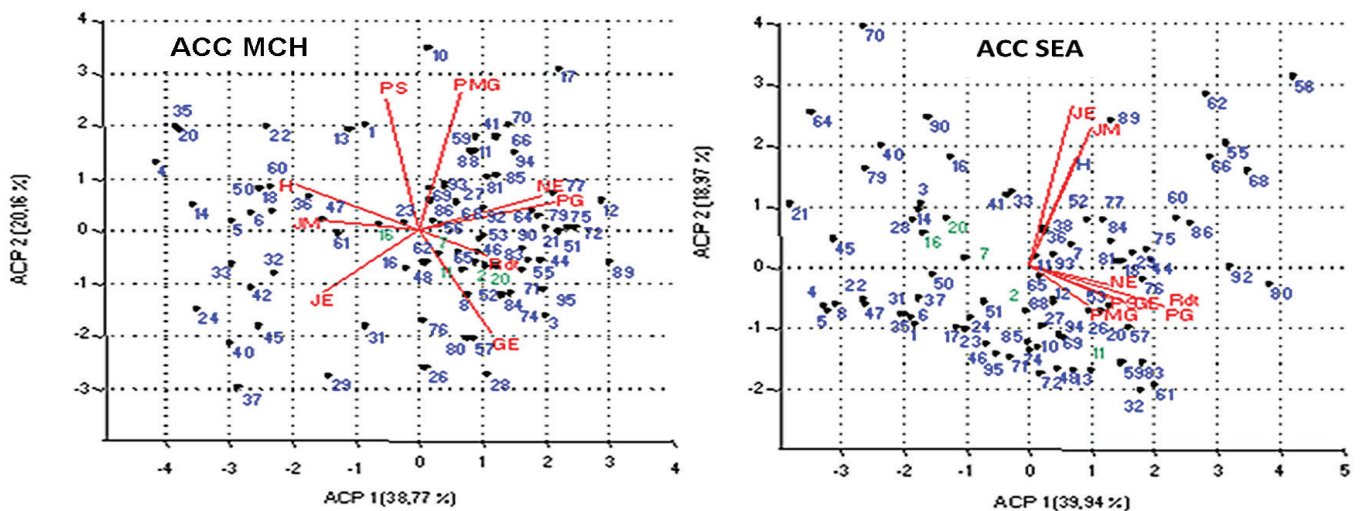


Figure 1: Répartition des accessions selon les composantes principales de l'ACP

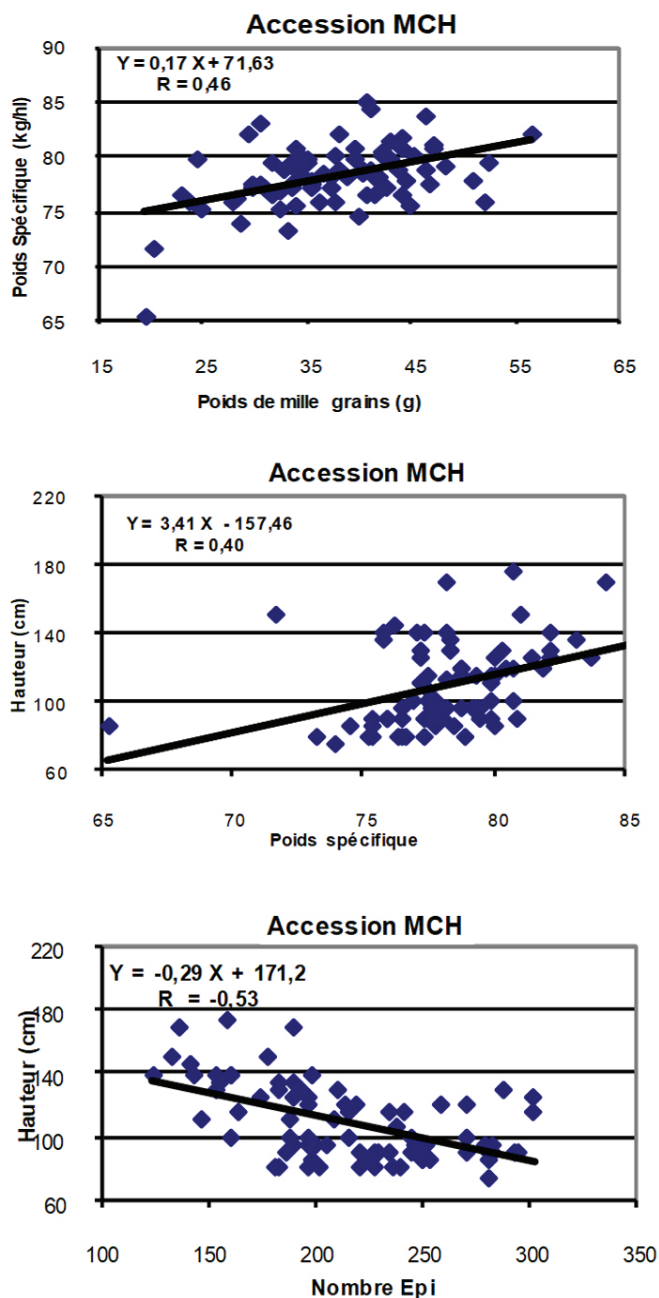
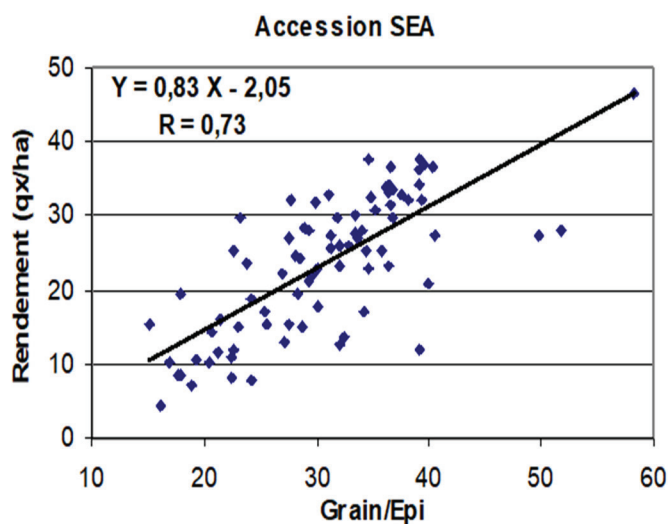


Figure 2: Corrélation des caractères étudiés à Merchouch



ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET GROUPEMENT DES RILS

Malgré l'encombrement dû au nombre de RILs très élevé, l'ACP des caractères analysés a pu respectivement expliquer 55,7 % et 57,0 % à Merchouch et à Sidi El Aidi (Figure 4).

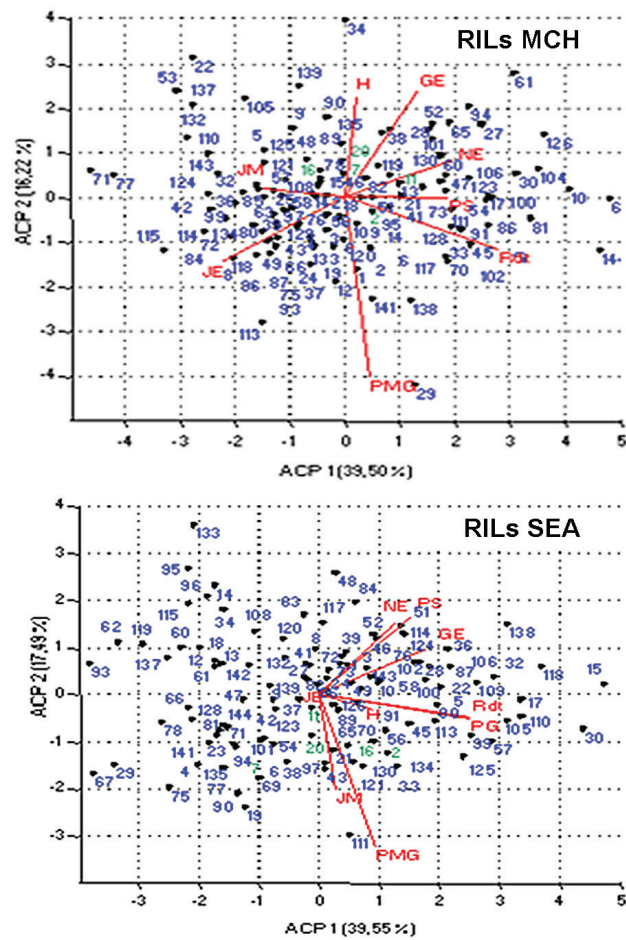


Figure 4: Répartition des RILs selon les composantes principales de l'ACP

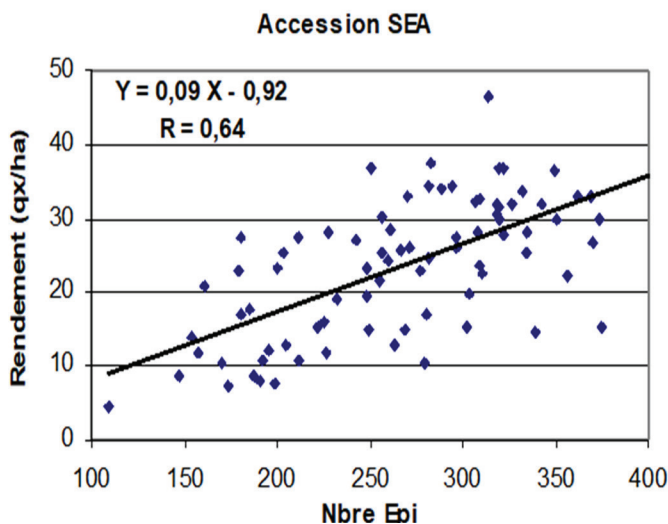


Figure 3: Corrélation des caractères étudiés à Sidi El Aidi

RELATION ENTRE LES DIFFÉRENTS CARACTÈRES POUR LES RILS

Station de Merchouch

La figure 5 nous montre que plus le nombre d'épis et le nombre de grains par épi sont élevés quand le rendement augmente. Leurs coefficients de correction sont respectivement 0,58 et 0,48. Il existe donc une corrélation positive entre les deux caractères et le rendement. Ceci montre qu'environ 25 à 35 % de la variation du rendement est expliquée par ces deux composantes.

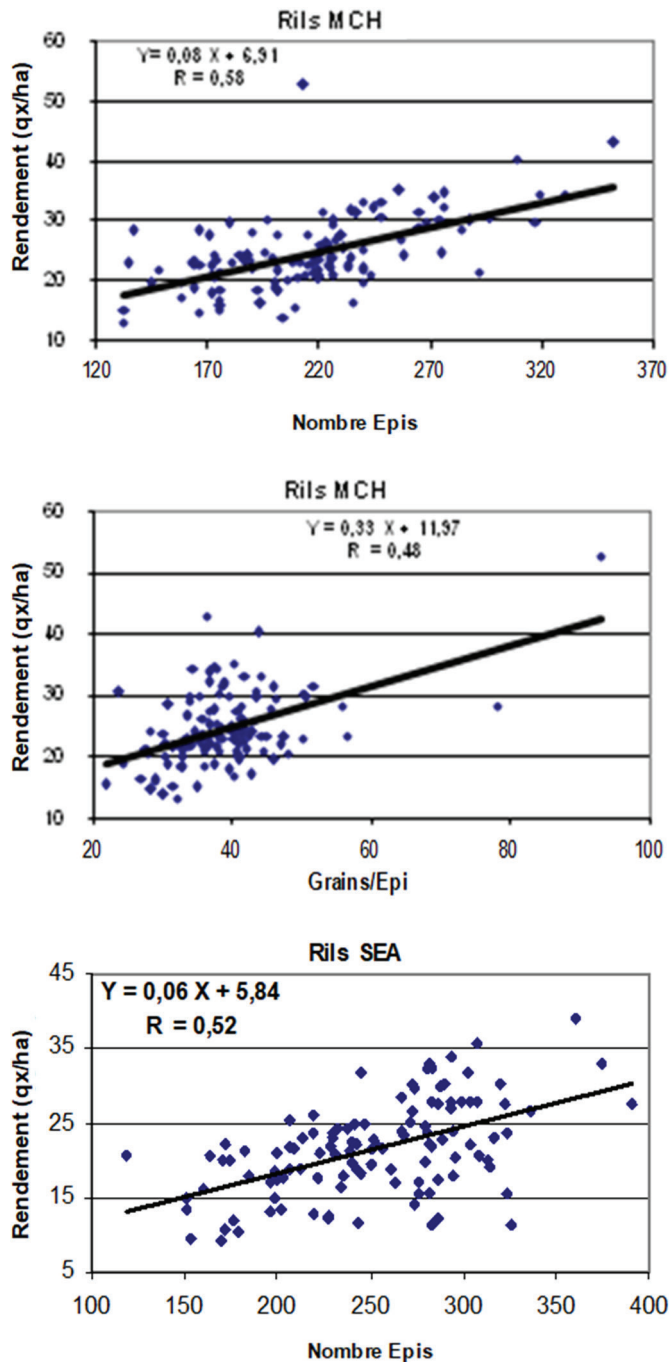


Figure 5: Corrélation des caractères étudiés à Merchouch

Station de Sidi El Aidi

La figure 6 montre des corrélations positives entre le rendement et le nombre d'épis ($R=0,52$) d'une part et le rendement avec le poids de mille grains d'autre part ($R=0,54$). Aussi, une corrélation positive a été notée

entre le poids de mille grains et le poids spécifique ($R=0,58$) (Dexter *et al.*, 1987; Bakhella, 1996). De même, une corrélation positive entre le poids spécifique et le rendement a été remarquée ($R=0,41$).

Il s'avère donc que les deux populations (Acc et RILs) présentent assez de variabilité génétique utile pour induire une amélioration génétique pour les environnements représentés (SEA et MCH).

Cette étude a montré que la variabilité des caractères agro-morphologiques reliés au rendement sont de la même étendue dans les deux populations. Ceci peut être expliqué par le fait que les différences génétiques contenues dans le génome des deux parents de la deuxième population (RILs) sont équivalentes à celle contenues dans l'ensemble des génotypes de la première population. Les deux parents contiennent des versions différentes de la plupart des gènes.

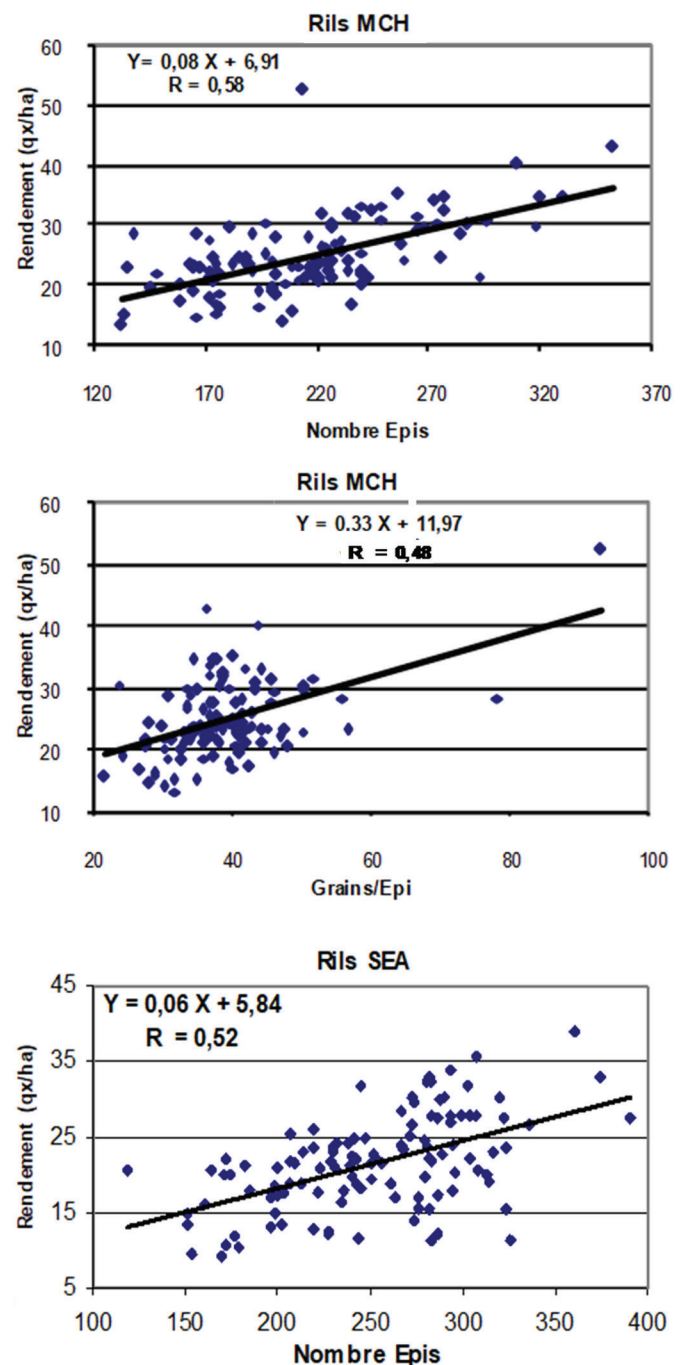


Figure 6: Corrélation des caractères étudiés à Sidi El Aidi

Les caractères reliés au rendement sont polygéniques, comme rapporté dans la plupart des études sur le sujet. La constitution de plusieurs combinaisons de gènes peut donner un plus grand nombre de phénotypes possibles. Aussi, la variabilité phénotypique des caractères peut être très importante du fait de l'action de la variabilité environnementale. Les données recueillies dans ces deux stations expérimentales sont différentes: Il y a une réponse différente des génotypes étudiés face à l'environnement.

Ainsi, les plantes peuvent répondre à l'environnement en variant les combinaisons de leurs comportements (cas des caractères agro-morphologiques) ou en produisant des réponses similaires (cas des caractères phénologiques).

ANALYSE DES PROFILS GLIADINES

Les profils électrophorétiques de migration correspondant aux gliadines des accessions, des RILs et des témoins sont présentés respectivement dans les figures 7, 8 et 9. Les électrophorogrammes sur les gels de polyacrylamide montrent quatre zones distinctes, correspondant aux

oméga, gamma, bêta et alpha-gliadine. Sur la totalité des accessions analysées, 58 % sont de type gamma gliadine 45-oméga 35, par contre 42 % sont de type gamma gliadine 42-oméga 33, 35 et 38 (Figure 7).

Concernant les électrophorogrammes des RILs, 62 % sont de type gamma-45, sauf six entrées qui possèdent la bande gamma-42, il s'agit de: R14, R69, R77, R71, R21 et R22 (Figure 8).

Quant aux profils électrophorétiques des témoins (Figure 9), ils présentent tous la bande gamma-45 sauf la variété Mrb5 et Waha qui renferment la bande gliadine gamma-42. La bande gliadine gamma-45 marque génétiquement une bonne viscoélasticité du gluten nécessaire à une bonne qualité pastière (Damideaux et al. 1978; Payne et al, 1981; Bakhella, 1996). Par contre, la bande gliadine gamma-42 est liée à une faible qualité technologique.

Ces résultats montrent que ce germoplasme offre des sources de bonne qualité technologique liées particulièrement à la force de gluten.

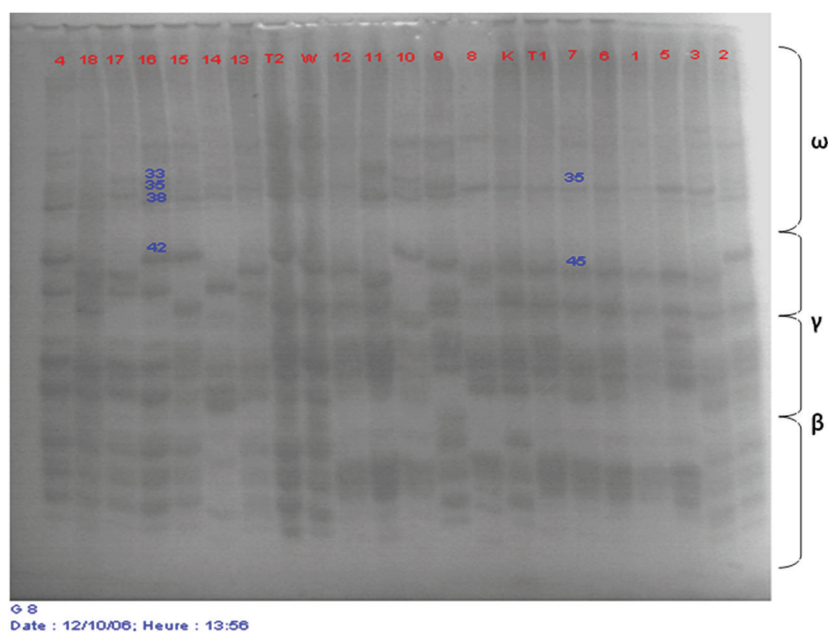


Figure 7: Electrophorogramme des gliadines/polyacrylamide A-PAGE des Accessions

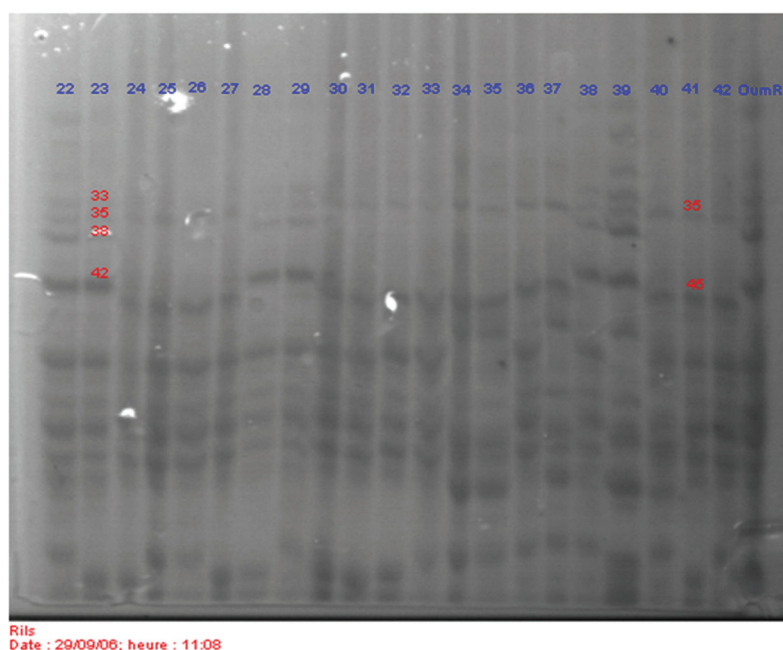


Figure 8: Electrophorogramme des gliadines sur gel de polyacrylamide A-PAGE des RILs

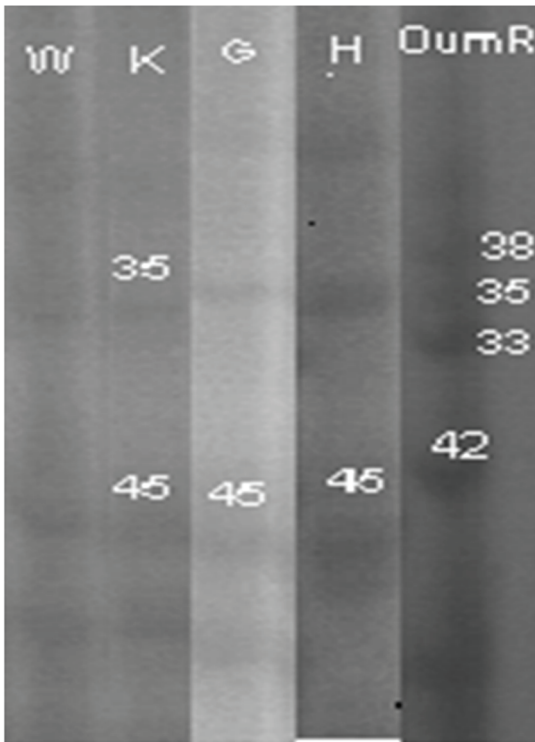


Figure 9: Electrophorégramme des gliadines sur gel de polyacrylamide A-PAGE des témoins

RÉSULTATS DES DIFFÉRENTS CARACTÈRES LIÉS A LA QUALITÉ DU GRAIN

Le taux de vitrosité des RILs et des accessions varie entre 28,8 % et 100 %. Cependant, la plupart des accessions ont des taux de vitrosité plus élevés que les RILs et qui peuvent atteindre jusqu'à 100% pour la variété 6 et 10. Ainsi, un bon lot commercial de blé dur doit normalement avoir un taux de vitrosité très élevé (bien supérieure à 70 %) (Dick et Matsuo, 1988). Le taux de vitrosité est lié aux conditions climatiques, il augmente si la pluviométrie est élevée et si l'apport de N₂ est faible.

Les données de taux de cendres nous indiquent que le taux le plus élevé que nous avons enregistré sur les RILs est de 2,14 % par l'entrée 22 et le taux le plus faible est de 1,69 % par l'entrée 139. Pour les accessions, 2,2 % est le taux le plus grand marqué par la variété 43. Cependant, 1,65 % est le taux le plus faible enregistré par la variété 18. Toutefois, des taux de cendre supérieurs à 1,75 % sont liés à des semoules de faible qualité et posent d'habitude certains problèmes au semoulier (Dick et Matsuo, 1988).

Pour le test SDS, chez les accessions et les RILs on note des valeurs assez élevées, mais ne dépassant pas la valeur notée chez Marzak qui a un volume plus élevé (62,5 ml) que les autres variétés marocaines.

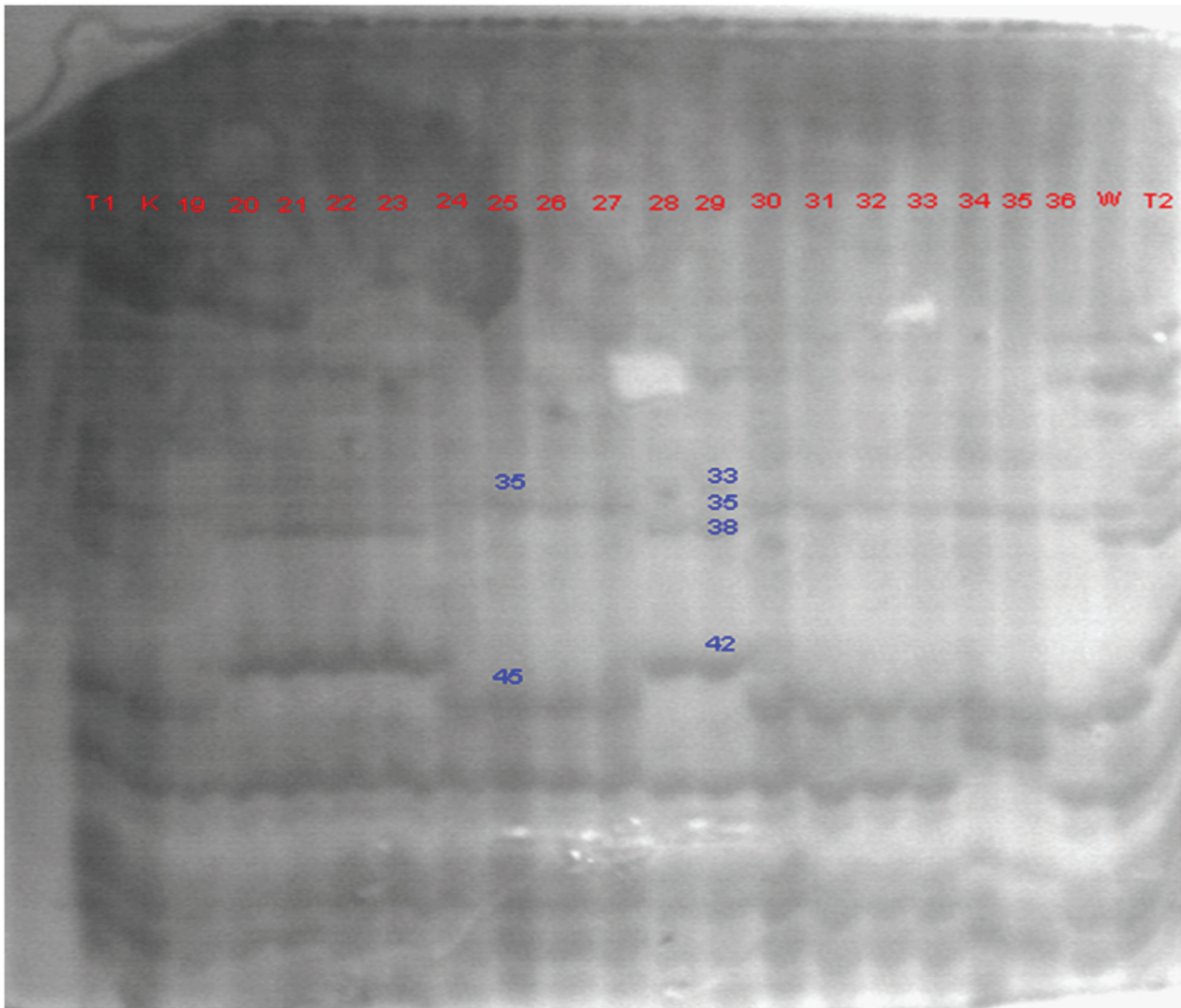


Figure 10: Electrophorégramme des gliadines sur gel de polyacrylamide A-PAGE

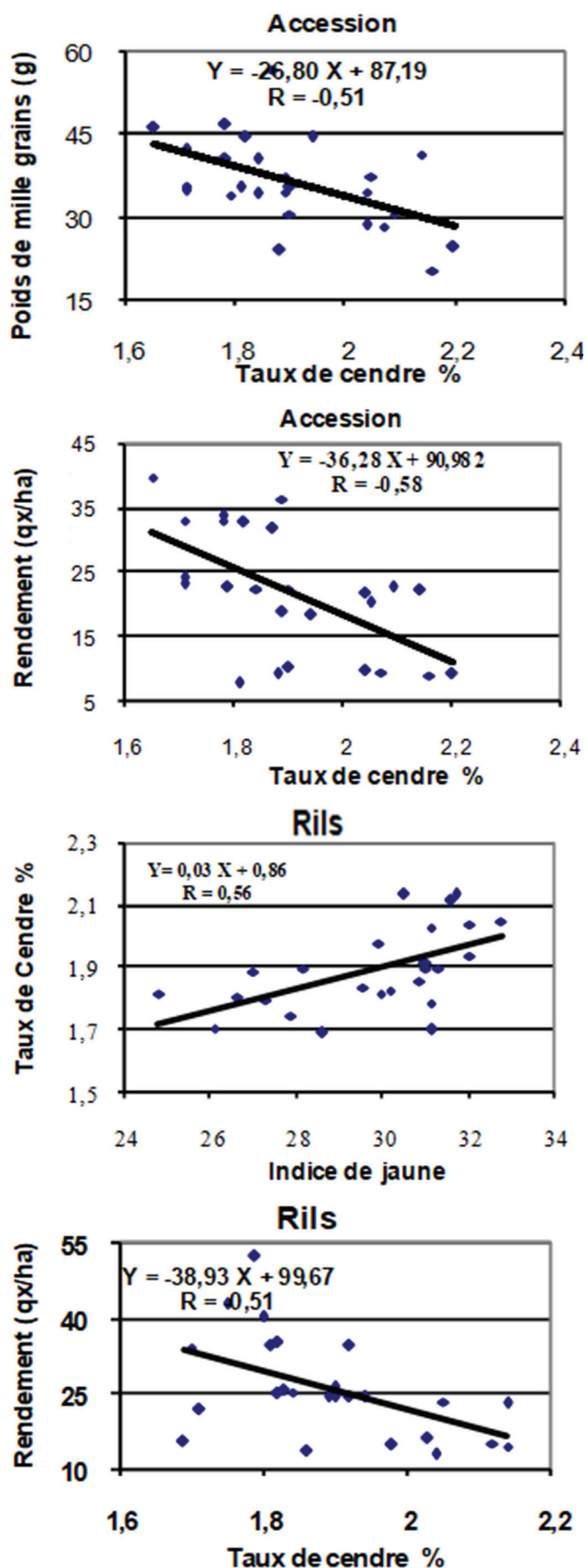


Figure 11: Relation entre les paramètres de qualité et les composantes de rendement

Concernant les valeurs de l'indice de jaune, on note deux accessions qui ont des valeurs supérieures à celle obtenus chez la meilleure variété Tomouh (32,6). Elles sont 38 et 14 avec respectivement des valeurs de 34,7 et 35,9. Par contre, chez les RILs on note deux valeurs égales à cette dernière. Il s'agit de 71 (32,0) et 66 (32,0).

Ces résultats montrent aussi une grande variabilité en terme de critères reliés à la qualité technologique des accessions et des RILs.

Relation entre les composantes de rendement et les paramètres de qualité

Les résultats obtenus pour les accessions montrent des corrélations négatives du taux de cendre avec le rendement d'une part et le poids de mille grains d'autre part. De même, Bakhella (1996) a noté une corrélation négative entre le PMG et le taux de cendres. Par contre, on note une corrélation positive entre le poids spécifique et le poids de mille grains (Dexter et al., 1987; Bakhella, 1996). Quant aux RILs, une corrélation positive est remarquée entre le taux de cendre et l'indice de jaune. Cependant, le taux de cendre est corrélé négativement entre le rendement et le poids spécifique (Figure 11).

L'analyse en composantes principales a montré que les deux axes de cette analyse ont pu expliquer 67,2 % de la variabilité des différents caractères pour les accessions (Figure 12), 36,0 % pour le premier axe et 31,1 % pour le deuxième.

Concernant les RILs (Figure 13), l'analyse en composantes a révélé que les deux axes de cette analyse ont pu expliquer 75,4 % de la variabilité des différents caractères, 43,5 % pour le premier et 31,9 % pour le deuxième.

La comparaison des RILs et des accessions montre des comportements similaires des critères techniques de la qualité à l'exception du taux de vitrosité qui a été plus associé à l'indice de jaune chez les RILs.

Autrement, la distribution du nuage de points sur les axes de l'ACP chez les deux populations est plus homogène chez les RILs. Ceci montre que les variétés échantillonnées des RILs sont plus utilement variables.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les conditions climatiques de l'année étaient favorables dans les deux sites d'expérimentation. Pour cela, la sélection n'était pas efficace, surtout pour l'évaluation de la tolérance à la sécheresse. Cependant, un certain nombre d'accessions et de RILs se sont montrés prometteuses pour le rendement et pour les paramètres de qualité.

Pour le rendement, quelques accessions possèdent des rendements supérieurs aux témoins. Elles se sont montrées performantes. Ces performances peuvent être dues à l'un ou l'autre composante du rendement qui affecte directement le rendement.

Du point de vue qualité, l'analyse électrophorétique montre que 58 % des accessions et 62 % des RILs présentent une bonne force de gluten. Les résultats recueillis

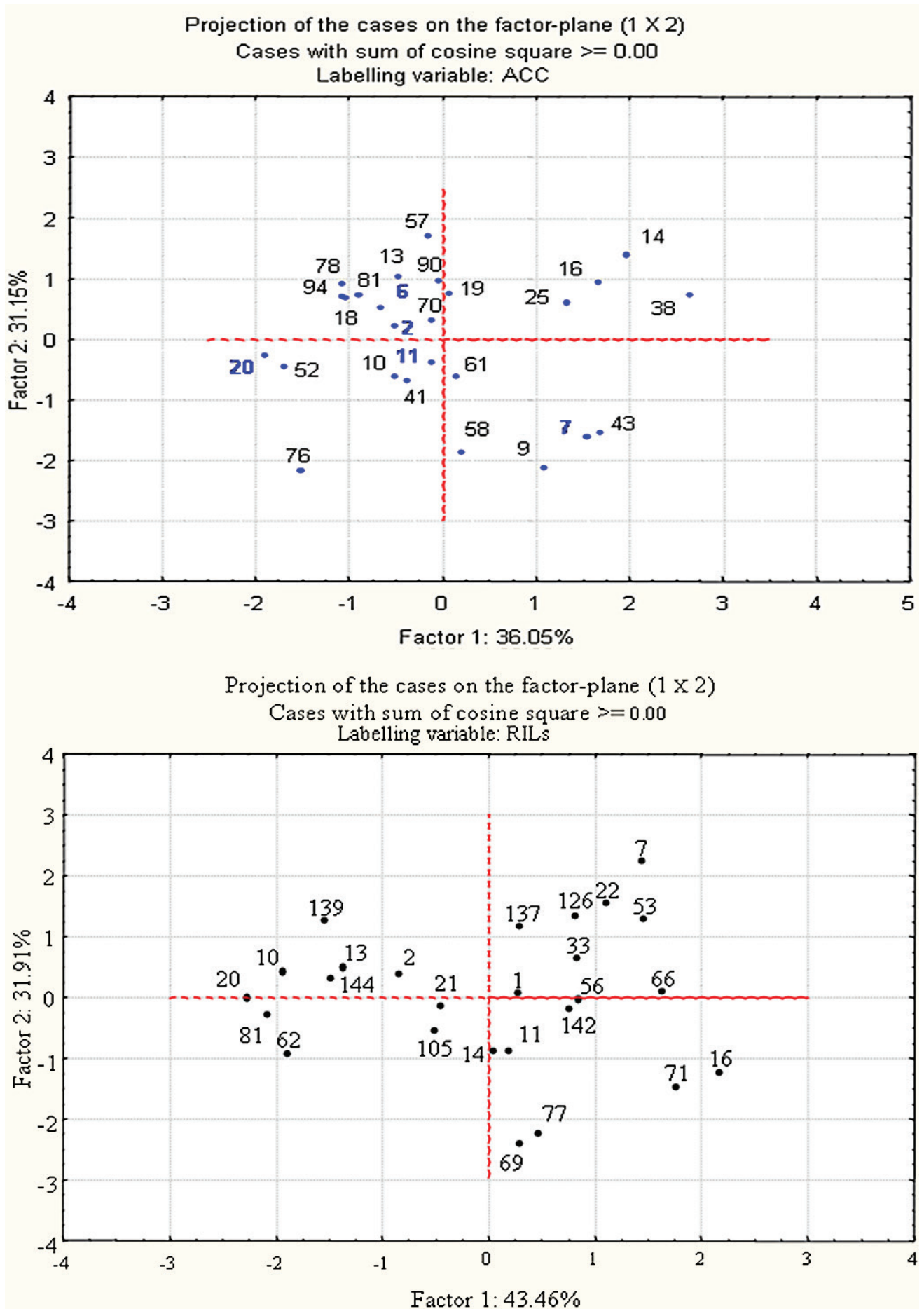


Figure 12: Répartition des accessions selon les composantes principales de l'ACP

pour les autres paramètres de qualité (SDS, TV, IJ et TC) ont révélé une grande variabilité pour les deux populations.

La variabilité des caractères technologiques du grain a elle aussi montré une grande variabilité dans les deux populations. Il y avait des corrélations entre ces caractères d'une part, et entre ces mêmes caractères et les caractères agromorphologiques d'autre part. Ces associations de caractères sont normales et ressemblent à celles rapportées dans la littérature.

Ces relations peuvent toutes avoir des explications différentes: associations de gènes ou compensation entre processus physiologiques au sein de la plante en réponse aux facteurs du milieu. Pour pouvoir faire la différence entre la cause génétique et celle environnementale, il aurait fallu répéter les mêmes essais pendant plusieurs saisons.

La constitution des deux populations a montré une grande variabilité multiaxe ce qui démontre une grande possibilité d'adaptation et de remaniement. Ce matériel ferait une bonne base de départ d'un programme d'amélioration génétique du blé dur pour les zones méditerranéennes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alaoui S.B. (non daté). Référentiel pour la conduite technique de la culture de blé dur (*Triticum durum*).
- Bakhella M. (1996). Storage protein composition of Moroccan durum wheats and its relationships with pasta and bread-making quality attributes: an overview of the main results obtained over the past decade. Communication présentée au séminaire sur le blé dur organisé par l'association internationale SEWANA à l'IAV Hassan II. Décembre 1996.
- Bartali E.H. (1995). Systèmes post récolte des céréales au Maroc.
- Damidaux R., Autran J. C., Grignac P., Feillet P. (1978). Mise en évidence de relations applicables en sélection entre l'électrophorogramme des gliadines et les propriétés viscoélastiques du gluten de *Triticum durum* Desf. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 287, Série D: 701-704.
- Dexter J.E., Matsuo R.R., Martin D.G. (1987). The relationship of durum wheat test weight to milling performance and spaghetti quality. *Cereal Foods World* 32: 772-777.
- Dick J.W., Matsuo R.R. (1988). Durum wheat and pasta products. In: *Chemistry and Technology*, Vol.II, 3rd edition, pp: 507-547. Pomeranz Y., Amer. Assoc. Cereal Chem., Inc. St Paul, Minnesota, U.S.A.

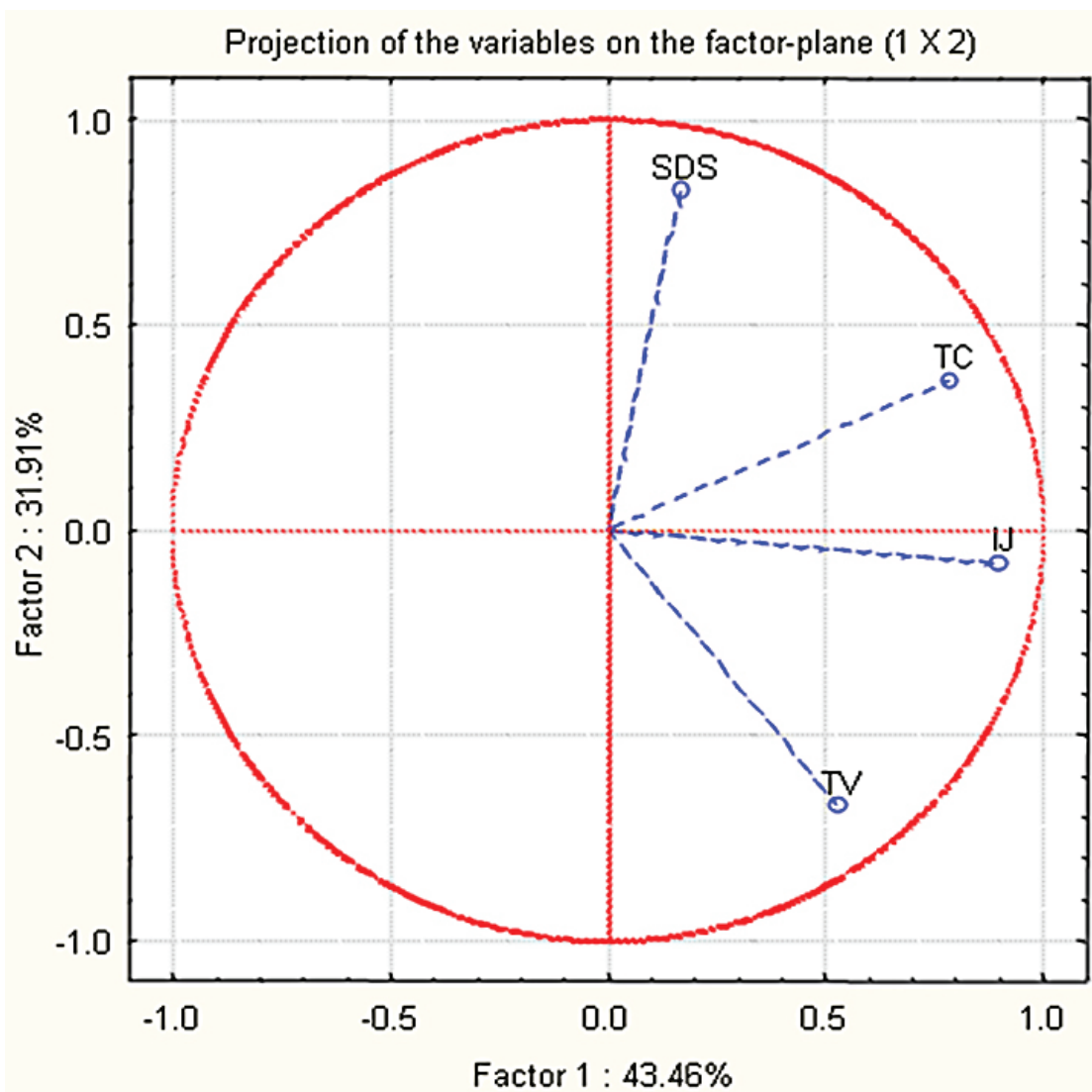


Figure 13: Répartition des RILs selon les composantes principales de l'ACP

- El Mourid M., Karrou M. (1996). Agriculture in arid semi-arid regions of Morocco: Challenges and prospects. *Al Awamia* 92: 69-81.
- Godon B., Loisel W. (1997). Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. Technique et Documentation.
- Jouve Ph. (1988). Quelques réflexions sur la spécificité et l'identification des systèmes agraires. *Les Cahiers de la Recherche-Développement* 20: 5-16.
- MARA/FAO (1982). Programme d'action et possibilités d'investissement dans le secteur céréalière, rapport n° 33/82 TA-MOR Octobre 1982. Maroc: DPAE.
- Crawford P.R, Purvis M. (1986). The Agricultural Sector of Morocco: A description. Country development strategy statement, Annex C. Report to USAID. In *Ecologie des céréales en zones semi-arides*.
- Karrou M., El Mourid M., Boutfirass M., El Gharous M. (2008). Opportunities for improving wheat water productivity in semi-arid areas of Morocco. *Al Awamia* 123-124: 19-37.
- Karrou M. (2003). Conduite du blé au Maroc. INRA EDITION. 57 pages.
- ONICL (2004). Division des études, des statistiques et de l'information. ONICL. Rabat, Maroc.
- Ouassou A. (1995). MAMVA/DERD. La culture du blé dur au Maroc; Situation actuelle, acquis et possibilités de recherche et de développements futurs. *Bull. Transf. Technol. Agric.*
- Payne P. I., Corfield KG., Holt L.M., Blackman J. A. (1981). Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *J. Sci. Food Agric.*, 32: 51-60.