

Appréciation de la valeur semoulière des principales variétés marocaines de blé dur

Mohamed BAKHELLA ¹ & Mohamed AKIL ²

(Reçu le 18/01/1995 ; Accepté le 16/02/1996)

تقدير القيمة السميدية لأصناف مغربية من القمح الصلب

في هذا البحث تم تقدير القيمة السميدية لتسعة أنواع من القمح الصلب الأكثر انتشارا في المغرب. وقد زرعت هذه الأصناف في ثلاثة مناطق مختلفة من حيث مناخها ونوعية تربتها. ولهذا الغرض تم تقدير بعض خصوصيات ومكونات الحبوب والسميد (وزن الهكتولتر (PS)، وزن الألف حبة (PMG)، نسبة البروتين (TP)، نسبة زجاجية الحبوب (VI)، نسبة رماد الحبوب (CG) والسميد (CS)، نسبة الملونات الكاروتينودية (PC)، مردود الحبوب من السميد (RS)، والقيمة عند الطحن (SM)، كل هذه المكونات والخصوصيات تؤثر عليها العوامل البيئية والوراثية تأثيرا مهما ماعدا (CG) ورغم ذلك، فكل الأرقام المسجلة تبين بصفة عامة، حسن مستوى القيمة السميدية لعينات القمح المدروسة. ونوع القمح الصلب المسمى كوكوريت هو الوحيد الذي أعطى سميدا ذو لون دون المستوى المطلوب (نسبة PC متوسطة إلى ضعيفة). كل العلاقات والروابط بين RS و SM من جهة، و الخصوصيات و المكونات الأخرى من جهة ثانية، غير ثابتة وغير مهمة من بيئية إلى أخرى وكذا في حالة تحليل النتائج ككل. نفس الملاحظة أيضا تطبق على الروابط فيما بين خصوصيات ومكونات الحبوب ما عدا العلاقات السلبية بين VI و TP (المرتبطتين إيجابيا) من جهة و PMG و PS من جهة ثانية عند تحليل نتائج كل أنواع القمح من كل المناطق. وفي هذا البحث تبين لنا أيضا أن SM و RS لا يصنفان أنواع القمح بنفس الطريقة. و بصفة عامة يمكن القول أن القيمة السميدية لأنواع القمح المدروسة مقبولة.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب - السميد - القيمة السميدية.

Appréciation de la valeur semoulière des principales variétés marocaines de blé dur

La valeur semoulière de neuf variétés marocaines de blé dur, issues de trois environnements différents, a été appréciée par analyse de certaines caractéristiques physiques et chimiques des grains et semoules (poids spécifique (PS), poids de mille grains (PMG), taux de vitrosité (VI), taux de protéines (TP), taux de cendres sur grains (CG) et semoules (CS), teneur en pigments caroténoïdes (PC), rendement semoulier (RS) et score à la mouture (SM)). Ces paramètres sont hautement sensibles aux facteurs environnementaux (sauf CG) et génétiques. Néanmoins, les valeurs enregistrées sont généralement moyennes à bonnes. La variété cocorit est la seule à donner de la semoule à aspect généralement médiocre (faibles PC). Les corrélations simples et multiples entre RS et SM d'une part, et les paramètres de qualité sur grains d'autre part, ne sont pas bien établies, et varient d'un environnement à l'autre. Il en est de même pour les corrélations entre les paramètres de qualité sur grains, si ce n'est des relations négatives entre TP et VI (positivement corrélés) d'une part, et PS et PMG d'autre part, tous lieux de culture confondus. Le RS et SM ne classifient pas les variétés de la même manière. La valeur semoulière des neuf principales variétés marocaines de blé dur est, dans l'ensemble, assez bonne.

Mots clés : Blé dur -Semoules -Valeur semoulière

Semolina value of the most important moroccan durum wheat varieties

Semolina value of nine moroccan durum wheat cultivars, grown in three different environmental conditions, was appreciated by analyzing grain and semolina physical and chemical characteristics (Test weight (TW), one thousand kernel weight (TKW), vitreousness (VI), protein content (PC), carotenoid content (CC), grain and semolina ash contents (GA & SA), semolina yield (SY), and the milling score (MS)). All the parameters determined are highly sensitive to environmental (except GA) and genetic factors. Nevertheless, their values were generally acceptable. The variety cocorit is the only variety that generally yielded semolina with poor aspect (low CC). Simple and multiple correlations among SY and MS, in one hand, and grain quality criteria, in the other hand, are not clearly established, and vary from one environment to another. The lack of stable correlations among grain quality characteristics is also to be noted, although negative associations were found among PC and VI (positively correlated) in one hand, and TW and TKW in the other hand, all the environments confounded. SY and MS did not rank the cultivars the same way. The overall semolina value of the nine most important moroccan durum wheat cultivars is satisfactory.

Key words : Durum wheat -Semolina -Semolina value

¹ Département de Technologie Alimentaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc

² Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle Technique, et de la Repression des Fraudes, Rabat, Maroc

✦ Auteur correspondant

INTRODUCTION

La céréaliculture est la principale composante de la production végétale au Maroc et occupe une place prépondérante dans l'alimentation humaine et animale. En moyenne, le Maroc produit environ 6 millions de tonnes de céréales principales (blé tendre, blé dur, orge, maïs). Le blé dur y représente environ 25 % et constitue une matière première de choix pour la production de semoules qui sont généralement riches en protéines et en caroténoïdes, très appréciées pour la fabrication des pâtes alimentaires et du couscous. Bien que les sélectionneurs des variétés de blé accordent un intérêt particulier à l'amélioration des rendements à l'hectare, ils restent, également, sensibles aux demandes des utilisateurs qui cherchent des blés durs de bonne qualité à la transformation. La valeur semoulière en est une composante. Celle-ci est appréciée par le poids de mille grains (Irvine, 1978 ; Matsuo & Dexter, 1980 ; Dexter *et al.*, 1987 ; Blanco *et al.*, 1988 ; Cubadda, 1988), la masse apparente à l'hectolitre (Dexter *et al.*, 1987 ; Harris & Sibbitt, 1942 ; Tkatchuk & Kuzina, 1979) ou poids spécifique, le taux de minéralisation des grains et semoules (Dexter *et al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Matsuo *et al.*, 1982), le calibrage des grains (Buré, 1965), la vitrosité (Irvine, 1978 ; Buré, 1965 ; Matsuo, 1988), le rendement semoulier (Cubadda, 1988 ; Finney *et al.*, 1987), les pigments caroténoïdes (Irvine, 1978 ; Cubadda, 1988 ; Matsuo, 1988, Finney *et al.*, 1987), le score à la mouture (Dexter *et al.*, 1987), et la teneur en protéines (Matsuo *et al.*, 1972 ; Dexter & Matsuo, 1977 ; Fortini, 1988 ; Feillet, 1988 ; Autran *et al.*, 1986).

Dans ce travail, on étudie l'évaluation de la valeur semoulière de neuf principales variétés marocaines de blé dur issues de plusieurs milieux.

MATÉRIEL & MÉTHODES

Neuf variétés de blé dur inscrites au Catalogue officiel, récoltées la même année et issues de trois régions à conditions climatiques et édaphiques différentes (Tassaout (culture en irrigué), Marchouch et Doyet) ont été étudiées. Ces variétés sont Oued Zenati (catalogué en 1930), Zeramek (1930), Selbera (1930), Kyperounda (1956), Cocorit (1975), Jori (1976), Acsad 65 (1984), Marzak (1984) et Karim (1985).

L'humidité a été déterminée par la méthode AFNOR/NF-V03-707 (AFNOR, 1982).

Le poids de mille grains a été réalisé et apprécié selon Williams *et al.* (1988).

Le poids spécifique a été réalisé selon Mauzé *et al.* (1972) et apprécié selon Williams *et al.* (1988).

La vitrosité des grains a été déterminée selon la méthode AFNOR/NF-V03-705 (AFNOR, 1982). Les valeurs obtenues ont été appréciées selon Williams *et al.* (1988).

Les taux de minéralisation des grains et semoules ont été réalisés selon la méthode AACC-08-01 (AACC, 1988).

Le blé conditionné 24 heures à 17 % d'humidité, a été moulu en semoules dans un moulin expérimental Chopin CD2.

Les pigments caroténoïdes et le taux de protéines sont réalisés, respectivement, selon la méthode AACC-14-50 (AACC, 1988) et AFNOR/NF-V03-050 (AFNOR, 1982).

Les résultats obtenus ont été analysés en utilisant le logiciel STATITCF, version 4.

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

1. Poids spécifique (PS), poids de mille grains (PMG) et vitrosité (VI)

Les PS obtenus varient de 75 à 82 kg/hl (Tableau 1). Ils sont assez élevés, peu dispersés, et comparables à ceux couramment rapportés (Matsuo & Dexter, 1980 ; Finney *et al.*, 1987). Les grains mal développés ne sont donc pas présents en quantités significatives. Les humidités des blés analysés sont moyennes (12,25 à 14,00 %), et affectent peu les valeurs relatives des P.S. (Tkatchuk & Kuzina, 1979). Le PS est utilisé pour classer les lots de blé en grades (Blanco *et al.*, 1988 ; Dick & Young, 1988) ou pour établir un lot commercial standard (Cubadda, 1988). Les pays de l'Union Européenne ont fixé le PS standard à 78 kg/hl (Cubadda, 1988), sauf en Italie où il est de 82 kg/hl (Dick & Matsuo, 1988). Au Canada et aux USA, le PS du blé du premier grade (de la majorité des classes) est respectivement de 80 et 77,2 kg/hl. Au Maroc, le PS standard est fixé à 77 kg/hl. Six échantillons parmi les 27 analysés ont des PS inférieurs à 77 kg/hl. Les blés durs nord-africains sont connus pour leurs vitrosités élevées et la grosseur importante de leurs grains. Le PS standard de 77 kg/hl semble être un peu faible.

Tableau 1. Valeurs des différents tests de qualité sur grains et semoules¹

Variétés	PMG	PS	VI	TP	CG	CS	RS	SM*	PC
Marchouch									
• Kyperounda	33,1	79,1	91	17,34	1,37	0,76	66,1	60,0	11,3
• Cocorit	40,2	79,2	86	14,34	1,42	0,82	65,3	54,6	5,1
• Marzak	44,3	75,4	88	17,12	1,67	0,88	63,4	48,9	10,2
• Jori	43,1	79,3	92	16,03	1,32	0,68	64,0	63,7	8,2
• Acsad 65	36,6	79,7	84	16,18	1,36	0,72	68,3	64,8	13,6
• Karim	44,8	75,2	91	17,48	1,62	0,87	63,7	49,4	10,5
• Zeramek	30,9	75,2	93	16,76	1,64	0,87	59,7	45,4	8,0
• Selbera	35,1	80,4	93	14,79	1,58	0,94	70,0	51,1	11,5
• Oued Zenati	33,2	76,4	87	16,91	1,44	0,88	57,5	42,5	8,0
Tassaout									
• Kyperounda	45,5	80,7	78	12,67	1,71	0,78	65,6	67,0	10,4
• Cocorit	56,4	79,3	61	12,30	1,78	0,85	64,3	52,2	6,0
• Marzak	64,7	80,4	65	12,20	1,37	0,67	57,7	54,1	8,4
• Jori	65,6	80,0	66	14,31	1,51	0,67	62,2	67,2	5,9
• Acsad 65	61,5	80,3	76	11,45	1,45	0,80	59,2	48,5	8,4
• Karim	63,8	81,8	69	12,25	1,66	0,73	59,6	57,5	6,0
• Zeramek	63,5	79,5	80	15,78	1,48	0,75	63,7	60,8	6,5
• Selbera	50,4	76,5	78	15,47	1,78	0,80	64,4	55,9	9,9
• Oued Zenati	56,4	78,5	69	18,25	1,49	0,71	67,0	65,6	6,0
Doyet									
• Kyperounda	38,5	78,2	80	15,42	1,56	0,86	63,5	53,5	12,1
• Cocorit	47,5	80,1	73	13,86	1,81	0,97	66,0	38,1	5,6
• Marzak	49,2	78,7	75	12,99	1,35	0,72	63,3	67,6	9,0
• Jori	49,3	80,3	77	12,48	1,32	0,73	62,6	65,5	7,8
• Acsad 65	49,2	80,2	71	13,36	1,63	0,89	62,4	41,0	8,5
• Karim	51,9	79,3	64	13,69	1,51	0,76	59,8	52,7	9,1
• Zeramek	49,6	77,4	73	13,37	1,43	0,70	65,7	62,1	6,6
• Selbera	49,5	75,2	74	11,37	1,79	0,91	63,4	37,0	10,8
• Oued Zenati	52,6	81,2	69	13,84	1,33	0,60	64,0	69,7	6,1

¹ : moyenne de deux déterminations

PMG: Poids de mille grains ; PS: Poids spécifique ; VI: Vitrosité ; CG: Cendres sur grains ; TP: Taux de protéines des grains ; CS: Cendres sur semoules ; RS: Rendement semoulier ; PC: Pigments Caroténoïdes ; SM: Score à la mouture, déterminé selon Dexter *et al.* (1987) ; SM = RS-(CS-0,67)/0,014.

Les PMG varient de 30,9 à 65,6 g. Des valeurs plus faibles peuvent être rencontrées (Matsuo & Dexter, 1980 ; Dick & Matsuo, 1988) ; par contre, des PMG supérieurs à 60 g, enregistrés à Tassaout (culture en irrigué), sont exceptionnelles. Les variétés issues de Tassaout ont des PMG classés très lourds (Williams *et al.*, 1988). Les PMG des variétés des autres lieux de culture dépassent rarement 50g et sont lourds à moyennement lourds (Williams *et al.*, 1988).

Contrairement à ce qui est rapporté par Blanco *et al.* (1988), les facteurs environnementaux affectent plus la variabilité du PS et PMG comparés aux facteurs génétiques (Tableau 2). La comparaison des moyennes montre que (Tableau 3) les cultivars occupant les premiers

rangs pour le PS ne sont pas les mêmes que ceux possédant les PMG les plus élevés. Ceci est également vrai pour les variétés occupant les rangs intermédiaires et les derniers rangs. Le PS et PMG ne traduisent donc pas de la même façon l'état sain et la grosseur des grains, bien qu'une corrélation positive et significative ait été enregistrée entre eux pour les 27 variétés analysées (Tableau 4).

Les variétés issues de Marchouch sont très vitreuses (84 à 93%) alors que celles de Tassaout et Doyet le sont moins (61 à 80%). Dans certains pays, l'impact de la vitrosité est jugé important au point d'affecter les grades de blé (Dick & Matsuo, 1988).

Tableau 2. Analyse de variance relative à l'effet des facteurs génétiques et environnementaux sur les valeurs des tests de qualité

Tests de qualité	Variabilité due à :			
	l'environnement (%)	la variété (%)	l'interaction (%)	Résiduelle (%)
PMG	71,92 ***	18,33 ***	9,69 ***	0,06
PS	16,21 ***	23,56 ***	57,98 ***	2,10
VI	73,88 ***	12,20 ***	13,84 ***	0,08
CG	3,72	30,85 **	33,51	31,38
TP	42,62 ***	18,96 ***	37,94 ***	0,48
CS	7,46	28,36 *	32,83	31,34
RS	4,65 ***	27,50 ***	66,02 ***	1,83
SM	6,27 ***	32,92 ***	57,91 ***	2,90
PC	16,84 ***	62,01 ***	20,09 ***	1,07

*, **, *** : indiquent des effets significatifs aux niveaux de probabilité respectifs de 95, 99, et 99,9 % ; PMG : Poids de mille grains ; PS : Poids spécifique ; VI : Vitrosité ; CG : Cendres sur grains ; TP : Taux de protéines sur grains ; CS : Cendres sur semoules ; PC : Pigments caroténoïdes ; RS : Rendement semoulier ; SM : Score à la mouture

Tableau 3. PPAS_{0,05} pour la comparaison des valeurs moyennes par variété (tous lieux de culture confondus)

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
PMG	K/A	M/B	J/B	A/C	C/D	Z/D	O/E	S/F	Ky/G
PS	A/A	J/AB	C/AB	Ky/B	K/C	O/C	M/D	Z/E	S/E
VI	Ky/A	Z/B	S/B	J/C	A/D	M/E	O/F	K/G	C/H
CG	S/A	C/AB	K/ABC	Ky/ABC	Z/ABC	A/ABC	M/ABC	O/BC	J/C
TP	O/A	Z/B	Ky/B	K/C	J/CD	M/DE	S/EF	A/FG	C/G
CS	S/A	C/A	A/AB	Ky/AB	K/AB	Z/AB	M/AB	O/AB	J/B
RS	S/A	C/B	Ky/B	A/C	Z/C	J/C	O/C	M/D	K/D
SM	J/A	Ky/B	O/BC	M/C	Z/C	K/D	A/D	C/E	S/E
PC	Ky/A	S/B	A/C	M/C	K/D	J/E	Z/E	O/E	C/F

PPAS_{0,05} : Plus petite amplitude significative au risque d'erreur de 5 % ; PMG : Poids de mille grains ; PS : Poids spécifique ; VI : Vitrosité ; CG : Cendres sur grains ; TP : Taux de protéines sur grains ; CS : Cendres sur semoules ; RS : Rendement semoulier ; SM : Score à la mouture ; Variétés / Groupes de moyennes : A (Acsad) / C (Cocorit) / J (Jori) / K (Karim) / Ky (Kyperounda) / M (Marchouch) / O (Oued Zenati) / S (Selbera) / Z (Zeramek) / ; / A,B,C, D,E,F,G,H : Groupes de moyennes avec valeurs décroissantes de A à H.

Tableau 4. Corrélations simples significatives entre les tests de qualité

Stations	Corrélations significatives aux niveaux de probabilité minimaux de 95 % (*) et 99 % (**)
Marchouch (n=9)	PS/CG (*) ; PS/TP (*) ; PS/RS* (*) ; PS/SM* (*) ; CG/SM (*) ; CG/CS* (**); CS/SM (**).
Tassaout (n=9)	PMG/CG* (*) ; PMG/RS* (*) ; PMG/PC (*) ; CG/CS* (*) ; TP/RS* (*) .
Doyet (n=9)	PMG/VI (*) ; CG/CS* (**); CG/SM* (**); CS/SM* (**).
Les trois stations réunies (n=27)	PMG/PS* (*) ; PMG/CS (*) ; PS/VI (*) ; PS/TP (*) ; PS/CS (*) ; PS/SM* (*) ; VI/PC* (*) ; CS/SM (**); CG/SM (**); CG/CS* (**); PMG/VI (**); PMG/TP (**); PMG/PC (**); VI/TP* (**).

* : $|r| \geq 0,666$ pour $n = 9$ et $\geq 0,381$ pour $n = 27$ (**): $|r| \geq 0,798$ pour $n = 9$ et $\geq 0,487$ pour $n = 27$; PMG: Poids de mille grains ; PS: Poids spécifique ; VI: Vitrosité ; CG: Taux de cendres des grains ; TP: Taux de protéines des grains ; CS: Taux de cendres des semoules ; RS: Rendement Semoulier ; SM: Score a la mouture ; PC: Pigments caroténoïdes.

Les signes des corrélations sont indiqués par des + ou des - portés aux exposants des paramètres concernés.

Au Maroc, une bonification à l'achat était prévue pour un blé à VI dépassant 65%. Ce niveau est assez bas car le taux de grains mitadins affecte sérieusement le rendement et l'aspect des semoules (surtout les grosses semoules) quand il est supérieur à 30% (VI < 70 %) (Dick & Matsuo, 1988). La bonification ne devrait prévaloir que quand VI est élevé. Un niveau de 90% (classe A de l'échelle de Williams *et al.*, 1988) semble raisonnable.

Le mitadinage est sensible à l'environnement (contrôlant 3/4 de sa variabilité) et au facteur variétal ($P < 0,001$). L'effet très significatif de l'environnement est très connu (Blanco *et al.*, 1988; Dick & Young, 1988; Dick & Matsuo, 1988; Joppa & Williams, 1988). L'azote disponible dans le sol, via son effet sur le taux de protéines, affecte VI (Blanco *et al.*, 1988). Il en est de même de tout stress physiologique (stress hydrique, gelée,...) ou pathologique pouvant nuire au développement normal des grains. Les vitrosités moyennes les plus élevées ont été obtenues à Merchouch et les plus faibles à Tassaout. Les anciens cultivars Kyperounda, Zeramek et Selbera sont les plus vitreux. La variété Cocorit, connue pour son mitadinage important (Bakhella, 1981; Bakhella, 1988) est parmi les variétés à faible vitrosité toutes stations confondues.

La vitrosité est négativement corrélée aux PMG et PS (Tableau 4) pour les données réunies des trois stations. Les grains très vitreux ne sont donc pas nécessairement des gros grains très bien développés. Ceci s'expliquerait par le fait que les gros grains contiennent une proportion relativement importante d'amidon, ce qui diluerait le matériel protéique dans l'endosperme et créerait plusieurs espaces vides. Ces derniers sont connus pour être responsables de l'opacité des grains (Bakhella, 1992; Hosney, 1986).

2. Rendement semoulier (RS) et score à la mouture (SM)

Les bons RS varient entre 60 et 66 %, la farine (gruaux D) ne représentant qu'une portion faible variant de 8 à 13 % (Matsuo & Dexter, 1980; Matsuo, 1988; Finney *et al.*, 1987; Dick & Young, 1988; Dick & Matsuo, 1988). Les RS enregistrés sont satisfaisants. Ils sont hautement sensibles aux effets des facteurs environnementaux et génétiques (Tableau 2). Les groupes de moyennes par variété montrent que les RS varient de 61 à 66%. Les variétés Selbera et Kyperounda ont de très bons rendements semouliers. La variété

Karim, assez mitadinée à Tassaout et Doyet, a le RS moyen le moins élevé. Les RS moyens obtenus à Marchouch sont les plus élevés et ceux obtenus à Tassaout sont les plus faibles, indiquant que la culture en irrigué engendrant de gros grains (PMG très élevés) n'améliore pas nécessairement la quantité de semoules extraites. Ceci est probablement dû aux VI relativement faibles enregistrées dans ce lieu de culture.

Le score à la mouture (SM), conçu pour ne pas surestimer la valeur semoulière des blés à RS importants mais à taux de cendres des semoules (CS) élevé, a été calculé selon Dexter *et al.* (1987). Les données courantes et acceptables des RS et CS montrent que des SM bons à très bons devraient être supérieurs à 50 %. La majorité des cultivars ont des SM satisfaisants. Certaines variétés dont les RS sont bons à très bons n'ont donné que des SM moyens ou même insuffisants à cause des hautes teneurs en cendres des semoules (cas des variétés Acsad 65 et Selbera, issues de Doyet).

Les SM sont hautement sensibles aux facteurs génétiques et environnementaux. Ils sont, en moyenne, plus élevés à Tassaout que dans les deux autres lieux de culture. À Tassaout, les RS sont en moyenne les plus faibles, avec des semoules aux taux de cendres raisonnables (< 0,85 %). Une différence existe, donc, entre SM et RS, indiquant qu'ils évaluent différemment les performances du blé à la mouture. La comparaison des moyennes par variété a donné une classification différente de celle obtenue avec les RS (Tableau 3). Les écarts entre les différentes classes de moyennes sont élevés. Ceci indique que le SM conviendrait le mieux pour différencier les cultivars entre eux; encore faudrait-il s'assurer de la portée pratique de ce nouveau paramètre.

Certains auteurs (Dexter *et al.*, 1987; Blanco *et al.*, 1988; Matsuo, 1988; Dick & Matsuo, 1988) ont noté l'existence d'une corrélation positive entre RS, d'une part, et PS et PMG, d'autre part. D'autres (Matsuo & Dexter, 1980; Cubadda, 1988; Matsuo, 1988; Dick & Young, 1988) en doutent et rapportent que cette relation n'est vérifiable que si le PMG (ou PS) est en deçà d'une certaine valeur, et pourvu que les mensurations des grains soient assez uniformes. Les résultats semblent confirmer cela, car c'est à Marchouch (variétés à PMG et PS relativement les plus faibles) que PS est corrélé au RS. Le PMG, de détermination simple et non sujet aux variations dues à l'état de surface des grains, n'est donc pas meilleur que le

PS dans la prédiction du rendement semoulier. Irvine (1979) cité par Dick & Matsuo (1988) rapporte que le PMG est meilleur. Certains résultats relatifs aux blés marocains (Bakhella, 1994) indiquent que le PMG, plus particulièrement le PMG de la fraction des grains de calibre (sens largeur-épaisseur des grains) inférieur à 3,18 mm, est très bien corrélé au RS. Parfois, on observe des corrélations significatives entre le PS (ou PMG) et le rendement à la mouture (semoules + farine) qui, malheureusement, ne se manifeste pas avec le rendement semoulier, considéré seul, à cause de l'impact d'autres facteurs comme la vitrosité. Cette dernière, si elle est faible, favorise la production de plus de farine (Matsuo & Dexter, 1980 ; Matsuo, 1988 ; Dick & Matsuo, 1988).

Concernant le SM, seul le PS lui est corrélé positivement (pour les 9 variétés de Marchouch et celles réunies des trois lieux de culture). Les baisses de SM et RS quand PS diminue d'une unité sont plus importantes que celles rapportées par Dexter *et al.* (1987). La baisse des SM est presque 2 fois plus importante que celle du RS.

3. Taux de cendres des grains (CG) et semoules (CS)

Les CG (1,32 à 1,81 %) et CS (0,60 à 0,97 %) enregistrés sont comparables à ceux rapportés par certains auteurs (Dexter *et al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Matsuo, 1988 ; Dick & Young, 1988 ; Dick & Matsuo, 1988). L'effet bien connu des facteurs environnementaux sur CG (Matsuo, 1988) est sans grande importance (Tableau 2). La comparaison des moyennes par variété montre une certaine homogénéité des CS et CG.

Des CG supérieurs à 1,75% posent généralement des problèmes aux semouliers car ils affectent grandement les valeurs des CS (Dick & Matsuo, 1988). Ceci est le cas de 5 des 27 échantillons analysés. Des valeurs de CS en deçà de 0,80 à 0,90% indiquent que les semoules sont assez pures (Cubadda, 1988 ; Matsuo, 1988 ; Dick & Matsuo, 1988). Des CS élevés affectent les grades de semoules (Cubadda, 1988 ; Dick & Matsuo, 1988) et indiquent la présence excessive des piqûres de son. Ces dernières affectent négativement l'apparence des semoules et celle des pâtes alimentaires qui en proviennent (Cubadda, 1988 ; Matsuo, 1988).

Au Maroc, les taux de cendres des grosses et fines semoules sont réglementés respectivement à 0,56-0,75 % et 0,58-1,10 %. Cette distinction n'est fondée sur aucune explication technologique précise.

La corrélation positive assez connue entre CG et CS (Matsuo *et al.*, 1982) a été également notée dans cette étude. Ceci est, en partie, dû au fait que les variétés de blé ont été conditionnées et moulues de la même manière.

Les taux de cendres sur grains sont corrélés négativement ($P < 0,001$) au SM et non au RS, contrairement aux données de la littérature (Dexter *et al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Matsuo *et al.*, 1982). En semoulerie, le manque de lien entre CS et RS est sans importance sur le plan réglementaire. Les CS sont corrélés négativement aux PS et PMG. Ces corrélations, notées par d'autres auteurs (Dexter *et al.*, 1987 ; Matsuo *et al.*, 1982), traduisent le fait que le PS et le PMG sont positivement associés au bon aspect des semoules. Ceci s'expliquerait (CS et CG étant corrélés positivement) par le fait que les grains lourds et bien développés ont de faibles proportions d'enveloppes (riches en cendres) comparés aux grains chétifs de faibles dimensions.

4. Teneurs en protéines (TP) et en pigments caroténoïdes (PC)

Les taux de protéines des variétés analysées sont, en général, satisfaisants ($> 12\%$), et sont particulièrement assez élevés à Marchouch. Les semoules et farines issues de ces blés durs conviendraient, alors, à la confection des pâtes alimentaires et du pain, pourvu que la qualité des protéines soit acceptable (Dexter *et al.*, 1987 ; Finney *et al.*, 1987 ; Dexter & Matsuo, 1977 ; Feillet, 1988 ; Joppa & Williams, 1988 ; Quaglia, 1988). Des grains à TP plus faibles ($< 11\%$) ou trop élevées donneraient des semoules difficiles à transformer en produits finis (extrusion et séchage des pâtes malaisés).

La teneur en protéines est très influencée par les facteurs environnementaux et génétiques. Ces effets bien connus (Finney *et al.*, 1987 ; Bakhella, 1992 ; Feillet, 1988) affectent le processus de translocation des matériaux protéiques provenant des tiges et feuilles (Joppa & Williams, 1988) et l'accumulation de ces protéines dans le grain. Les variétés issues de Marchouch sont, en moyenne, les plus riches en protéines. Malgré cela et contrairement à ce qui est rapporté par Quaglia (1988) précisant que les blés durs à taux de protéines supérieurs à 13 % sont théoriquement facilement panifiables, la qualité boulangère de ces variétés appréciée indirectement par des tests rhéologiques n'est véritablement bonne que pour

Marzak. Leur qualité pastière est, par contre, satisfaisante (Bakhella *et al.*, 1992). Les cultivars Oued Zenati, Zeramek, et Kyperounda maintiennent des niveaux importants de protéines quelque soit le lieu de culture.

Une corrélation positive ($P < 0,001$) a été enregistrée entre TP et VI. Cette relation bien connue (Matsuo & Dexter, 1980 ; Blanco *et al.*, 1988 ; Fortini, 1988 ; Dick & Young, 1988 ; Dick & Matsuo, 1988) n'est pas toujours vraie (Bakhella, 1992). Des taux élevés de grains vitreux affecteraient, alors, indirectement et positivement la valeur à la transformation des semoules de blé dur. Comme la vitrosité est purement un phénomène physique, sa sensibilité au facteur variétal, souvent observée, serait dû à cette corrélation avec TP.

Le taux de protéines est négativement corrélé à PS et PMG, tous lieux de culture confondus, et positivement corrélé au RS là où les variétés ont été irriguées (Tassaout). Plusieurs auteurs ont rapporté l'existence de telles relations (Dexter *et al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Tkatchuk & Kuzina, 1987). De faibles PS, bien qu'indésirables, sont donc associés à des taux de protéines élevés recherchés lors de la transformation des semoules en pâtes alimentaires.

Concernant les pigments caroténoïdes, et d'après les valeurs communément rapportées (Irvine, 1978 ; Matsuo, 1988 ; Bakhella, 1981 ; Quaglia, 1988 ; Johnston *et al.*, 1980), les variétés analysées (en particulier Kyperounda, Selbera, Acsad et Marzak), en sont en moyenne assez riches ($PC > 6$ ppm). La variété Cocorit est relativement peu riche en PC. Les semoules de cette variété, sélectionnée par le CYMMYT (Mexique) en 1971 et cataloguée au Maroc en 1975, sont connues pour leur aspect médiocre (Joppa & Williams, 1988). Le facteur variétal contrôle plus de 60 % de la variabilité de la teneur en PC.

La corrélation négative entre PC et PMG indique, contrairement à ce qui a été noté pour CS, que le bon développement des grains n'est pas forcément associé à un bon aspect des semoules.

La couleur jaune-dorée des semoules, due aux PC, est hautement appréciée par les utilisateurs. C'est surtout la lutéine (une xanthophylle ou alpha-dihydroxycarotène) et un peu de ses esters, qui en sont responsables (Dick & Young, 1988, Joppa & Williams, 1988 ; Fortmann & Joiner, 1978). La

couleur brunâtre indésirable des semoules est due à un défaut de ces pigments et/ou à la présence en quantités importantes de protéines complexant le cuivre et/ou à l'activité d'enzymes comme les lipoxygénases, peroxydases et polyphénoloxydases (Cubadda, 1988 ; Finney *et al.*, 1987 ; Dick & Matsuo, 1988). La synthèse des PC étant sous contrôle des génomes 2A et 2B (Joppa & Williams, 1988), la sélection pour de faibles activités enzymatiques (Hoseney, 1986) devrait donc être simplement remplacée par la sélection directe pour de hautes teneurs en PC.

5. Corrélations multiples

L'évaluation du rendement en semoules demande la production de celles-ci et donc la disponibilité de quantités importantes de blé, et un moulin expérimental adéquat. Ces quantités et équipements faisant parfois défaut, il importerait alors de procéder aux corrélations pour prédire le RS et SM à partir des tests sur grains comme variables explicatives.

Toutes les combinaisons de variables rapportées au tableau 5 permettent de prédire le RS ou SM à des risques d'erreur statistiquement faibles ($< 5\%$). Pour les 27 échantillons pris ensemble, RS n'a pu être corrélé à aucune combinaison de variables. L'autre paramètre (SM) a été mieux décrit par des régressions simples, précédemment commentés. Pour les données séparées des trois lieux de culture, le RS est mieux décrit par des combinaisons de variables incluant PS, PMG, VI, TP et CG. Des résultats récemment acquis (Bakhella, 1994) indiquent que l'ajout, dans les modèles de régression, d'autres variables ayant trait aux mensurations des grains (épaisseur, largeur, longueur et rapports de sphéricité), permet d'élaborer des modèles permettant de prédire le RS à moins de 1 % de sa valeur réelle, avec un risque d'erreur $< 0,1\%$. Il y a là une voie à suivre pour élucider ce problème.

L'analyse en composantes principales (ACP), conduite sur 12 variables (tests de qualité) et 27 individus (échantillons de blé) a aidé à rechercher les liens entre les tests de qualité.

La figure 1 montre le plan principal qui, d'après les résultats, n'explique que 58% de variabilité totale. De ce graphique, il ressort clairement une juxtaposition de 3 nuages de points correspondant aux 3 lieux de culture. Ainsi, à gauche, on trouve les variétés de Tassaout à PMG et PS élevés.

Tableau 5. Principales corrélations multiples significatives entre certains tests de qualité¹

Lieu de culture	V.D.	V.I.	Coefficient de corrélation multiple : R	Modèle significatif au risque d'erreur de:
Marchouch (n=9)	RS	PMG,PS,CG,TP	0,953 *	2,64 %
	RS	PMG,PS,CG	0,910 *	2,46 %
	RS	PMG,PS	0,800 *	4,68 %
	RS	PS,CG [3]	0,873 *	1,40 %
	RS	PS	0,754 *	1,85 %
à	SM	PMG,PS,TP	0,880 *	4,59 %
	SM	PS,TP	0,807 *	4,28 %
	SM	PS	0,717 *	2,92 %
Doyet (n=9)	RS	PMG,PS,VI,CG,TP	0,996 **	0,24 %
	SM	PMG,PS,VI,CG,TP	0,990 **	0,98 %
	SM	PMG,PS,VI,CG	0,975 **	0,93 %
	SM	PMG,VI,CG,TP	0,979 **	0,69 %
	SM	VI,CG,TP	0,976 **	0,17 %
	SM	VI,CG	0,974 **	0,03 %
	SM	CG	0,972 **	0,00 %
Tassaout : (n=9)	RS	PMG,PS,CG,TP	0,935 *	4,57 %
	RS	PMG,CG,TP	0,922 *	1,82 %
	RS	PMG,TP	0,903 **	0,70 %
	RS	PMG	0,675 *	4,47 %
Toutes les stations réunies (n=27)	SM	PMG,PS,VI,CG,TP	0,696 *	1,49 %
	SM	PMG,PS,VI,CG	0,660 **	0,67 %
	SM	PMG,PS,CG,TP	0,694 **	0,30 %
	SM	PMG,PS,CG	0,660 **	0,29 %
	SM	PS,CG	0,643 **	0,34 %
	SM	PS	0,428 **	0,10 %
	SM	CG	0,588 **	0,44 %

[1] : Corrélations établies par régression progressive avec choix des variables. V.D. : variables dépendantes ; V.I. : variables indépendantes.

*, ** : Corrélations significatives respectivement aux niveaux de probabilité minimaux de 95 et 99 %. RS : Rendement semoulier ; SM : Score à la mouture ; PS : Poids spécifique ; PMG : Poids de mille grains ; CG : Cendres sur grains ; VI : Vitrosité ; TP : Taux de protéines.

Celles de Marchouch, à droite, ont des VI, CS, TP et PC assez élevés. Une analyse récapitulative de la figure 1 montre :

- un manque de lien entre RS, d'une part, et PS et PMG, d'autre part ;
- les tests PC, VI et TP corrélaient positivement entre eux ;
- les CS et CG sont négativement corrélés au SM ;
- le RS est assez bien positivement relié à PC, TP, et VI, mais ne l'est pas avec CS, CG et SM.

CONCLUSION

Les PS, PMG, TP et VI des blés étudiés sont, dans l'ensemble, satisfaisants. Ces tests sont fort variables au point où il faudrait constamment les conduire, quel que soit la variété, pour évaluer la valeur semoulière. Leurs corrélations avec RS, bien que parfois significatives, sont variables d'un lieu de culture à un autre. Des combinaisons linéaires de ces paramètres, dans deux des trois environnements testés, ont permis de prédire le RS avec un faible risque d'erreur.

D'autres travaux sont nécessaires avant de se prononcer sur de tels liens. Les RS et SM des variétés étudiées sont très satisfaisants. Les teneurs en PC des semoules sont, dans l'ensemble, très bonnes. Seule Cocorit a des semoules à aspect médiocre.

En définitive, les blés durs marocains (plus particulièrement les anciennes variétés) ont globalement des valeurs semoulières assez bonnes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient MM. Abdallah OUASSOU et Mohamed BABA, chercheurs à l'Institut National de la Recherche Agronomique (Rabat), qui ont bien voulu leur fournir variétés de blé dur et pour les avoir aidés à réaliser certaines analyses. Ils remercient également M. Ahmed GOUMARI, du Département des Statistiques Appliquées, qui les a aidés à interpréter les données de l'Analyse en Composantes Principales.

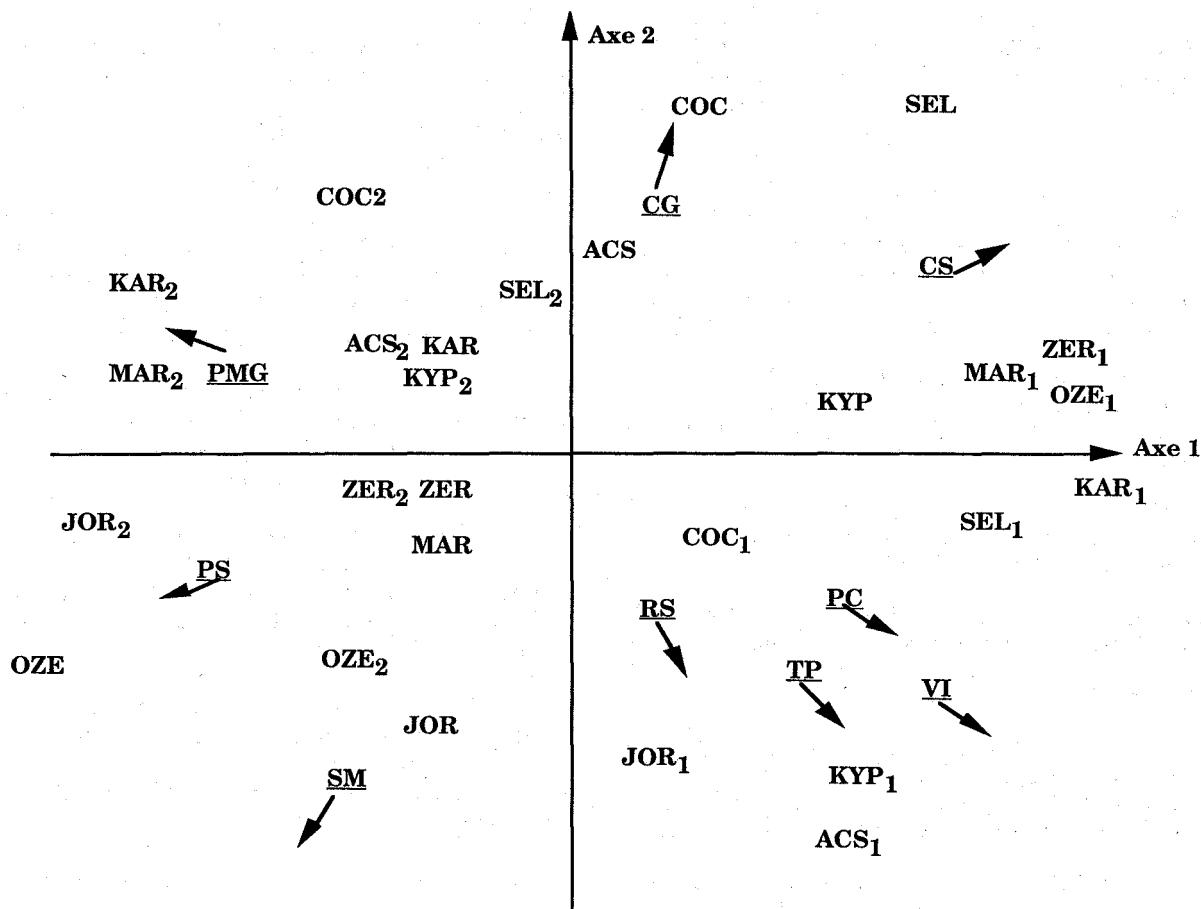


Figure 1. Analyse en composantes principales: représentation sur le plan principal de 9 tests de qualité et 9 variétés de blé dur issues de trois régions (les tests de qualité sont soulignés)

VAR : variété de Douyet ; VA₁ : variété issue de Marchouch ; VA₂ : variété issue de Tassaout ; KYP : Kyperounda ; COC : Cocorit ; MAR : Marzak , JOR : Jori ; ACS : Acsad 65 ; KAR : Karim ; ZER : Zeramek ; SEL : Selbera ; OZE : Oued Zenati.

RÉFÉRENCES CITÉES

AACC (1988) Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 8th edition, Amer. Assoc. Cereal Chem., Inc., St. Paul MN, U.S.A.

AFNOR (1982) Association Française de Normalisation (A.F.NOR). Recueil de normes françaises des céréales et produits céréaliers. 1ère édition, A.F.NOR (Ed.), Paris, France

Autran J.-C., J. Abecassis & P. Feillet (1986) Statistical evaluation of biochemical and technological tests of durum wheat quality assessment in breeding. *Cereal Chem.*, 63(5): 390-394

Bakhella M. (1981) Contribution à la connaissance de la qualité et de la composition chimique de certaines variétés marocaines de blé. Thèse de 3ème Cycle, Option I.A.A., Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Bakhella M. (1988) Identification and Quality of Moroccan Cereal Varieties. Thèse de Doctorat ès Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Bakhella M. (1992) La dureté du blé et son impact sur la qualité. Marché des céréales et légumineuses. *Bulletin Mensuel Interprofessionnel d'Information, O.N.I.C.L. (Maroc)* 1(3) : 10 - 11

Bakhella M. (1994) Étude de la qualité Technologique des Variétés Marocaines de blé dur. Rapport de la Première Année du Projet "Réseau Blé Dur". Département de Technologie Alimentaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Rabat-Instituts, Rabat, Maroc.

Bakhella M., M. Akil, M. Baba & A. Ouassou (1992) Étude de la qualité boulangère et pastière des neuf principales variétés marocaines de blé dur. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)* 12 (3) : 23 - 37

- Blanco A., C. Depace, E. Porceddu & G.T. Scarascia Mugnozza (1988) Genetics and breeding of durum wheat in Europe, p. 17-45, *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA
- Buré J. (1965) Méthodes d'appréciation des caractères physiques dans les industries des céréales. I- Caractéristiques physiques des grains. Pages: 52-59. *In: Mises au point de chimie analytique, organique, pharmaceutique et bromatologique*. Gautier, J.A. & P. Malangeau (Eds.), 14ème série, Masson & Cie
- Cubadda R. (1988) Evaluation of durum wheat semolina and pasta in Europe, p. 217-228. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA
- Dexter J.E. & R.R. Matsuo (1977) Influence of Protein Content on Some Durum Wheat Quality Parameters. *Can. J. Plant Sci.* 57 : 717-727
- Dexter J.E., R.R. Matsuo & D.G. Martin (1987) The relationship of durum wheat test weight to milling performance and spaghetti quality. *Cereal Foods World*, 32 (10) : 772 - 777
- Dick J.W. & R.R. Matsuo (1988) Durum Wheats and pasta products, p. 507-547, *In: Wheat: Chemistry and Technology*. Vol. II, 3rd. edition. Y. Pomeranz (Ed.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, U.S.A.
- Dick J.W. & V.L. Young (1988) Evaluation of Durum Wheat, Semolina, and Pasta in The United States. Pages: 237-248. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA.
- Féillet P. (1988) Protein and enzyme composition of durum wheat, p.93-138. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA
- Finney K.F., W.T. Yamazaki, V.L. Youngs & G.L. Rubenthaler (1987) Quality of Hard, Soft, and Durum wheats. *In: Wheat and wheat improvement*. E.G. Heyne (Ed.). 2nd ed., pp.677-748. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. & Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Fortini S. (1988) Some specific aspects of durum wheat and pasta cooking quality evaluation in Europe. Pages: 229-235. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, U.S.A.
- Fortmann K.L. & R.R. Joiner (1978) Wheat Pigments and Flour Color. Pages : 493 -522. *In: Wheat Chemistry and Technology*. Y. Pomeranz (Ed.), Amer. Assoc. of Cereal Chem., Inc., St. Paul, MN, U.S.A.
- Harris R.H. & L.D. Sibbitt (1942) The utility of micro-methods of test-weight determination with hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 19 : 458 - 467
- Hoseney R.C. (1986) Principles of cereal sciences and technology. First edition, Amer. Assoc. of Cereal Chem., Inc., St. Paul, MN, U.S.A.
- Irvine G.N. (1978) Durum wheat and pasta products. Pages: 777-796, *In: Wheat: Chemistry and Technology*. 2nd edition. Y. Pomeranz (Ed.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, U.S.A.
- Johnston R.A., J.S. Quick & B.J. Donnelly (1980) Note on comparison of pigment extraction and reflectance colorimeter methods for evaluating semolina color. *Cereal Chem.* 57 (6) : 447 - 448
- Joppa L.R. & N.D. Williams (1988) Genetics and breeding of durum wheat in the United States. Pages: 47-68. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, U.S.A.
- Matsuo (1988) Evaluation of Durum Wheat, Semolina, and Pasta in Canada. Pages: 249-261. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA.
- Matsuo R.R. & J.E. Dexter (1980). Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Can. J. Plant Sci.* 60 : 49 - 53
- Matsuo R.R., J.E. Dexter F.G. Kosmolak & D. Leisle (1982) Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* 59(3): 222-228
- Matsuo R.R., J.W. Bradley & G.N. Irvine (1972) Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chem.* 49 : 707 - 711
- Mauze C., M. Richard & G. Scotti (1972) Contrôle de la qualité des blés (Guide Pratique). Institut Technique des Céréales et Fourrages (I.T.C.F.), Paris XVIème, France
- Quaglia G.B. (1988) Other durum wheat products. Pages: 263-282. *In: Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, U.S.A.
- Tkatchuk R. & F.D. Kuzina (1979) Wheat: relations between some physical and chemical properties. *Can. J. Plant Sci.* 59 : 15 - 20
- Williams P.C., F.J. El Haremein, H. Nakkoul & S. Rihawi (1988) Crop quality evaluation, methods and guidelines. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. (ICARDA), Aleppo, Syria