



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة باجي مختار - عنابة
Université Badji Mokhtar - Annaba

Faculté des Sciences

Département de Biologie

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Docteur-es-sciences

En Biologie

Option : Biologie Végétale

Intitulée

**Etude de la variation spatio-temporelle de
certaines caractéristiques technologiques de
quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie.**

Présentée par
M^{lle} DERBAL Nora

Devant le jury :

Président	Mr. BRINIS Louhichi	Professeur	Université de Annaba
Directeur de thèse	Mr. TAHAR Ali	Professeur	Université de Annaba
Examineur	Mr. BOUTEBBA Aïssa	Professeur	Université de Annaba
Examineur	Mr. SOLTANE Mahmoud	Professeur	Université d'El-Taref
Examineur	Mr. MEZEDJRI Lyamine	M.C.A	Université de Skikda
Examineur	Mr. ABDELMADJID Sadek	M.C.A	Université de S/Ahras
Invité	Mr. BENBELKACEM Abdelkader	M.R	INRAA, Constantine

Année universitaire : 2014 / 2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents, mes frères, mes sœurs et à tous mes amis.

Remerciements

Au moment de présenter ce modeste travail, nous tenons à assurer tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, parfois très discrètement, ont prêté leur concours à son élaboration, que nous leur savons sincèrement gré de leur amabilité.

- *Tout d'abord, je tiens à témoigner ma gratitude à monsieur le Professeur TAHAR ALI qui a dirigé ce travail et qui m'a consacré un temps précieux malgré ses nombreuses charges pédagogiques, scientifiques et administratives*
- *Je remercie Mr BenBelkacem Abdelkader maître de recherche A à l'INRAA, Constantine qui m'a consacré un temps précieux durant toute la période de ce travail.*
- *Je remercie également Mr BRINIS Louhichi professeur à l'université d'Annaba de bien vouloir accepter de présider le jury.*
- *Mes vifs remerciements sont adressés à Mr Boutebba Aïssa professeur à l'université d'Annaba, Mr SOLTANE Mahmoud professeur à l'université d'El-Taref, Mr ABDELMADJID Sadek M.C.A à l'université de S/Ahras, et Mr MEZEDJRI Lyamine M.C.A à l'université de Skikda de bien vouloir juger ce travail.*
- *Je remercie, plus particulièrement, Mr Robert-Prince Mukobo Mundende professeur à l'Université de Lubumbashi, D.R. Congo pour m'avoir aidé dans la rédaction de cette thèse et pour m'avoir accordé beaucoup de son temps.*
- *Je témoigne ma gratitude et mes remerciements à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation universitaire et post-universitaire.*
- *Je ne saurai oublier de remercier beaucoup les responsables de l'I.T.G.C. d'Alger qui ont bien voulu manifester des dispositions certaines à aider à la recherche scientifique en me permettant d'étudier les données constituant l'objet de ma thèse de Doctorat.*
- *Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance à toutes les personnes, parents et amis, qui m'ont aidée d'un sourire, d'une critique, d'un encouragement ou d'un service, sans oublier mes parents pour tous les sacrifices consentis.*

Que chacun trouve ici le cordial merci qui lui revient !

Mademoiselle DERBAL Nora

Résumé

Le blé dur, culture emblématique de la zone méditerranéenne, est transformé principalement en semoule et en pâtes alimentaires. En Algérie, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques agricoles traditionnelles, incapable d'amortir les irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre. Cependant les exigences en termes de qualité technologique du grain de blé sont parfois difficiles à concilier avec les contraintes des producteurs. Ainsi, par exemple les forts taux de mitadinage et de moucheture, enregistrés en zone traditionnelle de culture du blé dur, entraînent des réfections importantes. Le niveau d'héritabilité (h^2) de ces critères permet d'attendre, en partie, un progrès par la sélection. Cependant, ils sont aussi fortement dépendants de l'environnement.

C'est ainsi que dans le cadre de l'amélioration du système d'adaptation variétale du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie et la classification du territoire en zones agro écologiques homogènes, un travail a été initié et a permis d'expérimenter un germoplasme de blé dur (composé de variétés locales et introduites) sur les différents sites et durant les campagnes agricoles (2003/2004 et 2004/2005, 2007/2008 et 2010/2011) afin d'étudier en premier lieu la productivité de chaque variété et de les comparer d'une part, entre sites et, d'autres part, dans les sites. En deuxième lieu pour apprécier les qualités technologiques à savoir le poids de 1000 grains, les protéines, le mitadinage et les indices de coloration. Enfin, étudier l'impact du milieu sur l'expression finale des caractères par l'étude de l'interaction Génotype x Environnement.

Les résultats obtenus dans ce travail ont permis de confirmer que durant toutes les années agricoles étudiées, les caractéristiques technologiques sont dépendantes des facteurs agro-climatiques (pluviométrie, température, et la nature du sol dans chaque site), et que les variétés locales présentent toujours de bonnes qualités technologiques. Les nouvelles lignées ont présenté des bons résultats pour certaines caractéristiques mais ces caractéristiques varient en fonction des sites et, ce ne sont pas toujours les mêmes variétés qui sont les plus performantes sur chaque site.

Les résultats obtenus ont aussi montré que les rendements élevés n'indiquent pas toujours une bonne qualité comme c'est le cas pour la variété Waha qui donne des grains bonne qualité mais, a toujours un rendement bas. Par contre d'autres variétés et lignées qui ont présenté un rendement en grain qui dépasse 40q/h, n'ont pas de bonnes caractéristiques technologiques. Dans la plupart des cas, ces rendements élevés sont associés à des taux de mitadinage et de moucheture élevés. Ainsi, les agriculteurs et les chercheurs devraient orienter leurs efforts vers la

sélection des variétés ou des lignées en tenant à la fois compte de la qualité et du rendement en grains pour pouvoir améliorer à la fois la production de blé en Algérie et la qualité des produits à base de cette culture.

Mots clés : Blé dur, Adaptation, Qualité technologique, Protéines.

Abstract

Durum, emblematic culture of the Mediterranean area, is transformed mainly into semolina and pasta. In Algeria, a large part of grain production is subject to traditional farming practices, unable to absorb climate irregularities, which lead to considerable variation in yields from one year to another. However, the requirements in terms of technological quality of wheat grain are sometimes difficult to reconcile with the constraints of the producers. Thus, for example the high rates of yellow berry and black point, registered in traditional area of durum wheat production, result in significant value reductions. The heritability levels (h^2) of these criteria allow to partly reach an advance in the selection process. However, they are also highly dependent on the environment.

Thus, in the context of improving the system of varietal adaptation of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in Algeria and the region classification into homogeneous agro-ecological zones, a study was initiated with the aim to experiment a durum wheat germplasm (composed of local and introduced varieties) in different sites and during different cropping seasons (2003/2004 and 2004/2005, 2007/2008 and 2010/2011) to study first, the productivity of each variety and to compare them on one hand, between sites and, in the other hand, in the sites. Secondly, to assess the technological qualities such as the thousand kernel weight, proteins, yellow berry and color indexes. Finally, to study the impact of the environment on the final expression of the characters by studying the genotype x environment interaction.

Results obtained in this study have confirmed that during all the cropping seasons studied, technological parameters are dependent on agro-climatic factors (rainfall, temperature, and soil nature in each site), and local varieties always show good technological qualities. The new lines showed good results for certain parameters but these characteristics vary depending on the site and it is not always the same varieties that are most successful on each site.

The results also showed that the high yields do not always indicate good quality as it is the case for Waha variety which gives good quality grain, but still has low yields. However, other varieties and new lines that presented a grain yield exceeding 40q / h, do not always have good technological quality. In most cases, these high yields are associated with yellow berry and high black point rate. Thus, farmers and researchers should direct their efforts towards the selection of varieties or lines by taking into account both the quality and grain yield in order to improve both wheat production in Algeria and product quality based on this culture.

Key words: Durum wheat, adaptation, technological quality, Protein.

الملخص

القمح الصلب ، وهو من أهم المحاصيل الزراعية في منطقة البحر الأبيض المتوسط، يتم تحويله في المقام الأول إلى السميد والمعكرونة. في الجزائر الجزء الأكبر من إنتاج الحبوب يخضع لممارسات الزراعة التقليدية الغير قادرة على استيعاب تقلبات المناخ، حيث يوجد تباين كبير في العوائد من سنة إلى أخرى. ومع ذلك، فإن المتطلبات من حيث الجودة التكنولوجية لحبوب القمح من الصعب في بعض الأحيان التوفيق بينها وبين القيود المفروضة على المنتجين. على سبيل المثال أعلى معدلات بياض القمح (mitadinage) سجلت في المنطقة الزراعية التقليدية للقمح الصلب، مما أدى إلى انخفاضات كبيرة في الإنتاج. توريث هذه المعايير يسمح بتطوير الاختيار رغم أن ذلك أيضا يعتمد اعتمادا كبيرا على البيئة.

في سياق تحسين نظام تكيف أصناف القمح الصلب في الجزائر ولتصنيف الأراضي إلى مناطق زراعية متجانسة إيكولوجيا، بدأ العمل بالتجربة على الأصول الوراثية للقمح الصلب (المحلية والمستوردة) في مواقع مختلفة وخلال السنوات الزراعية (2003/2004، 2004/2005، 2007/2008 و 2010/2011) لدراسة إنتاجية كل صنف وكذلك للمقارنة أولا بين المواقع و في كل موقع. ثانيا لتقييم الصفات التكنولوجية مثل وزن 1000 حبة، والبروتينات، بياض القمح (mitadinage) واللون. و أخيرا، دراسة تأثير البيئة على هذه الصفات من خلال دراسة التفاعل بين البيئة والعامل الوراثي. النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل تؤكد أنه خلال كل هذه السنوات الزراعية المتعلقة بالدراسة، الصفات التكنولوجية تعتمد على العوامل المناخية (الأمطار ودرجة الحرارة وطبيعة الأتربة في كل موقع)، وأن الأصناف المحلية لا تزال تملك النوعية الجيدة.

أظهرت الخطوط الجديدة نتائج جيدة لبعض الخصائص ولكن في كل موقع ليست هي نفسها و لا الخصائص نفسها. وهذا يلزمنا باختيار الأصناف وفقا للنوعية، لزراعتها في بيئات مناسبة.

يجب على المزارعين اختيار الأصناف أو الخطوط اعتمادا على الجودة وليس فقط على كمية محصول الحبوب، أظهرت النتائج أن المحصول العالي لا يشير إلى النوعية الجيدة، مثل Waha لديها عوائد نوعية جيدة ولكن لا يزال لديها عائد الحبوب منخفضا. بالمقابل الأصناف والخطوط التي قدمت محصول الحبوب يزيد 40 قنطار/ هكتار ، لم يكن لديها النوعية الجيدة و غالبا ما تكون معدلات بياض القمح (mitadinage) والنقط السوداء (moucheture) عالية.

كلمات البحث: القمح القاسي، التكيف، الجودة التكنولوجية، البروتين.

Liste des abréviations

CIMMYT	Centre international d'amélioration du maïs et du blé
ACP	Analyse des composantes principales
ACSAD	Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands
CP	Composantes principales
DA	Dinar algérien
FAO	Food and Agriculture Organization
FEM	Fonds pour l'Environnement Mondial
GLM	Modèle linéaire généralisé
Hum, H	Humidité
ICARDA	International Center for Agriculture Research in the Dry Areas
INRA	Institut national de la recherche agronomique
ITCF	Institut Technologique des Céréales et des Fourrages
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
MITA	Mitadinage
Mouch	Moucheture
ms	Matière sèche
N	Azote
P	Probabilité
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PMG	Poids de milles grains
PROT	protéine
RDT	Rendement
SAU	Surface agricole utile
SDS	Indice de sédimentation (test de Zélény)

Liste des tableaux

<u>Tableau 2.1</u>	Liste des variétés de blé dur expérimentées.....	15
<u>Tableau 2.2</u>	Les principaux caractères des variétés étudiées.....	15
<u>Tableau 2.3</u>	Effet de variété, site, la saison de culture et leurs interactions sur les grains de blé dur (% des carrés moyens).....	21
<u>Tableau 2.4</u>	Les données moyennes des différents paramètres pour l'ensemble des variétés par site, par campagne agricole et pour l'ensemble des sites durant les deux années de culture.....	21
<u>Tableau 2.5</u>	Les corrélations des différents paramètres de qualité de 21 variétés de blé dur avec les précipitations.....	21
<u>Tableau 3.1</u>	Liste des variétés et des lignées cultivées durant la campagne agricole 2007/2008 au niveau des cinq stations d'étude	28
<u>Tableau 3.2</u>	Effet site et génotype sur la qualité des cultivars de blé dur cultivés dans les cinq stations et durant la campagne agricole 2007/2008 : résultat d'ANOVA (pourcentage des carrés moyennes).....	48
<u>Tableau 4.1</u>	Résultats de l'Anova de la comparaison entre les variétés par site et par paramètre.....	58
<u>Tableau 4.2</u>	résultats de l'Anova de la comparaison entre sites par variété et par paramètre....	59
<u>Tableau 4.3</u>	Résultats de la comparaison entre les sites par variété et par paramètre et les groupes homogènes (génotype / environnement) : ANOVA et Tukey.....	59
<u>Tableau 4.4</u>	Effet de variété, sites et leurs interactions (% des carrés moyens) sur les grains de blé dur	60
<u>Tableau A.1</u>	Valeurs des moyennes de la masse de milles grains pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	78
<u>Tableau A.2</u>	Valeurs des moyennes du taux de mitadinage pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	79
<u>Tableau A.3</u>	Valeurs des moyennes du taux de moucheture pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	80
<u>Tableau A.4</u>	Valeurs des moyennes de l'indice de jaune pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	81
<u>Tableau A.5</u>	Valeurs des moyennes de l'indice de brun pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	82
<u>Tableau A.6</u>	Tableau A.7 Valeurs des moyennes de l'indice SDS pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	83
<u>Tableau A.7</u>	Tableau A.7 Valeurs des moyennes d'humidité pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	84

Liste des figures

<u>Figure 2.1</u>	ACP de différentes variétés de blé dur et les paramètres de qualité pour les 2 saisons agricoles dans les 3 sites différents.....	22
<u>Figure 3.1</u>	Valeurs moyennes de la masse de milles grains pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	32
<u>Figure 3.2</u>	Valeurs moyennes de taux de mitadinage pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	36
<u>Figure 3.3</u>	Valeurs moyennes du taux de moucheture pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008.....	40
<u>Figure 3.4</u>	Valeurs moyennes de l'indice de jaune pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	45
<u>Figure 3.5</u>	Valeurs moyennes de l'indice de brun pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008.....	46
<u>Figure 3.6</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour l'ensemble des sites	49
<u>Figure 4.1</u>	la pluviométrie dans les trois sites durant la campagne agricole 2010/2011.....	57
<u>Figure 4.2</u>	la température mensuelle dans les trois sites durant la campagne agricole 2010/2011.....	57
<u>Figure A.1</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour le site de Oued Smar.....	85
<u>Figure A.2</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour le site de Tiaret	85
<u>Figure A.3</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour le site de Guelma.....	86
<u>Figure A.4</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour le site de Sétif.....	86
<u>Figure A.5</u>	Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour le site d'El-Khroub.....	87

Table des matières

Dédicaces	ii
Remerciements.....	iii
Résumé	iv
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Présentation du climat en Algérie	6
1.1 Introduction	7
1.2 Les différents types de climat au niveau du territoire algérien.....	8
1.2.1 Le climat méditerranéen	8
1.2.2 Le climat semi-aride	8
1.2.3 Le climat désertique	8
1.3 La classification bioclimatique	8
1.4 Les différents types de sols.....	9
Chapitre 2 : Evaluation des données de deux campagnes agricoles 2003/2004 et 2004/2005	10
2.1 Introduction	11
2.2 Matériels et méthode	12
2.2.1 Régions d'étude.....	12
2.2.2 Le matériel végétal.....	14
2.2.3 Présentation du laboratoire d'analyses.....	17
2.2.4 Paramètres étudiés.....	17
2.2.5 Méthodes d'analyse statistique	18
2.3 Résultats et discussions	19
2.3.1 Effet de site et de saison de culture sur la qualité des variétés de blé dur.....	19
2.3.2 Analyse des Composantes Principales	22
2.4 Conclusion.....	23
Chapitre 3 : Evaluation de la campagne agricole 2007/2008.....	24
3.1 Introduction	25
3.2 Matériels et méthode	26
3.2.1 Région d'étude	26
3.2.2 Matériel végétal.....	27
3.2.3 Paramètres étudiés.....	28

3.2.4 Méthodes statistiques.....	29
3.3.1 Evaluation de la qualité des cultivars (analyse descriptive)	31
3.3.2 Effet du site et du génotype sur la qualité de blé dur : Résultats de l'ANOVA....	47
3.3.3 Résultats de l'Analyse hiérarchique.....	49
3.4 Conclusion et perspectives	50
Chapitre 4 : Evaluation des données de la campagne agricole 2010/2011.....	52
4.1 Introduction	53
4.2 Matériel et méthodes	54
4.2.1 Description des sites.....	54
4.2.2 Matériel.....	54
4.2.3 Paramètres analysés	54
4.2.4 Méthodes statistiques.....	55
4.3 Résultats et discussion.....	56
4.3.1 L'analyse des conditions climatiques	56
4.3.2 L'analyse de variance par site	57
4.3.3 Analyse des génotypes	58
4.3.4 Analyse de l'interaction Génotype x Environnement.....	60
4.4 Discussion	61
4.5 Conclusion.....	61
Conclusion générale	63
Références bibliographiques.....	67

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie, comme la plupart des pays d'Afrique du Nord, est parmi les pays les plus grands consommateurs de blé dur au monde, avec un taux de consommation d'environ de 216 kg par habitant et par an. Cependant, bien que la culture de blé dur occupe près de 65% de la surface céréalière du pays, sa production ne couvre que 28% des besoins de pays (Annicchiarico *et al.*, 2006; Weigand, 2011). Depuis son indépendance, la production algérienne est très instable et oscille entre 10 et 45 millions de quintaux à cause des changements continus du statut des terres agricoles, à leur gestion aléatoire et surtout, au manque de maîtrise des techniques de production par les paysans (Hazmoune, 2000). En outre, les effets de plus en plus marqués de la sécheresse contribuent à accentuer le déficit de cette production par rapport aux besoins du pays.

Les produits céréaliers en Algérie représentent plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires. Les produits céréaliers occupent le premier rang (39,22 %) devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%) (Chehat, 2007). En 2012 la production algérienne était de 3.432.231 tonnes (FAO 2012).

En 2013/2014 l'importation est de 6200×10^3 tonnes (Djermoun, 2009). En fait, le blé dur est un élément important dans le régime alimentaire du peuple algérien (Winget et Chalbi, 2004). Il est principalement utilisé sous forme de galettes, pâtes, couscous et frik. Il est également utilisé pour produire les différents types de gâteaux traditionnels (Djermoun, 2009; Abecassis *et al.*, 2013; Kezih *et al.*, 2014).

La valorisation des prix à la production au cours de la campagne écoulee (juin 2008), avec l'élévation des prix de blé dur à 4500 DA/q et le prix de blé tendre à 3500 DA/q pourrait mieux inciter les agriculteurs à fournir davantage d'efforts en matière d'augmentation de la production locale et de contribuer à l'amélioration du taux d'autosuffisance pour ces produits stratégiques. Néanmoins, le secteur céréalier suscite une intention particulière et une importance considérable en matière d'investissement, de vulgarisation, d'amélioration génétique et toutes autres actions susceptibles d'améliorer la productivité. Une stratégie claire s'impose avec acuité en vue de relever ce défi (Djermoun, 2009).

Dans les pays méditerranéens, la qualité du grain de blé dur est l'un des objectifs de sélection les plus importants pour l'amélioration des variétés, vu la demande de plus en plus accrue des consommateurs pour des produits finis de haute qualité. Les performances des

différentes variétés en termes de qualité dépendent fortement des conditions environnementales qui se traduisent par une expression différente des caractéristiques qualitatives du grain en fonction des sites de production. En effet, la teneur en protéines du grain qui est la caractéristique la plus importante pour le blé dur, est influencée par des paramètres climatiques, le cultivar, la fertilisation azotée, le moment d'application de l'azote, de l'azote résiduel dans le sol et des quantités d'eau disponibles pendant la phase de remplissage du grain (Campbell *et al.*, 1981 ; Rao *et al.*, 1993 ; Uhlen *et al.*, 1998 ; Rharrabti *et al.*, 2001a).

Plusieurs études sur les quantités et les moments d'application de l'azote ont été publiées, généralement dans le contexte d'une production intensive du blé, le rendement en grain étant le principal objectif. Les quantités d'azote et les moments d'application sont des facteurs décisifs pour l'obtention de hauts rendements, accroître le taux de protéine et améliorer les indices de qualité (Borghini *et al.*, 1997; Lopez-Bellido *et al.*, 1998). La plus grande influence de la fertilisation azotée sur la qualité du grain est obtenue à travers ses effets sur la concentration en protéine du grain (Gooding et Davies, 1997). La fertilisation azotée contribue significativement à accroître le taux de protéines, spécialement quand l'azote satisfait les besoins à la fois du rendement et de la formation des protéines (Jonhson et Mattern, 1987).

Les recherches de Geleto *et al.* (1995 et 1996) ont montré que le moment d'application et le fractionnement de la fertilisation azotée peuvent avoir des effets bénéfiques sur la qualité du blé dur sur des vertisols. Par contre Alcoz *et al.* (1993) ont rapporté que les études sur les applications fractionnées chez le blé ont des résultats peu fiables; que cela devait être des idées préconçues lorsqu'on voudrait améliorer l'absorption azotée des plantes.

La concentration en protéine des grains est effectivement plus accrue quand l'engrais azoté est appliqué tardivement plutôt que précocement dans la saison (Ottman *et al.*, 2000). Sowers *et al.* (1994) rapportent que les applications de printemps augmentent plus la concentration en protéine des grains que le rendement; elles permettent de réduire les quantités globales d'azote, et limitent les pertes d'azote dans le système sol plante (Ayoub *et al.*, 1994). L'effet de la fertilisation azotée sur les protéines du grain dépend également du cultivar semé, à cause des différentes utilisations de l'azote du sol, spécialement pendant l'élongation des tiges (Deleens *et al.*, 1994). Grant *et al.* (2001) suggèrent que les différences entre les sources d'engrais sont moins évidentes avec la fertilisation azotée de printemps.

Les applications foliaires de solutions d'urée semblent un peu plus efficace pour l'accroissement du taux de protéine des grains de blé lorsqu'elles sont appliquées à la floraison (Terman *et al.*, 1969). Les quantités typiques d'azote apportées comme urée foliaire en fin de saison varient entre 30 et 50 kg Nha-1 (Gooding et Davies, 1997).

Le poids de mille grains est aussi déterminé par les conditions climatiques et particulièrement les hautes températures lors du remplissage du grain. Ces hautes températures assèchent les grains formés qui ne vont pas se remplir suffisamment ou pas du tout atteignant le seuil de l'échaudage.

La vitrosité qui est le reflet d'un grain non mitadiné et bien formé, est aussi très affecté par l'azote et la disponibilité en eau. D'un autre coté, en milieu humide ce taux de vitrosité du grain est réduit et donc le taux de mitadinage est plus grand. Le taux de Moucheture est aussi élevé dans ces même conditions (Robinson *et al.*, 1979).

Les environnements à forte transpiration peuvent également influencer sur la teneur en cendres (Araus *et al.*, 1998).

La force du gluten évaluée par le test SDS peut aussi être réduite en cas de sécheresse et chaleur intense en fin de cycle (Blumenthal *et al.*, 1991; Graybosh *et al.*, 1995 ; Rharrabti *et al.*, 2003).

L'aspect visuel tient compte de la couleur de la pâte, qui est due à la combinaison de deux composantes : les couleurs jaune et brune. La couleur jaune est une fonction de la teneur en caroténoïdes et de l'activité d'enzymes lyxogénases, tandis que la couleur brune est attribuée à la peroxydase et à la polyphénoxydase.

De nombreux chercheurs ont axé leurs travaux notamment sur la sélection des variétés adaptées aux régions à fortes contraintes hydriques, sécheresse, haute température, maladies cryptogamiques liées à une forte hygrométrie (Ait kaki, 1993) soit par une amélioration génétique qui reste sans doute le moyen le plus efficace, soit par une méthode approfondie des différents mécanismes d'adaptation (Hazmoune , 2000).

Le succès de la production de céréales dépend en grande partie, du choix de la variété appropriée. C'est-à-dire résistante aux maladies, bien adaptée au sol au climat, ayant un rendement élevé et une qualité du grain appréciable.

Dans ce but les agriculteurs doivent décrire les différents caractères des variétés déjà produites, en cours de production et celles nouvellement inscrites (Boufenar et Zaghouan., 2006)

Dans les principales stations de recherche algérienne, l'amélioration variétale des céréales a connu depuis longtemps une attention particulière. L'objectif d'amélioration fixé est une combinaison entre le potentiel de production, l'adaptation aux différentes zones agro-écologiques, la tolérance aux principales maladies, la hauteur de paille moyenne et une bonne qualité technologique. Le matériel génétique utilisé de base est issu des centres internationaux de recherche tels que ICARDA, CIMMYT, ACSAD ou de la coopération bilatérale avec différents pays. Cette coopération a permis de sélectionner un matériel végétal performant et adapté aux conditions agro-écologiques locales (Boufenar et Zaghouan., 2006)

D'une manière générale, le choix d'une variété est lié à ses caractéristiques intrinsèques. Les agriculteurs se servent pour cela des capacités d'adaptation des variétés mais surtout des performances de ces dernières dans l'environnement où ils veulent les produire. En effet, en plus de la qualité technologique, le choix des variétés appropriées doit être raisonné en fonction des zones d'adaptation et des contraintes climatiques de chacune de ces zones :

- En zone semi-aride, l'eau est le principal facteur limitant la production. Dans ces conditions, le déficit hydrique intervient à différents moments du cycle, mais le plus souvent après l'épiaison. Les variétés ayant un cycle plus court échappent à la sécheresse de fin de cycle et produisent du grain même en année où les pluies hivernales sont insuffisantes.
- En zone potentielle (pluviométrie est plus de 450mm), les variétés à haut potentiel ayant une longueur de cycle intermédiaire et résistantes aux maladies et à la verse sont les plus recommandées.
- En zone irriguée, on s'orientera vers des variétés à haut potentiel de rendement et résistantes aux maladies (Boufenar et Zaghouan., 2006).

En 2006, le nombre de variétés de blé dur homologuées, inscrites sur la liste officielle et autorisées à la production et à la multiplication s'élevait à 32 variétés. Durant cette période, 12 variétés étaient en production dans le programme semences de l'ITGC. Les variétés Vitron et Waha étaient les plus demandées sur le marché des semences. En effet, 65% de la superficie totale était occupée par ces deux variétés. Par ailleurs, deux autres variétés (Chen's et Gta dur) avaient progressé pour atteindre un niveau d'occupation respectivement de 7% et 12% de la sole de blé dur (Boufenar *et al.*, 2006).

De nombreuses études ont été menées sur le blé dur visant à évaluer les effets de génotype, de l'environnement et leur interaction dans un environnement méditerranéen (Rharrabti *et al.*, 2003;

Villegas *et al.*,2010; Diacono *et al.*,2012), mais peu d'études ont été faites pour comparer les performances des génotypes en fonction des régimes hydriques dans les différents sites de l'Algérie. Les informations issues de ce genre d'études peuvent améliorer la décision à prendre quant à l'association des variétés aux sites spécifiques où elles peuvent exprimer leur plus grand potentiel en termes de qualité technologique.

Ainsi, les objectifs de cette étude sont :

- De comparer la variabilité spatiale et temporelle des différentes variétés de blé dur cultivées dans six sites différents de l'Algérie
- D'étudier l'influence des paramètres climatiques sur l'expression des différentes caractéristiques de qualité des grains
- D'étudier les relations entre les traits de qualité
- De rechercher les combinaisons qui expliquent le mieux l'expression des paramètres technologiques
- De proposer aux agriculteurs des critères de choix des variétés basés sur des combinaisons tenant compte des paramètres technologiques et des facteurs environnementaux pour chaque site.

Chapitre 1 : Présentation du climat en Algérie

1.1 Introduction

La production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques, malgré les efforts déployés en matière de développement de la céréaliculture, entre autres l'introduction de nouveaux facteurs de production et la tentative de mise en place d'une agriculture technique. En effet, l'influence des facteurs agro-climatiques se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la Surface Agricole Utile, de la production et de la qualité des rendements. Ces fluctuations se répercutent sur les importations, sur les finances de l'Etat, sur le revenu et les dépenses des agriculteurs (Djermoun, 2009). Les terres utilisées par le secteur agricole occupaient 40 millions d'hectares en 2000. Huit millions d'hectares représentaient la surface agricole utile (SAU) qui se répartissaient en terres labourables (93% de la SAU) et en cultures pérennes (7% de la SAU). Sur plus de 75% de la SAU, la pluviométrie a été et reste encore une contrainte importante pour le développement des cultures (FAO, 2003).

La production du blé dur, comme celle de la plupart des cultures produites en Algérie, est aussi sujette à une variabilité temporelle. Les rendements des agriculteurs ont beaucoup variés de 2000 à 2005 et, cette variabilité peut aussi être associée aux surfaces utilisées pour produire du blé dur (Aitkaki, 2008). En outre, les conditions édapho-climatiques permettent de subdiviser l'Algérie en grandes régions écologiques qui sont fonction essentiellement de la quantité des précipitations. Ces dernières diminuent du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest. Ainsi, au Nord se trouve la zone de culture qui comprend le littoral, les plaines sublittoral, les plaines intérieures et les hautes plaines ; au Centre se trouve la zone steppique ; au Sud se trouve le Sahara avec ses oasis (FAO, 2003).

L'Algérie est située dans la zone de transition entre les régimes tempérés et subtropicaux et présente ainsi une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles (FEM/PNUD). Le pays est soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude et se compose de différents climats très variés selon les régions. On y trouve notamment des climats chauds et secs dans le Sahara mais aussi un climat plus doux, de type méditerranéen extra tropical tempéré au Nord (Nedjraoui, 2003 ; FAO, 2005).

1.2 Les différents types de climat au niveau du territoire algérien

1.2.1 Le climat méditerranéen

Au Nord du pays se trouve un climat de type méditerranéen qui va du littoral à l'Atlas tellien. Les étés sont chauds et secs alors que les hivers sont doux et secs. Les précipitations y sont élevées et peuvent aller jusqu'à 1500 mm dans certaines localités du Nord. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9°C tandis que la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité de 28 à 31°C (Nedjraoui, 2003).

1.2.2 Le climat semi-aride

Au centre du pays, sur les hauts plateaux, règne un climat semi-aride. Les pluies annuelles s'élèvent entre 100 et 400 mm à l'année et, se concentrent en hiver. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre -2 et 4°C alors que la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie de 33 à 38°C dans les Hautes plaines steppiques (Nedjraoui, 2003).

1.2.3 Le climat désertique

Dans le désert du Sahara, le climat est chaud et sec. Les pluies annuelles sont nulles et/ou généralement inférieures à 25 mm. Les températures du jour sont extrêmement hautes (40°C), contrairement aux températures nocturnes très différentes (moins de 5°C) (Nedjraoui, 2003).

1.3 La classification bioclimatique

La classification bioclimatique d'Emberger permet de distinguer 6 étages du bioclimat en Algérie, depuis le per humide au Nord jusqu'au per aride au Sud. Les différents étages du bioclimat sont subdivisés en variantes sur la base des seuils thermiques de la température du mois le plus froid (m). Les variantes intéressantes pour la production végétale sont les suivantes (FAO, 2005) :

- Hiver froid, à gelées durant de longues périodes, $-3^{\circ}\text{C} < m < 0^{\circ}\text{C}$;
- Hiver frais, à gelées très fréquentes, $0^{\circ}\text{C} < m < 3^{\circ}\text{C}$;
- Hiver tempéré, à gelées fréquentes, $3^{\circ}\text{C} < m < 5^{\circ}\text{C}$;
- Hiver doux, à gelées rares, $5^{\circ}\text{C} < m < 7^{\circ}\text{C}$;
- Hiver chaud, à gelées absentes, $7^{\circ}\text{C} < m < 10^{\circ}\text{C}$.

1.4 Les différents types de sols

La répartition des sols présente une zonation qui reflète celle du climat. Cependant, elle est largement modifiée par l'influence de la nature des roches mères, du relief, de l'eau, de la végétation, ainsi que des facteurs biotiques et anthropogènes. On rencontre différents types de sols (FAO, 2005) :

- Sols bruns lessivés et sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub-humides (luvisols, calcisols)
- Sols châtaîns et bruns iso-humiques, souvent avec des accumulations calcaires en profondeur, dans les bioclimats semi-arides et arides (kastanozems, calcisols).
- Sols gris subdésertiques, minéraux bruts d'érosion ou d'apport, ainsi que des sols salins aux bioclimats arides et désertiques (régosols, solonchaks).

**Chapitre 2 : Evaluation des données de deux
campagnes agricoles 2003/2004 et
2004/2005**

2.1 Introduction

Dans le cadre, d'une part, de l'amélioration du système variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf) en Algérie et, d'autre part, de la classification du territoire en zones agro-écologiques homogènes, ce travail a été initié et a permis d'expérimenter 21 variétés de blé dur locales et introduites sur trois sites (El-Khroub, Oued Smar et Sidi Bel-Abbes) et durant deux années consécutives (2003/2004 et 2004/2005).

Ce travail vise en premier lieu à étudier la productivité de chaque variété afin de la comparer, d'une part, dans les différents sites et, d'autre part, entre les trois sites sélectionnés pour les besoins de notre étude, et en deuxième lieu à apprécier la stabilité spatio-temporelle des qualités technologiques à savoir le poids de mille grains, les protéines, le mitadinage et les indices de coloration.

2.2 Matériels et méthode

2.2.1 Régions d'étude

Les 21 géotypes de blé dur (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum* Desf.) de notre étude sont cultivés durant les deux campagnes agricoles 2003-2004 et 2004-2005 dans les Instituts Technologiques des Grandes cultures (ITGC) de trois sites différents de la partie nord de l'Algérie: Sidi Bel-Abbès dans le nord-ouest, Oued Smar dans le nord milieu et El-Khroub dans le nord-est.

Les stations ont été sélectionnées sur la base des différentes zones agro-écologiques d'Algérie à savoir le Littoral - Sub littoral, les Hautes Plaines et les Hauts Plateaux pour mieux étudier la réaction des paramètres de qualité sur les différentes variétés testées dans les différents sites. La description de ces différentes stations est donnée dans les paragraphes suivants :

- Le site d'Oued Smar El-Harrach (Alger)

La station expérimentale de l'ITGC d'Oued Smar est située dans la wilaya d'Alger et étend sa zone d'action sur les wilayas suivantes : Tipaza, Alger, Boumerdès, Blida et Tizi-Ouzou. Elle appartient, selon la classification d'Emberger , à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver doux et pluvieux et à été chaud et sec. Les coordonnées géographiques de la station sont:

- Altitude moyenne de 24m ;
- Latitude : 36.7 N ;
- Longitude : 30°84.

Ce site se caractérise par des sols de texture argilo-limoneuse, un pH de l'ordre de 7 à 7.8. Un taux de calcaire nul, une faible teneur en matière organique et riche en azote. Concernant le phosphore et la potasse, leurs teneurs sont très faibles, ce qui nécessite une correction (ITGC, 2006).

La pluviométrie annuelle moyenne est de 672 mm, le mois le plus froid est janvier et le mois le plus chaud est août. La saison se divise en deux périodes, une période humide et froide qui va d'octobre à avril et une période sèche et chaude allant de mai à septembre.

La zone connaît peu d'accidents climatiques. Elle est directement exposée à l'influence maritime qui se traduit par un taux d'humidité de l'air ambiant élevé et un risque nul pour le gel et elle est protégée des vents chauds, venant du sud, par l'Atlas blidéen.

- **Le site d'El Khroub (Constantine)**

Le site expérimental de l'ITGC d'El-Khroub est situé à une quinzaine de kilomètres au Sud-est de la ville de Constantine et a une zone d'action qui s'étend sur les wilayas de Constantine, Oum-El-Bouaghi, Khenchela, Tébessa et Mila. Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude moyenne de 713 m ;
- Latitude : 36.6 N ;
- Longitude : 6.6 E.

D'après les analyses physiques du sol, il ressort que la zone d'El- Khroub est caractérisée par un sol brun à la surface et brun-ocre en profondeur, de texture argileuse à argilo-limoneuse, le taux d'argile varie de 30 à 39%, ces sols ont une caractéristique spécifique : forte rétention en eau, apparition en période sèche des fissures de retrait. Les caractéristiques chimiques indiquent que le sol est basique avec un pH alcalin (8.30-8.40) et moyennement riche en calcaire dont la teneur est de 12%. La teneur en matière organique est faible (0.95-1.25 %). Pour les profondeurs du sol analysées, la teneur en azote dépasse 0.05%, les teneurs en P_2O_5 et K_2O sont très faibles, ce qui nécessite une correction.

La zone d'El-Khroub est caractérisée par un climat continental semi-aride à hiver froid et à été chaud et sec avec une pluviométrie annuelle de 478 mm. Ce site est caractérisé par des terres vallonnées, assez fertiles avec quelques risques de gel tardif et de sécheresse en fin de cycle.

- **Le site de Sidi Bel Abbés**

La station I.T.G.C de Lamtar a été créée le 15 janvier 1985 et officialisée par arrêté Ministériel N° 543 SM du 30 mai 1989 portant création d'une Station de Recherche et d'Expérimentation sise à Lamtar Wilaya de Sidi Bel-Abbes.

La station se situe dans la partie Sud Ouest de la plaine de Sidi Bel-Abbes à 25 Km Ouest du chef lieu de la wilaya. Elle couvre une superficie totale de 10 ha 94 ares dont 10 ha de S.A.U.

La station de Lamtar fait partie de l'agro-système des plaines de Sidi Bel Abbes. Elle est caractérisée par des sols alluviaux peu profonds de structure grumeleuse et de nature limono-argileuse.

Son climat se caractérise par une pluviométrie faible et irrégulière n'excédant que rarement les 400 mm dont 70 % survenant entre l'automne et l'hiver, une insolation élevée (2683 heures / an), une évaporation intense (1730 mm/an), une période gélive critique allant de décembre au mois d'avril, une période sèche assez longue de 5 mois et demi, un régime xérothermique de type thermo-méditerranéen et un régime hydrique caractérisé par un écoulement temporaire de l'eau induisant une irrigation obligatoire des cultures.

2.2.2 Le matériel végétal

Toutes les variétés de blé dur utilisées pour les besoins de cette recherche ont été cultivées dans les fermes expérimentales de l'ITGC pendant les saisons culturales de 2003 à 2005. Les techniques culturales adoptées ont été celles généralement recommandées dans chaque site et les dispositifs sur terrain ont été ceux des blocs complets randomisés. Pour chacun des essais, la quantité de graines utilisée a été de 100 kg/ ha. La dimension des parcelles expérimentales a été de 12 m² (six rangées espacées de 20 cm). Les applications de fertilisant au semis et au stade de tallage ont permis d'atteindre les doses de 46 kg/ ha de P₂O₅ et 46 kg/ ha de N. La période de semis a varié de fin Novembre à mi-décembre et toutes les variétés utilisées ont été récoltées entre mi-juin et début Juillet en fonction du niveau de maturité atteint.

Pour les deux années consécutives 2003/2004 et 2004/2005, l'expérimentation a été réalisée sur des variétés sélectionnées et produites dans les trois stations de production céréalière d'El-Khroub (Constantine), d'Oued Smar (Alger) et de Sidi Bel Abbès. Les tableaux 2.1 et 2.2 montrent la liste de ces variétés ainsi que leur origine et certaines de leur caractéristiques.

Tableau 2.1 Liste des variétés de blé dur expérimentées
(Abdelguerfi et Laouar, 2000 ; Ykhlef et Djekoun, 2000)

Variétés	Symboles	Origine	Lieu de sélection
Bidi 17	V1	Population locale	ITGC/ Guelma 1936
Bidi17/Waha/Bidi 17	V2	Sélection locale	ITGC
Cirta (Hedba/Gd ovz 619)	V3	Sélection locale	ITGC - Khroub
Gloire de Montgolfier (RAHOUIA 80)	V4	Sélection locale (Tiaret 1980)	ITGC
Guemgoum R'Khrem	V5	Sélection locale	ITGC
Hedba 03	V6	Sélection locale	1921
Inrat 69 (SABAOU)	V7	INRA/ Tunisie	Sélection ITGC
Kebir	V8	CIMMYTE/ICARDA	ITGC / Sidi Bel Abbes
Mohamed Ben Bachir	V9	Sélection locale (1931)	Population Ben Bachir
Mexicali (TASSILI)	V10	CIMMYTE	Sélection ITGC
Montpellier (BIBANS)	V11	France (Montpellier, 1965)	ITGC
Oued Zenati	V12	Population locale (Guelma 1936)	ITGC / Guelma
Ofonto (OUARSENIS)	V13	Italie	ITGC / Tiaret
Polonicum (CHOUGRANE)	V14	INRA/France	ITGC/ 1973
Sahel	V15	CIMMYTE	ITGC/ 1977
Simeto (SERSOU)	V16	Italie	ITGC – Tiaret
Tell 76	V17	Sélection locale	ITGC
Vitron (HOGGAR)	V18	Introduite d'Espagne	ITGC/Tiaret
Waha	V19	ICARDA	ITGC/ El Khroub 1976
Ardente	V20	France	ITGC / Sidi Bel Abbes
Duillio	V21	Italie	ITGC

Tableau 2.2 Les principaux caractères des variétés étudiées (Benbelkacem et Kellou, 2000 ; Ykhlef et Djekoun, 2000, Ait Kaki, 2002)

Variétés	Caractéristiques morphologiques	Caractéristiques technologiques	Productivité	Zone d'adaptation	Conseil de culture
Bidi 17	Grain jaune terne, assez gros et peu allongé	Assez résistante à la moucheture et au mitadinage. Qualité semoulière bonne	Moyenne	Littoral et plaines intérieures	Variété Semi-précoce. Semis : mi-nov.
Bidi 17/Waha/Bidi 17	Grain clair ambré	Bonne résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Très productive	Littoral et plaines intérieures	Semis : nov.
Cirta (Hedba/Gd ovz 619)	Grain jaune terne, petit et allongé.	Assez résistante à la moucheture et au mitadin. PMG moyen	Moyenne	Plaines intérieures et Hauts plateaux	Variété semi-précoce
Gloire de Montgolfier (Rahouia)	Grain ambré et vitreux	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Moyenne	Hauts plateaux	Variété tardive. Semis : octobre
Guemgoum R'Khrem	Grain blanc ambré, de forme allongée.	Résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé.	Faible	Hauts plateaux	Variété tardive. Semis : octobre

Hedba 03	Grain jaune clair ambré, allongé	Résistante au mitadinage. Et assez résistante à la moucheture. PMG moyen.	Moyenne	Hauts plateaux, plaines intérieures	Variété tardive. Semis : mi-octobre mi nov.
Inrat 69 (Sabaou) (Mahmoudi 8041 x Kyperounda)	Grain allongé, gros, jaune terne	Résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG : moyen. Qualité semoulière assez bonne.	bonne	Littoral et plaines intérieures	Variété Semi-précoce. Semis : début nov. mi-déc.
Mohamed Ben Bachir	Grain clair ambré et de calibre moyen	Assez résistante à la moucheture et résistante au mitadin. PMG élevé	Bonne productivité	Hauts plateaux	Précoce de type hiver. Semis : mi-octobre mi-nov.
Mexicali (Tassili)	Grain allongé	Légèrement sensible à la moucheture et au mitadinage. PMG : élevé.	Assez Bonne	Hauts plateaux et zones sahariennes	Variété précoce. Semis : mi-nov. à la mi-déc. (hauts plateaux) et en nov. (sahara)
Montpellier (Bibans)	Grain ambré à roux	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage PMG moyen	Moyenne	Littoral, plaines intérieures	Variété semi-tardive Semis : nov.
Oued Zenati (Sélection dans la population locale Bidi 17 T durum leucomelan)	Grain ambré, gros et peu allongé	Assez résistant à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé.	Moyenne	Plaines intérieures	Variété tardive. Semis : nov.
Polonicum (Chougrane)	Grain est jaune terne, gros et allongé.	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Productivité moyenne	Plaines intérieures et hauts plateaux	Semi- tardive de type hiver
Sahel 77 (Cit « S »xPg « S » AA 'S' Ruffx)	Grain blanc, moyen	Assez résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé	Bonne	Littoral, plaines intérieures	Variété précoce. Semis : mi-nov. à la mi-déc.
Simeto (Ouarsenis)	Grain blanc ambré.	Assez sensible à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé	Bonne	Hauts plateaux et plaines intérieures	Semis : nov.
Vitron (Hoggar)	Grain roux, moyen	Légèrement sensible au mitadin et à la moucheture. PMG élevé	Bonne	Hauts plateaux et zones sahariennes	Précoce de type hiver. Semis : nov.
Waha (PLC/Ruff/Gt a « S »/3/Rolette Cm. 17904)	Grain clair ambré à roux, moyen	Bonne résistance à la moucheture et au mitadin. PMG moyen	Bonne productivité	Hauts plateaux et plaines intérieures.	Précoce de type printemps. Semis : de la mi-nov. à la mi-déc.

2.2.3 Présentation du laboratoire d'analyses

Les analyses ont été réalisées dans des laboratoires différents :

- **Laboratoire « Qualité blé dur ».** Institut Technique des Grandes Culture. El Harrach. Alger. L'ITGC dispose de laboratoires d'analyses de qualité et particulièrement ceux d'analyses technologiques des céréales. Le laboratoire assure des analyses fiables pour la détermination de la qualité des céréales (blé dur, blé tendre, orge, triticale) ainsi que des produits qui en découlent (farine, semoule) tout en essayant de relier le rendement à la qualité. Le laboratoire possède une expertise particulière dans le domaine de qualité notamment des blés, il est subdivisé en 03 grandes unités équipées chacune selon la spécialité d'analyse : unité blé dur, unité blé tendre et une boulangerie.

- **Laboratoire de biochimie.** INA El Harrach. Alger.

- **Laboratoire « blé dur »** de l'Unité Mixte de Recherches. Diversité et Génome des Plantes Cultivées INRA. Montpellier. France.

- **Laboratoire de contrôle de la qualité.** JET-LAB. Entreprise LA BELLE. Alger

2.2.4 Paramètres étudiés

Deux séries de paramètres ont été estimés :

a) Paramètres relatifs aux caractéristiques des grains de blé dur

La masse de mille grains, le taux de mitadinage, le taux de protéines et la moucheture sont des tests appliquée sur les grains de blé dur.

b) Paramètres relatifs aux caractéristiques de la semoule de blé dur

L'humidité de la semoule, le taux de cendres, la coloration de la semoule et le taux d'extraction, sont des tests appliquée sur la semoule de blé dur.

a.1) La masse de mille grains (PMG)

C'est la masse de mille grains entiers déterminée par la formule décrite par Godon et Loisel (1984).

a.2) Taux de mitadinage

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent sur les grains de blé, il provoque un changement de texture de l'albumen qui normalement translucide devient, en partie ou en totalité opaque et farineuse (ITCF, 2001).

a.3) Détermination du taux de protéines

La teneur en protéines, par la méthode de Kjeldhal est un critère important d'appréciation de la qualité des semoules (ITCF, 2001 ; Feuillet, 2000).

a.4) La moucheture

La moucheture entraîne en effet une dépréciation de la valeur marchande du blé via la présence de grains noirs dans la semoule et/ou la présence de piqûres sur les produits finis (pâtes ou couscous).

Les grains mouchetés présentent des colorations situées entre brun et le noir (ITCF, 2001).

b.1) Taux de cendres

Le résidu obtenu après incinération à 900°C dans les conditions décrites dans la présente méthode est exprimée en % en masse par rapport à la matière sèche.

b.2) Couleur de la semoule (indice de jaune et indice de brun)

La couleur se caractérise par des composantes : l'indice de jaune et l'indice de brun, dans tous les cas, plus l'indice de jaune est élevé et l'indice de brun est faible, meilleur est le résultat (ITCF ; 2001)

b.3) Humidité de la semoule

Étalonnée par rapport à la méthode fondamentale, la méthode de référence pratique consiste en un étuvage à pression atmosphérique, à une température de 130-133°C, dans des conditions opératoires définies. La perte de la masse observée est équivalente à la quantité d'eau présente dans le produit (ITCF, 2001).

2.2.5 Méthodes d'analyse statistique

Afin d'étudier la performance des paramètres de qualité dans les différents sites, les données de chaque site et de chaque année ont été comparé à l'aide d'une analyse de la variance. L'analyse en composantes principales a été calculé en utilisant la procédure de PRINCOMP, l'analyse des corrélations a été calculés en utilisant la procédure CORR et l'analyse de la variance des blocs aléatoires a été calculée en utilisant un essai de type III dans la procédure de modèle linéaire général (PROC GLM) du logiciel SAS / STAT (SAS Institute Inc, 1997).

2.3 Résultats et discussions

2.3.1 Effet de site et de saison de culture sur la qualité des variétés de blé dur

Les résultats de l'analyse de la variance sont présentés dans le Tableau 2.3 et exprimés en pourcentage des valeurs des carrés moyens afin de mettre en évidence les facteurs qui ont affecté principalement chaque paramètre de qualité étudié.

En ce qui concerne la teneur en protéines, le site et l'interaction site x année ont contribué ensemble à plus de 54% ($p < 0,001$) de la variation totale. Le site de Sidi Bel-Abbès a montré la plus forte teneur en protéines (16,62%), suivi par le site d'El-Khroub et Oued-Smar (16,12 et 15,69% respectivement). Dans des conditions pluviales, l'effet des conditions environnementales sur le rendement en protéines a été rapporté par plusieurs auteurs comme une conséquence de l'évolution des conditions météorologiques pendant le remplissage du grain et de l'accumulation des assimilats de la tige au grain (Garrido-Lestache *et al.*, 2005; Elhani *et al.*, 2007; Bahlouli *et al.*, 2008).

El-Khroub a les meilleurs rendements au cours des deux saisons de croissance étudiés (31,4 et 30,1 q / ha, respectivement) (Tableau 2.3) avec une pluviométrie de reproduction stable de 145,5 et 157,7 mm respectivement. La période de sécheresse à Sidi Bel-Abbès a entraîné une baisse de rendement de 27,3 q / ha en raison de stress hydrique pendant le remplissage des grains (Annichiarico et Mariani, 1995; Monneveux *et al.*, 2006; Villegas *et al.*, 2010; Rizza *et al.*, 2012), les excès d'eau ont également induit une baisse de rendement à Oued Smar, probablement à cause de l'engorgement et de la croissance limitée des cultures qui s'ensuit (López-Bellido et López-Bellido, 2001; Bassu *et al.*, 2009). En raison de la corrélation négative bien connue entre le rendement en grains et la teneur en protéines, la réduction du rendement observé à Sidi Bel-Abbès en raison du stress hydrique a été associée à la plus haute teneur en protéines (Oweis *et al.*, 1999; Rharrabti *et al.*, 2003b; Flagelles *et al.*, 2010; Diacono *et al.*, 2012; Hussain *et al.*, 2012). Les valeurs de poids de Mille grains (PMG) donnent des informations sur le niveau de remplissage des grains du blé et il est généralement déterminé par les caractéristiques génotypiques. En effet, dans notre étude de la variabilité de PMG dépendait des variétés de blé (42,03%, $p < 0,001$) et il se situait entre 44,03g / ms et 66,43g / ms. Bien qu'il y ait diminution du rendement à Sidi Bel-Abbès, le poids de mille grains pour les deux années à ce site est resté aussi élevé que dans El-Khroub pour toutes les variétés (54,44g / ms). Ceci est en opposition des recherches précédentes qui ont montré que le stress hydrique réduit généralement les valeurs de PMG (Rharrabti *et al.*, 2003a; Villegas *et al.*, 2010; Hussain *et al.*, 2012.). Mais il peut résulter une

corrélation inverse entre le poids du grain et le nombre de grains par épi dans un environnement stressé (Garrido-Lestache *et al.*, 2005).

Dans ce site, le haut pourcentage de mitadinage était probablement le résultat de l'absorption réduite d'eau qui a limité l'efficacité de l'utilisation d'azote par les variétés de blé (Oweis *et al.*, 1999;. Akman *et al.*, 2013).

Concernant le mitadinage, l'interaction entre le site et l'année (45,05%, $p < 0,001$) a été le facteur prédominant. Le mitadinage est généralement liée à une faible teneur en protéines (Irani, 2000), mais cela n'explique pas le pourcentage élevé de la moucheture qui devrait avoir lieu dans un environnement plus humide comme dans Oued-Smar ou lorsque on compare les deux saisons de culture avec la plus haute valeur pour 2004/2005 (Desclaux 2000; Irani, 2000; Fernandez et Conner, 2011; Akman *et al.*, 2013). Pour la moucheture, l'effet de l'année représentaient la majorité de la variance observée (41,25%, $p < 0,001$).

En blé dur, les couleurs de la semoule et des pâtes, sont le résultat de deux éléments contrastés: le pigment jaune souhaitable et le pigment brun indésirable (Feillet *et al.*, 2000; Blanco *et al.*, 2011). Bien que d'origine génétique de l'indice de jaune a été signalé précédemment (Blanco *et al.*, 2011). Dans notre étude, l'effet de l'année était prédominante sur la détermination de la variance totale pour ce paramètre (37,48%, $p < 0,001$) ainsi que pour l'indice de brun (64,58%, $p < 0,001$). Rharrabti *et al.* (2003) ont constaté une corrélation négative entre l'indice de jaune et le poids du grain. Les bases biochimiques de pigment brun ne sont pas bien connus, mais nos résultats montrent que les variétés de blé dur avaient l'indice de brun le plus élevé à Sidi Bel-Abbès que dans les deux autres sites et ont donc exprimé leur qualité inférieure pour la semoule (Feillet *et al.*, 2000).

Tableau 2.3 Effet de variété, site, la saison de culture et leurs interactions sur les grains de blé dur
(% des carrés moyens)

RDTs	7,89***	30,17***	17,73***	19,74***	8,97***	6,48***	8,99***
Taux de Protein	27,44***	11,30***	21,93***	27,24***	4,55***	2,26***	5,24***
Taux de cendre	18,78***	0,11ns	5,37***	65,42***	2,99***	3,55***	3,74***
Mitadinage	2,00**	27,00***	8,67***	45,05***	7,50***	5,47***	4,28***
Moucheture	15,04***	41,25***	5,34***	26,72***	3,50***	4,49***	3,62***
Humidité	45,17***	16,98***	12,47***	5,45***	7,19***	5,91***	6,81***
Indice de Brun	12,68***	64,58***	3,54***	9,99***	2,71***	3,93***	2,54***
Indice de jaune	13,91***	37,48***	6,75***	32,47***	2,56***	2,93***	3,87***
PMG	25,35***	7,10***	42,03***	14,42***	6,32***	1,10**	3,65***

* : Significatif au seuil de 5%.

** : Hautement Significatif au seuil de 1%

*** : Très Hautement Significatif au seuil de 1%.

ns : Non Significatif.

Tableau 2.4 Les données moyennes des différents paramètres pour l'ensemble des variétés par site, par campagne agricole et pour l'ensemble des sites durant les deux années de culture

		H%	PMG	C%	Prot	Mit	Mouch	RDTs	IJ	IB	RDT
Site	El khroub	13,44	54,05	0,94	16,12	12,49	0,74	74,36	19,18	8,94	30,8
	Oued Smar	13,26	52,31	0,84	15,69	12,91	0,92	74,59	19,19	8,86	28,95
	Sidi Bel										
	Abbes	12,84	54,44	0,86	16,62	13,65	1,1	74,89	18,69	9,02	28,03
Année	2003/2004	13,07	53,25	0,87	15,97	11,77	0,75	74,915	18,75	9,04	29,38
	2004/2005	13,29	53,94	0,88	16,32	14,26	1,09	74,32	19,29	8,84	29,14
Ensemble des données	\bar{X} var	13,18	53,59	0,88	16,14	13,01	0,92	74,61	19,02	8,94	29,26
	\bar{X} min var	11,19	44,03	0,36	11,36	1,07	0	69,73	16,41	8,03	19,3
	\bar{X} max var	14,65	66,43	1,15	19,91	29,69	2,45	78,58	21,47	9,26	38,4

Tableau 2.5 Les corrélations des différents paramètres de qualité de 21 variétés de blé dur avec les précipitations

Elkhroub	PCC	0,05438	0,04677	0,03858	0,03584	-0,02718	-0,01944	0,01643	-0,01343	-0,00979
	Prob	0,0352	0,0701	0,1353	0,1653	0,2928	0,4518	0,5249	0,6032	0,7047
Sidi BelAbes	PCC	0,00854	0,00735	0,00606	0,00563	-0,00427	-0,00305	0,00258	-0,00211	-0,00154
	Prob	0,7410	0,7762	0,8146	0,8275	0,8688	0,9059	0,9205	0,9349	0,9525
OuedSmar	PCC	-0,00972	-0,00836	-0,00690	-0,00641	0,00486	0,00348	-0,00294	0,00240	0,00175
	Prob	0,7067	0,7462	0,7895	0,8041	0,8508	0,8930	0,9095	0,9260	0,9460

N.B : PCC: Coefficients de Corrélation de Pearson; Prob: Probabilité

2.3.2 Analyse des Composantes Principales

L'analyse de composantes principales a été réalisée comme un outil supplémentaire pour mieux comprendre la relation entre le rendement et tous les paramètres de qualité (Figure 2.1). Les deux premiers axes de CP ont représenté 38% de la variance totale: 25 et 13% pour les deux axes 1 et 2, respectivement. Le premier axe de CP (Dimension 1) a clairement séparé le mitadinage et l'indice de brun dans son sens négatif du rendement et tous les autres paramètres de qualité. Cela pourrait signifier que les variétés ayant des valeurs élevées de mitadinage et d'indice de brun sont moins productives et sont de mauvaise qualité pour la transformation. Pour le deuxième axe de CP (dimension 2), la variation observée est principalement causée par le rendement en semoule et, à une moindre mesure, la teneur en protéines et l'indice de brun. Il suggère que, pour les variétés utilisées dans ces expériences, les taux de mitadinage et de la moucheture sont les principaux facteurs qui réduisent les rendements en semoule.

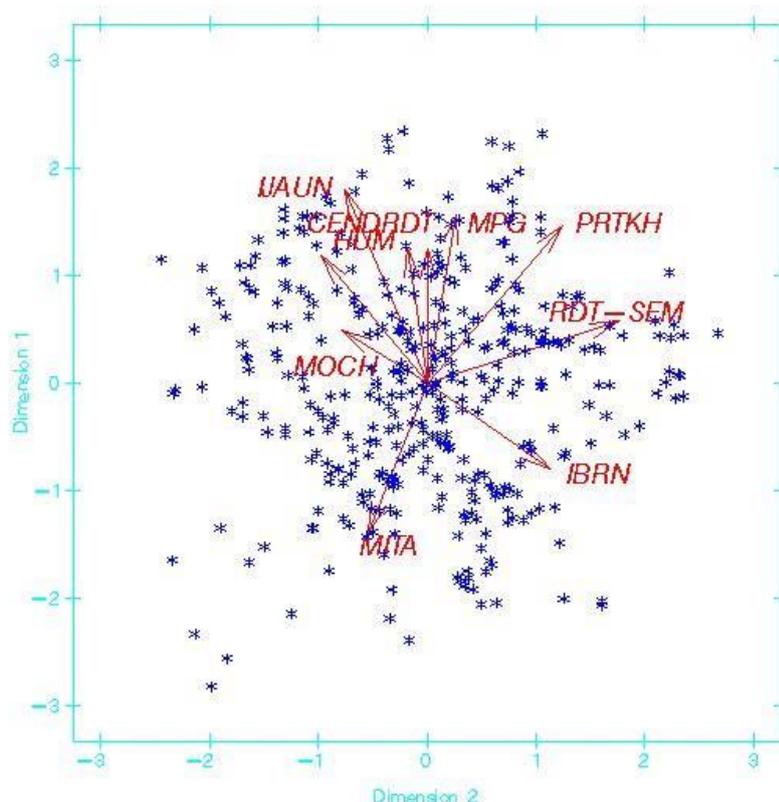


Figure 2.1 ACP de différentes variétés de blé dur et les paramètres de qualité pour les 2 saisons agricoles dans les 3 sites différents.

2.4 Conclusion

Les résultats ont montré qu'il existe une forte influence de la localisation et de la saison de croissance sur tous les paramètres de qualité du grain. Pendant les deux années de culture, l'influence de la quantité des précipitations est apparue par une corrélation faible mais statistiquement significative avec la teneur en protéines et l'indice de jaune seulement à El-Khroub. Les corrélations négatives et non significatives ont été observées avec l'indice de brun, le mitadinage et la moucheture. Lorsque l'on compare les trois sites différents, El-Khroub présente les meilleures conditions pluviales pour la production de grains de blé dur de haute qualité. Par conséquent, il est suggéré de se concentrer sur chaque site en développant des pratiques agronomiques et en sélectionnant les variétés optimales visant à mettre en valeur les meilleurs paramètres de qualité et de produire du blé dur avec des caractéristiques de qualité de haute valeur.

La nature pluviale du système agricole de blé dur en Algérie rend le blé sensible à la variabilité spatiale et climatique. Par conséquent, il est recommandé aux agriculteurs de gérer différemment leurs cultures selon le site où ils se trouvent, en particulier pour le développement des techniques qui améliorent la teneur en protéine et l'indice de jaune de leurs variétés. Nos résultats suggèrent que, bien que des études et des programmes d'amélioration des plantes sont nécessaires pour le développement du matériel génétique amélioré de blé dur en Algérie, il est essentiel de se concentrer sur chaque site et de déterminer les variétés optimales qui expriment les meilleurs paramètres de qualité pour produire du blé dur de haute qualité. Cette recherche est la première partie d'une série de recherches qui couvrent la période 2003-2010 dans le but d'expliquer les effets environnementaux sur la qualité de blé dur en Algérie.

Chapitre 3 : Evaluation de la campagne agricole 2007/2008

3.1 Introduction

La production céréalière se caractérise, en Algérie par des fluctuations qui varient en dents de scie d'une année à l'autre. En plus des techniques culturales non encore entièrement suivies, les principales causes de cette situation restent les fluctuations climatiques (sécheresse, haute température, maladies cryptogamiques,...) (Ait Kaki, 1993). Malgré l'introduction de nouvelles variétés de blé, à « haut rendement », les génotypes locaux (peu productifs) restent les mieux adaptés aux conditions climatiques de nos terres (Ait Kaki, 2008).

Le progrès génétique et l'amélioration des techniques culturales ont permis une augmentation des rendements. Toutefois l'autosuffisance reste difficile à atteindre. Les efforts enregistrés sont contrecarrés par un taux de croissance démographique élevé. Pour faire face à ces besoins sans cesse croissants (Benbelkacem *et al.*, 1995).

La recherche de variétés produisant un rendement élevé en grains peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité, en particulier de mauvais rendements semouliers. Pour cette raison, une attention particulière est prêtée aux valeurs nutritionnelles et technologiques des cultivars obtenus (Benbelkacem *et al.*, 1995).

3.2 Matériels et méthode

3.2.1 Région d'étude

Pendant les saisons de culture 2007/2008, un total de 29 cultivars ont été menés dans cinq zones représentatives de Algérie:

- La station expérimentale de l'ITGC d'Oued Smar est située dans la wilaya d'Alger, elle appartient, selon la classification d'Emberger, à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver doux et pluvieux et à été chaud et sec. Ce site se caractérise par des sols de texture argilo-limoneuse, un pH de l'ordre de 7 à 7,8, un taux de calcaire nul, une faible teneur en matière organique et riche en azote. Concernant le phosphore et la potasse, leurs teneurs sont très faibles, ce qui nécessite une correction (Boufenar et Zaghouan., 2006). La saison se divise en deux périodes, une période humide et froide qui va d'octobre à avril et une période sèche et chaude allant de mai à septembre.

- Le site expérimental de l'ITGC d'El-Khroub est situé à une quinzaine de kilomètres au Sud-est de la ville de Constantine. D'après les analyses physiques du sol, il ressort que la zone d'El- Khroub est caractérisée par un sol brun à la surface et brun-ocre en profondeur, de texture argileuse à argilo-limoneuse, le taux d'argile varie de 30 à 39%, ces sols ont une caractéristique spécifique : forte rétention en eau, apparition en période sèche des fissures de retrait. Les caractéristiques chimiques indiquent que le sol est basique avec un pH alcalin (8,30-8,40) et moyennement riche en calcaire dont la teneur est de 12%. La teneur en matière organique est faible (0,95-1,25 %). Pour les profondeurs du sol analysées, la teneur en azote dépasse 0.05%, les teneurs en P_2O_5 et K_2O sont très faibles. Cette zone est caractérisée par un climat continental semi-aride à hiver froid et à été chaud et sec avec une pluviométrie annuelle de 478 mm. Ce site est caractérisé par des terres vallonnées, assez fertiles avec quelques risques de gel tardif et de sécheresse en fin de cycle.

- La station expérimentale de l'ITGC de Sétif située à 4 Km au sud Est de la ville de Sétif. Les sols des hautes plaines Sétifiennes sont carbonatés dont leur majorité et présentent des individualisations calcaires continues, dures. Celles-ci ne laissent qu'une mince couche de terre, limitant ainsi l'extension des racines (Meslem, 1992). Les caractéristiques pédologiques du site expérimental indiquent que le sol est de type argilo-limoneux selon les horizons, un pH alcalin (pH=8,2). La teneur moyenne en calcaire actif est de 18.4%, la matière organique est acceptable avec une valeur de 2,6% et le phosphore assimilable atteint les 36 ppm. Il est pauvre en azote avec une valeur moyenne de 0,07%. La zone appartient au domaine semi-aride caractérisé par un

climat continental typiquement méditerranéen de type (d) à hivers froids, et sous l'influence de l'atlas tellien (qui limite les précipitations hivernales), de l'atlas saharien et du Sahara (qui sont à l'origine de vents secs et desséchants qui peuvent intervenir dès le printemps), et de l'altitude (qui entraîne des gelées tardives) (Baldy et al., 1993). La saison sèche s'étale sur 4 à 5 mois, de mars à septembre. Cette zone est très exposée aux risques précoces de sirocco ainsi qu'au gel printanier. La pluviométrie annuelle est de 396 mm et présente une grande variabilité interannuelle. La wilaya de Sétif occupe, à l'échelle nationale, le troisième rang sur le plan de la superficie des céréales, après Tiaret et Oum EL-Bouaghi, avec près de 180.000 hectares emblavés chaque année.

- La ferme de démonstration et de production de semences de Guelma est située au centre du chef lieu de la wilaya dans la partie Est du pays, atteignant un point culminant de 250 m. Les sols rencontrés au niveau de la ferme de l'ITGC de Guelma ne sont pas calcaires jusqu'à une profondeur de 70cm où le calcaire se manifeste sous forme diffuse ou sous forme d'un encroûtement. La charge caillouteuse augmente tout en s'approchant de l'Oued Maïz.

- La station expérimentale de Tiaret est située à 45 Km de la ville de Tiaret. La zone de SEBAIN est caractérisée par des sols légèrement dégradés en raison de la topographie légèrement ondulée. Ce sont des sols de profondeur moyenne. Le site est représentatif des hauts plateaux de l'Ouest, le climat de cette région est rigoureux avec une pluviométrie limitée (348 mm) et très irrégulière. La sécheresse printanière, les siroccos précoces sont à craindre à partir de la mi-avril et suivent de très près les gelées tardives. Ces stress sont les principaux facteurs limitant la production céréalière.

3.2.2 Matériel végétal

Pour la campagne agricole 2007/2008 l'expérimentation a été réalisée sur des variétés et des lignées sélectionnées et produites dans les cinq stations de production céréalière. Le tableau 2.1 suivant montre la liste des cultivars de blé dur cultivés au cours de cette campagne agricole.

Tableau 3.1 Liste des variétés et des lignées cultivées durant la campagne agricole 2007/2008 au niveau des cinq stations d'étude

Les noms des cultivars	
Waha	Aghrass-1/3hfn94n-8/..
Hoggar	Radisso/waha
MBB	Stj/dra-2/bcr/ter-3
Gta dur	Beltagy-2
Bousselem	Icasyr-1
Adnan-2	Azeghar-2//ch1/f1 13
Ter-2/3/HFN94-8/Mrb5//Zna-1	Azeghar-1//blrn/mrf-2
Mgln3/aghrrass2	Miki-3
Adnan-1	Azeghar-1/3/mrf2//bcr/..
Ter1//mrf1/stj2	Ter-1/3/stj3//bcr/lks4
Aghrass-1/3/HFN94N-8/Mrb5//Zna-1	Ossl1/stj5/5/bicrederra1/4.
Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru	Ammar-10
Amedakul-1	Ammar-2
Bigost-1	Aghrass-1/3/hfn94n-8/..
Mrf1/stj2//brch1	

3.2.3 Paramètres étudiés

Les données traitées dans notre travail sont des résultats des analyses de qualité réalisées au niveau de deux laboratoires : Laboratoire de biochimie de l'INA El Harrach (Alger) et le laboratoire « Qualité blé dur » de l'Institut Technique des Grandes Culture d'El Harrach (Alger).

Plusieurs paramètres technologiques de qualité ont été déterminés. La masse de mille grains entiers (découvre de grains cassés et d'impuretés) déterminée par Godon et Loisel (1984). Le taux d'extraction en semoule analysé par une méthode basée sur la spectrométrie proche infrarouge permet de prédire le rendement brut en semoule d'un lot de blé destiné à la semoulerie. A partir d'un broyât de grains entiers, une fraction de la mouture est introduite dans un spectrophotomètre infrarouge. La calibration mise en œuvre restitue le rendement brut en semoule, c'est-à-dire le potentiel de production de semoule (Desclaux, 2005).

Le taux d'humidité étalonnée par rapport à la méthode fondamentale, la méthode de référence pratique consiste en un étuvage à pression atmosphérique, à une température de 130-133°C, dans des conditions opératoires définies. La perte de la masse observée est équivalente à la quantité d'eau présente dans le produit (ITCF, 2001).

Les indices de couleur donnent une valeur chiffrée pour caractériser le jaune et la clarté des pâtes fabriquées à partir du blé. La mesure se fait avec un chromamètre qui fournit 3 paramètres : la clarté (L*), l'indice de rouge (a*) et l'indice de jaune (b*).

La moucheture entraîne en effet une dépréciation de la valeur marchande du blé via la présence de grains noirs dans la semoule et/ou la présence de piqûres sur les produits finis (pâtes ou couscous). Les grains mouchetés présentent des colorations situées entre le brun et le noir (ITCF, 2001).

Et enfin L'indice de sédimentation (test de Zélény) qui synthétise à la fois la quantité de protéines présente dans l'échantillon et leur qualité. On utilise la propriété de gonflement des protéines dans un milieu faiblement acide. Plus le poids moléculaire est élevé (protéines de bonne qualité), plus le gonflement est important. Ainsi, le volume d'une suspension de farine dans cette solution acide, au bout d'un temps déterminé de sédimentation, augmentera en conséquence.

3.2.4 Méthodes statistiques

Toute étude statistique peut être décomposée en deux phases au moins : le rassemblement ou la collecte des données, d'une part, et leur analyse ou leur interprétation, d'autre part.

La statistique descriptive a pour but de mesurer et de présenter les données observées d'une manière telle qu'on puisse en prendre connaissance aisément, par exemple sous la forme de tableaux ou de graphiques. Alors que l'inférence statistique permet d'étudier ou de généraliser dans certaines conditions les conclusions ainsi obtenues à l'aide de tests statistiques en prenant certains risques d'erreur qui sont mesurés en utilisant la théorie des probabilités.

Ainsi donc nous présenterons les principales méthodes statistiques univariées et multivariées utilisées pour décrire et analyser les données en question.

3.2.4.1 Description des données

Pour mieux décrire les différentes variables morphométriques, physiologiques et biochimiques qui caractérisent chacun des cultivars de blé dur étudiés, nous avons calculé la moyenne arithmétique (\bar{x}), qui est un paramètre de position et de tendance centrale. Ce paramètre a été calculés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données MINITAB (X, 2000) pour chacune des caractéristiques par cultivar et par site.

3.2.2 L'analyse de la variance (ANOVA)

Le test d'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification consiste à comparer plus de deux moyennes de plusieurs populations à partir des données d'échantillons aléatoires simples et indépendants (Dagnelie, 2006).

La réalisation du test se fait soit en comparant la valeur de F_{obs} avec une valeur théorique $F_{1-\alpha/2}$ extraite à partir de la table F de FISHER pour un niveau de signification $\alpha = 0,05$; 0,01 ou 0,001 et pour K_1 et K_2 degrés de liberté, soit en comparant la valeur de la probabilité p avec toujours les différentes valeurs de $\alpha = 5\%$, 1% ou 0,1 %. Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau $\alpha = 0,05$; 0,01 ou 0,001, on dit conventionnellement que l'écart observé est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques (étoiles) (Dagnelie, 2006).

Ce test a été utilisé:

- pour comparer entre les cultivars de blé dur pour l'ensemble des sites les moyennes de chacune des caractéristiques obtenues.
- pour comparer, entre sites, pour l'ensemble des cultivars de blé dur les moyennes de chacune des caractéristiques étudiées.

3.2.4.3 Méthodes Statistiques Multivariées

- **Recherche de classes de variétés homogènes : Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique**

La recherche de groupes ou de classes de variétés homogènes peut également se faire par ce qu'on appelle la classification hiérarchique.

Plusieurs méthodes sont proposées par Dagnelie (1986) pour atteindre ce but. Cependant, nous n'utiliserons que celle qui est proposée par Bouroche et Saporta (1980) et qui est reprise par Palm (2000) et Dagnelie (1986) et dont l'algorithme est programmé dans le logiciel Minitab (X, 2003).

Cette méthode permet de déterminer le niveau de similitude ou de divergence entre les individus ou variétés et donne une répartition des individus ou cultivars en groupes ou classes homogènes.

C'est une méthode hiérarchique agglomérative qui utilise la procédure du lien simple et la distance carrée de Pearson (X, 2003) pour classifier les 29 cultivars de blé dur en classes aussi homogènes que possibles sur la base des caractéristiques mesurées.

3.3 Résultats et discussion

3.3.1 Evaluation de la qualité des cultivars (analyse descriptive)

3.3.1.1 Evaluation de la masse de milles grains chez l'ensemble des cultivars dans chaque site d'étude

a) La description des données

La figure 2.1 présente les données moyennes des paramètres étudiés de chaque cultivar. Le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes en Algérie) entraîne une diminution du poids de milles grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Zouaoui, 1993 ; Chaker, 2003).

L'analyse de la figure 3.1 nous permet de constater que l'ensemble des cultivars au niveau de la station d'El-Khroub durant la campagne agricole 2007/2008 ont un PMG qui ne dépasse pas 37.65g/ms. Les cultivars : Adnan-2, Ter-2/3/HFN94-8/Mrb5//Zna-1, Mgl3/agharrass2, Adnan-1, Ter1//mrf1/stj2, Aghrass-1/3/HFN94N-8/Mrb5//Zna-1, Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru, Amedakul-1, Bigost-1, Mrf1/stj2//brch1, Aghrass-1/3hfn94n-8/..., Radisso/waha, Stj/dra-2/bcr/ter-3, Beltagy-2, Icasyr-1 et Azeghar-2//ch1/f113 ont le poids de milles grains le plus faible et qui est inférieur à 30g/ms.

Les résultats de la station de Sétif (figure 3.1) montrent que le poids de milles grains le plus élevé a été obtenu chez les cultivars Radisso/waha (42,16g/ms), Bigost-1 (41,95), Azeghar-1/3/mrf2//bcr/..(39,2g/ms), Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru (38,87g/ms) et Mrf1/stj2//brch1 (38,1g/ms). Par contre les cultivars Aghrass-1/3/hfn94n-8/..., Bousselem et Gta Dur affichent les taux les plus bas (<30g/ms). Nous remarquons que les poids en générale sont assez faibles.

Au niveau de la station de Guelma, les rendements obtenus durant la campagne 2007/2008 par l'ensemble des cultivars ont un poids de milles grain varient entre 39,26 et 28,6g/ms. Les cultivars qui présentent le poids le plus élevé sont : Aghrass-1/3hfn94n-8/.. (39,26g/ms), Azeghar-2//ch1/f1 13 (39g/ms), Bigost-1 (38,5g/ms), Mrf1/stj2//brch1 (38,4g/ms) et Oss11/stj5/5/bicrederra1/4. (38,2g/ms). D'autre part les cultivars Amedakul-1 (28,6g/ms), Radisso/waha (30,7g/ms), MBB (32,08g/ms) et Bousselem (32,14g/ms) affichent les poids les plus bas.

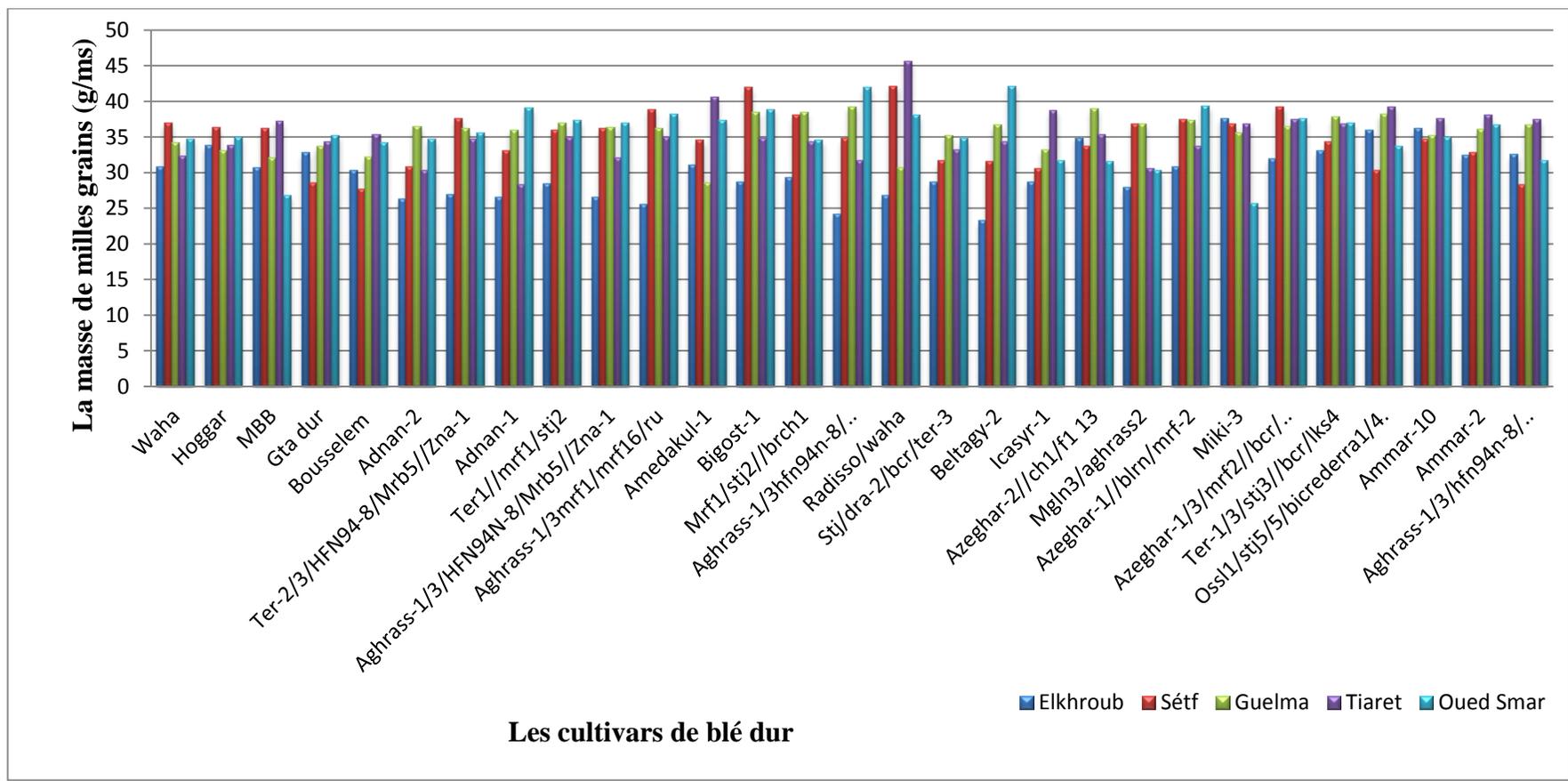


Figure 3.1 Valeurs moyennes de la masse de milles grains pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008

Les résultats des cultivars de la station Oued Smar ont un poids de milles grain faible qui varie entre 26,8 et 42,16g/ms. Beltagy-2 (42,16g/mg), Aghrass-1/3hfn94n-8/.. (41,95g/ms), Azeghar-1//blrn/mrf-2 (39,34g/ms) et Adnan-1 (39,05g/ms) sont les cultivars qui ont le poids le plus élevé, alors que les deux cultivars Miki-3 (25,72g/ms) et MBB (26,8g/ms) présentent le poids le plus faible (figure 2.2).

L'analyse des résultats obtenus dans la figure 3.1 nous permet de constater que le poids de milles grains des cultivars de la station de Tiaret ne dépasse pas 45,65g/ms, et que les cultivars qui ont le poids le plus important sont : Radisso/waha (46,65g/ms), Amedakul-1 (40,61g/ms), Oss11/stj5/5/bicrederra1/4.(39,2g/ms), Icasyr-1 (38,75g/ms) et Ammar-2 (38,1g/ms). Par contre les cultivars : Adnan-1(28,36g/ms), Adnan-2 (30,31g/ms) et Mgl3/agharrass2 (30,58g/ms) ont les valeurs les plus basses.

b) Discussion

Une variété introduite dans un milieu donné est exposée à subir un certain nombre d'aléas. L'idéal serait une variété capable d'échapper à tous les accidents. Ceci est rarement possible. Il ne s'agit en général que d'un compromis entre les éléments défavorables du milieu et les caractéristiques biologiques du cultivar (Annicchiarico *et al.*, 2005).

Le rendement d'une variété est le résultat de phases successives de croissance de développement comprenant : la mise en place d'organes, de processus liés à la photopériode et à la somme des températures, leur croissance en taille directement liée à l'énergie lumineuse interceptée et la disponibilité en eau et en éléments minéraux absorbés par le système racinaire. Une variété pourra donc être adaptée à une zone lorsque le compromis entre les éléments climatiques et le développement du génotype, se révélera en moyenne le plus favorable à l'extériorisation du rendement potentiel (Bouzerzour et Djekoun, 1996).

3.3.1.3 Evaluation de taux de mitadinage chez l'ensemble des cultivars dans chaque site d'étude

a) La description des données

La vitrosité constitue un important facteur aussi bien au niveau de la mouture que de l'agrégage.

Le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés (pâtes, couscous...). Les grains endommagés, ayant une incidence sur le poids spécifique, diminuent le rendement de la mouture, alors que d'autres types de dommages, telle que la moucheture, peut causer la décoloration et des piqûres dans la semoule (Feuillet, 2000 ; Desclaux *et al.*, 2005).

Les résultats obtenus quant aux taux de mitadinage, sont représentés dans la figure 3.2. L'étude de ce paramètre a permis de constater que les cultivars de la station d'El-Khroub ont un rendement non mitadiné (entre 0 et 5,75%), seulement les trois cultivars Icasyr-1, Azeghar-2//ch1/f1 13 et Mgl3/agherass2 ont des valeurs élevées de taux de mitadinage (12,62%, 12,12% et 10,75%).

Le taux de mitadinage indiqué dans la figure en question représente le pourcentage de grains non entièrement vitreux au niveau de la station de Sétif. Il s'agit par conséquent d'un taux de mitadinage total, supérieur à l'indice de Nottin qui prend en considération l'importance de l'amande farineuse. La distribution est très variable et le taux le plus bas est représenté par les cultivars Aghrass-1/3hfn94n-8/.. (1,16%), Waha (1,44%), MBB et Ter1//mrf1/stj2 (2,33%) et en fin Bigost-1 (3,56%). Par contre, les taux les plus élevés sont ceux obtenus par Aghrass-1/3/HFN94N-8/Mrb5//Zna-1 (29,8%), Azeghar-2//ch1/f1 13 (27,66%) et Ter-1/3/stj3//bcr/lks4 (21,26%).

A la station de Guelma, l'étude de ce paramètre a permis de constater que les rendements récoltés au niveau de ce site ne sont pas mitadinés (les taux sont très faibles pour ce site et ils ne dépassent pas 5,38%).

Le taux de mitadinage présente une variabilité importante à la station d'Oued Smar, d'un part les cultivars qui ont des rendements non mitadiné sont : Ter1//mrf1/stj2 (0,33%), MBB et Bouselem avec 0,83% et Icasyr-1 avec 0,91%, d'autre part les cultivars Aghrass-1/3/hfn94n-8/.. et Aghrass-1/3hfn94n-8/.. ont les taux de mitadinage les plus élevés (26,75 et 19,6%).

Au niveau de la station de Tiaret le taux de mitadinage n'a pas dépassé 12,08% (Mgln3/agrass2). D'une façon générale les rendements de ce site ne sont pas mitadinés à l'exception des cultivars : Amedakul-1 (5,66%), Beltagy-2 (6%), Azeghar-1//blrn/mrf-2 (6,91%) et Agrass-1/3/hfn94n-8/.. (7,33%).

b) Discussion

Le mitadinage dû, en particulier, à l'excès d'eau dans le sol ou à sa pauvreté en azote, donne des grains gonflés, blanchâtres, à structure partiellement ou entièrement farineux (présence dans la masse de la cornée de tâches d'amidon farineux) (Desclaux, 2005). Ces zones sont visibles soit à l'extérieur soit à la coupe du grain. La fumure tardive, à la montaison, limite cet accident (Cheret *et al.*, 2003).

Comme nous venons de le signaler, le mitadinage est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- et post-floraison) et à la composition protéique des grains qui en résultent. L'apport d'azote fractionné avec dernier apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadinage.

Une caractérisation physico-chimique des grains mitadinés a été établie à différentes échelles structurales et reliée à la qualité technologique.

A cet effet, des outils de mesure et de prédiction par analyse spectrale infrarouge sont en cours de développement pour une mesure rapide en routine. Les conclusions et les outils de contrôle traduisibles en indicateurs et en règles de décision sont utilisés pour améliorer les systèmes de culture régionaux intégrant le blé dur pour les rendre plus stables et plus durables (Desclaux *et al.*, 2005).

3.3.1.4 Evaluation du taux de moucheture chez l'ensemble des cultivars dans chaque site d'étude

a) La description des données

La moucheture du blé dur est un phénomène observé depuis fort longtemps : dès 1909, des publications paraissent sur ce sujet. Pendant une longue période, pathologistes et entomologistes combattent par publications interposées, revendiquant la paternité de l'agent causal unique : infections fongiques pour les premiers, action des insectes piqueurs (type thrips) pour les seconds (Desclaux, 2000). Cependant, de part la divergence des résultats obtenus et la publication de nombreux travaux montrant qu'en l'absence de tout agent pathogène, la moucheture pouvait s'observer sur les grains mûrs (Tabusse 1986 ; Williamson 1997), les facteurs abiotiques ont commencé à intéresser un certain nombre de chercheurs. Grignac (1988) met ainsi en évidence l'importance d'une forte hygrométrie dans l'induction de la moucheture.

Dans les années 1995, l'I.T.C.F reprend ces résultats et imagine un test de brumisation en plein champ pour révéler de manière reproductible les comportements variétaux. Afin de valider ce test et de vérifier sa pertinence sur une large gamme de cultivars, les chercheurs en génétique et amélioration de plantes de l'INRA se sont mobilisés (Ait kaki, 2008).

Des travaux menés par d'autres chercheurs (Samson et Morel, 1995 ; Rharrabti *et al.*, 2003b) ont permis non seulement de vérifier l'impact d'une forte hygrométrie sur le développement de la moucheture mais surtout de mettre en évidence le rôle de l'interaction hygrométrie x température (Desclaux, 2000 ; Desclaux *et al.*, 2005).

En effet, l'impact d'un cumul journalier d'hygrométrie du stade épiaison au stade grains laiteux avait été étudié à différents seuils de température, sur l'expression du taux de moucheture.

Les résultats obtenus par Cherdouh (1999), concernant ce paramètre et réalisé sur 62 variétés de blé dur Algérien, montrent une corrélation négative significative ($r = -0,334$) entre l'humidité sur grain et la moucheture. D'autres résultats similaires ont été déjà constatés par des travaux des I.T.G.C. (1998) avec une corrélation négative de $r = -0,416$.

La figure 3.3 Montre que les lignées cultivées à la station d'El-Khroub : Waha, Ter-1/3/stj3//bcr/lks4, Ossl1/stj5/5/bicrederra1/4., Ammar-2 et Aghrass-1/3/hfn94n-8/.. ont un rendement non moucheté, Alors que Aghrass-1/3/HFN94N-8/Mrb5//Zna-1 et MBB ont le rendement le plus moucheté. Les autres cultivars ont un pourcentage de moucheture entre 1 et 10%.

Les résultats de la figure 3.3 montrent que les cultivars de la station de Sétif ont un taux de moucheture qui varie entre 0 et 11,32%. On cite les cultivars qui ont les taux les plus élevés : Azeghar-1//blrn/mrf-2 (11,32%), Mrf1/stj2//brch1 (11,05%), Stj/dra-2/bcr/ter-3 (9,4%) et Aghrass-1/3/hfn94n-8/.. (8,21%). Les rendements qui ont les taux les plus bas sont chez les cultivars : Radisso/waha, Icasyr-1, Ossl1/stj5/5/bicrederra1/4., Ammar-2, Waha, Amedakul-1, Beltagy-2, Ter-1/3/stj3//bcr/lks4, Ter1//mrf1/stj2 et Hoggar (ont un taux < 3,5%).

L'interprétation des résultats de la figure 3.3, révèle que la distribution des individus mouchetés est très variable. Pour le site de Guelma la moyenne la plus basse est représentée par le cultivar Mgl3/agherass2 (1,35%), suivies de Ter-1/3/stj3//bcr/lks4 (1,43%), Miki-3 (1,56%) et Waha (1,85%). Le cultivar le plus moucheté est Radisso/waha (14,15%) suivi par les individus Icasyr-1, Aghrass-1/3/hfn94n-8/.., Beltagy-2 et Stj/dra-2/bcr/ter-3 (ont un taux de moucheture de 12 à 12,85%).

En générale toutes les valeurs de moucheture à la station de Oued Smar sont très appréciables, ne dépassent pas 8,25%. Les valeurs les plus élevées sont représentées chez Adnan-2 (7,85%), Mrf1/stj2//brch1 (7,4%) et Stj/dra-2/bcr/ter-3 (7,3%). Alors que Azeghar-1/3/mrf2//bcr/.. a un taux presque nul (0,14%), les autres individus qui ont un taux inférieur à 5% sont considérés non mouchetés.

A la station de Tiaret le taux de moucheture varie entre 0,7 et 15,9%. L'analyse des résultats a montré que les individus non mouchetés c'est-à-dire qui ont un taux inférieur à 5% sont Waha, Ter1//mrf1/stj2, Amedakul-1, Radisso/waha, Ter-1/3/stj3//bcr/lks4, Ossl1/stj5/5/bicrederra1/4., Ammar-10, Ammar-2 et Aghrass-1/3/hfn94n-8/... ; par contre le cultivar Aghrass-1/3/HFN94N-8/Mrb5//Zna-1 suivi par Stj/dra-2/bcr/ter-3 ont un taux supérieur à 15%.

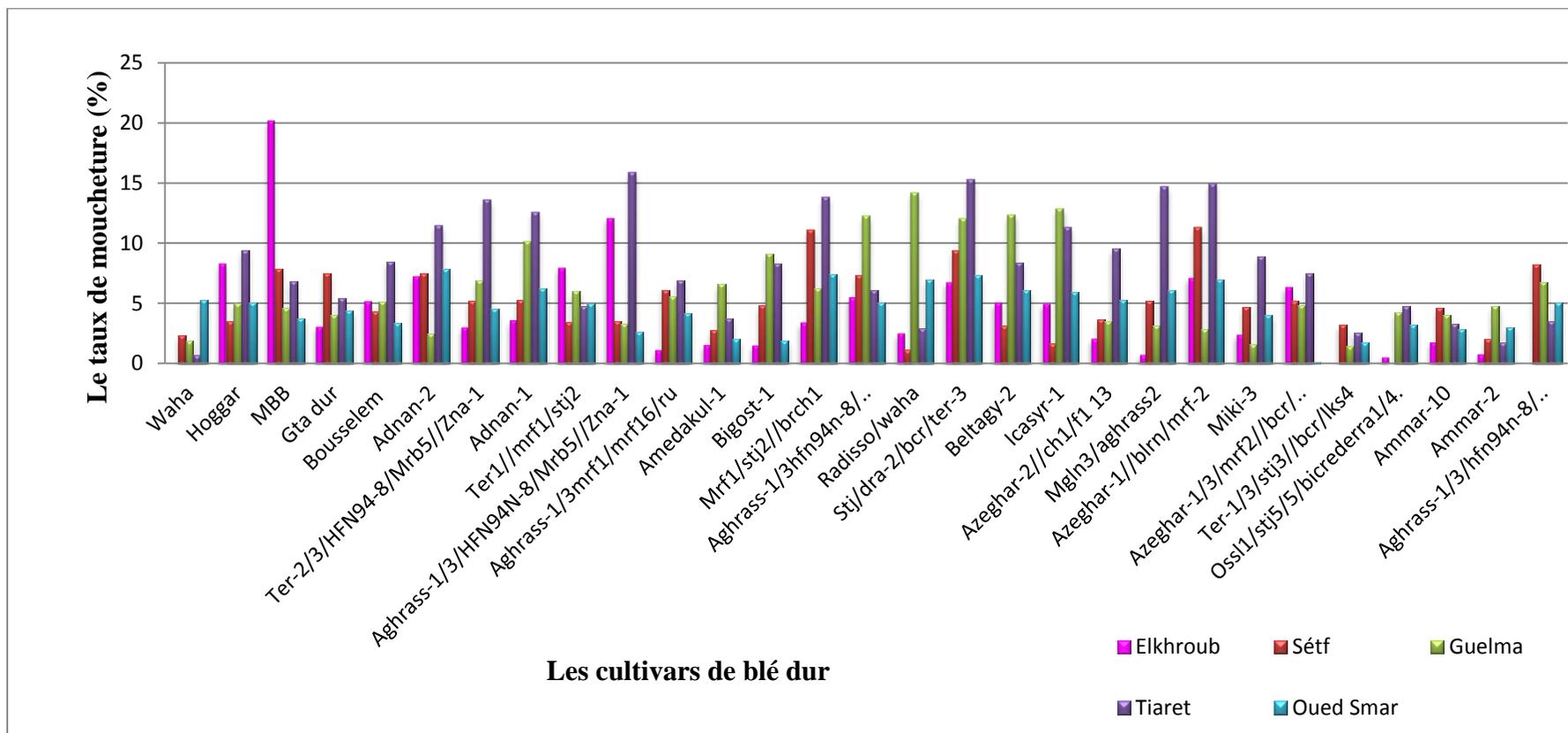


Figure 3.3 Valeurs moyennes du taux de moucheture pour chacune des cinq stations durant la campagne agricole 2007/2008

b) Discussion

Les semoules et produits dérivés issus de grains mouchetés présentent des points noirs indésirables qui diminuent leur qualité commerciale. Le pourcentage des grains mouchetés est relativement faible (pour la majorité il est inférieurs à 5%). Pour l'instant, on ignore encore la cause réelle de cette impureté. Cela peut être imputable aux différentes zones climatiques dans les quelles sont semés nos cultivars.

Dans l'ensemble, les variétés s'avèrent très peu mouchetées et donc, n'ont pas d'incidence sur le rendement en semoule, ni sur sa texture.

3.3.1.5 Evaluation de la teneur en pigments chez l'ensemble des cultivars dans chaque site d'étude

a) La description des données

La couleur est un facteur déterminant dans la qualité organoleptique des semoules et des pâtes alimentaires. Elle est considérablement influencée par les caractéristiques des blés mis en œuvre. Sur le plan technologique, une teneur élevée en pigments caroténoïdes, associée à des faibles activités lipoxygénasique et peroxydasiques, est recherchée dans les blés pour fabriquer des pâtes claires de couleur jaune ambrée (Icard et Feuillet, 1996).

Selon certains auteurs (Feillet et Dexter, 1996 ; Lu *et al.*, 2005) l'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois groupes de paramètres : la couleur (qui résulte de la superposition d'une composante jaune et d'une composante brune), le nombre et l'origine des piqûres (piqûres brunes dues à la présence de particules de sons, piqûres noires provenant de grains mouchetés) et la texture des produits (gerçures, bulles d'air, points blancs et état de surface des pâtes sèches qui dépendent des conditions de fabrication des pâtes).

Les bases biochimiques de la composante jaune de la couleur, dont l'intensité dépend de la teneur en pigments caroténoïdes et en lipoxygénase de l'albumen, sont bien documentées. L'origine du brunissement est plus complexe et ses fondements physico-chimiques et technologiques font toujours l'objet de controverses (Ait kaki, 2008).

Les travaux réalisés à la fin des années 1960 ont montré que le brunissement des pâtes était une caractéristique variétale des blés durs mis en œuvre (Matsuo et Irvine, 1967) et que les variétés de type méditerranéen possédaient des indices de brun très supérieurs à ceux de variétés

d'origine nord-américaine (Grignac, 1970). Les conditions de développement des blés durs sont néanmoins un facteur très important de l'expression de ce caractère.

Selon Matsuo *et al.* (1982), l'analyse de 30 variétés cultivées pendant 02 années et en 02 lieux montre que les contributions de la variété, de l'année et du lieu de culture à la variance du brunissement des pâtes sont respectivement égales à environ 15,7%, 0,9% et 68%. Ces résultats ont été confirmés plus récemment par Autran *et al.* (1986). En particulier, pour des échantillons issus de la même variété, le brunissement est d'autant plus important que la teneur en protéine du grain est élevée (Alause et Feillet, 1970 ; Grignac, 1970 ; Kobrehel *et al.*, 1974 ; Dexter *et al.*, 1982), mais les fondements physico-chimiques de cette relation ne sont pas connus.

Les bases moléculaires du brunissement des pâtes alimentaires demeurent mal connues. Des hypothèses ont été émises : Selon Matsuo et Irvine (1967), le brunissement serait dû à la présence dans l'albumen d'une protéine cuivrique dont la teneur peut être apprécié en déterminant l'absorption à 400 nm d'un extrait aqueux de semoule.

Selon Kobrehel *et al.* (1972), la principale source de variation de l'indice de brun des variétés de blé dur est l'activité péroxydasique des semoules. On sait, d'autre part, que le brunissement des pâtes est d'autant plus marqué que la teneur en matière minérale des produits de mouture est élevée (Irvine et Anderson, 1952 ; Houliaropoulos *et al.*, 1981). De plus, le brunissement s'accroît sensiblement lorsque des températures élevées sont appliquées en cours de séchage (Feillet *et al.*, 1974), suite à l'intensification des réactions de Maillard (Pagani *et al.*, 1992).

Les valeurs de l'indice de brun oscillent pour la station d'El-Khroub entre 7,28 et 18,53% (figure 3.4). Les cultivars Ammar-2, Aghrass-1/3/hfn94n-8/.., Azeghar-1//blrn/mrf-2, Mgl3/agh2 semblent être les individus qui ont les rendements les plus bruns. Par contre le brunissement est moins présenté chez les individus : Gta dur (7,28%), Ter1//mrf1/stj2 (7,71%), Ter-2/3/HFN94-8/Mrb5//Zna-1 (7,85%) et Miki-3 (7,88%).

La figure 3.4 représente la distribution des valeurs de l'indice de jaune des cultivars de la station d'El-Khroub, où l'on peut observer que les cultivars Hoggar, Stj/dra-2/bcr/ter-3, Aghrass-1/3/hfn94n-8/.., Waha, Amedakul-1, Ter1//mrf1/stj2 et Beltagy-2 présentent les indices les plus élevés avec un maximum de 29,25%. Quelques individus présentent des valeurs très faibles telle que Miki-3 (13,2%) suivi par Azeghar-1/3/mrf2//bcr/.. (15,55%) et Ter-1/3/stj3//bcr/lks4 (15,85%). Les indices de jaune obtenus chez la moitié des cultivars sont

appréciables mais restent inférieurs à la valeur optimale recherchée qui est de 25 (Abecassis, 1993).

Les valeurs de l'indice de brun vont de 6,19 à 10,34% pour l'ensemble des cultivars de la station de Sétif. Ter-2/3/HFN94-8/Mrb5//Zna-1 se démarque par un indice stable et relativement bas, ainsi que Hoggar, Adnan-1, Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru, Icasyr-1, Miki-3, Azeghar-1/3/mrf2//bcr/..., Ammar-10 et Ammar-2.

La figure 3.4 suivante illustre les valeurs de l'indice de jaune obtenu sur le site de Sétif, ces valeurs varient de 14,54% avec Amedakul-1 et un maximum 19,75% chez Miki-3. D'une façon générale les indices de jaunes obtenus au niveau de ce site sont bas.

Pour ce qui est du site de Guelma, les valeurs d'indice de brun enregistrées pour l'ensemble des cultivars sont élevées avec des valeurs entre 14,37 et 16,53% chez les cultivars Oss11/stj5/5/bicrederra1/4., Ammar-2, Beltagy-2, Icasyr-1 et Aghrass-1/3/hfn94n-8/... Les valeurs les plus basses sont entre 7,5 et 8,85% chez les cultivars Waha, Hoggar, MBB, Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru et Miki-3 (figure 3.5).

Les valeurs de l'indice de brun oscillent pour le site d'Oued Smar entre 5,99 et 9,71 à l'exception de MBB qui présente un indice de 11,18%. Les indices les plus bas sont ceux d'Aghrass-1/3hfn94n-8/.. avec 5.99% et Ter-1/3/stj3//bcr/lks4 avec 6.15% (figure 3.5).

Concernant l'indice de jaune au niveau de ce site on marque des valeurs variant entre 14,42% (Ter-2/3/HFN94-8/Mrb5//Zna-1) et 23,31%. Les individus qui ont la couleur la plus intéressante sont Ammar-10 (23,31%), Ammar-2 (22,47%), Azeghar-2//ch1/f1 13 (21,91%) et Waha (21,45%).

Les résultats obtenus à la station de Tiaret et qui sont présentés dans la figure 3.5 montrent que le brunissement varie de 8,43 à 15,71%. Les indices les plus bas sont remarqués chez Ter-1/3/stj3//bcr/lks4, Ammar-10, Aghrass-1/3/hfn94n-8/..., et Waha qui ont un indice inférieur à 10%. Par contre le brunissement le plus fort est observé chez Amedakul-1, Ter1//mrf1/stj2, Bigost-1, Aghrass-1/3mrf1/mrf16/ru et Mrf1/stj2//brch1 (>14%). Ce qui est remarquable aussi à ce site c'est qu'avec l'indice de brun élevé, l'indice de jaune est faible et il ne répond pas aux normes. Les deux individus Ammar-2 et Waha ont les indices les plus élevés 20,34 et 20,12% respectivement, les autres cultivars ont des valeurs entre 14,62 (Amedakul-1) et 19,75%.

b) Discussion

L'indice de jaune est essentiellement lié à la richesse de la semoule en pigments caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité d'enzymes lysoxygénases (Feuillet et Abecassis, 1976) susceptible de détruire les pigments au cours de la pastification. Pour une matière première déterminée, il est possible de réduire les pertes de pigment en conduisant la mouture de manière à éviter une contamination des semoules par les germes du grain dont on connaît la teneur très élevée en lysoxygénases ainsi qu'en recherchant des conditions de fabrication qui évitent l'activité de ces enzymes.

L'indice de brun est fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzymes (peroxydases). Toute action visant à diminuer l'activité de celle-ci, soit par la sélection de variétés qui n'en possèdent que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologies appropriées (bonne purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage), a un effet bénéfique sur la coloration des produits finis (Matsuo *et al.*, 1982).

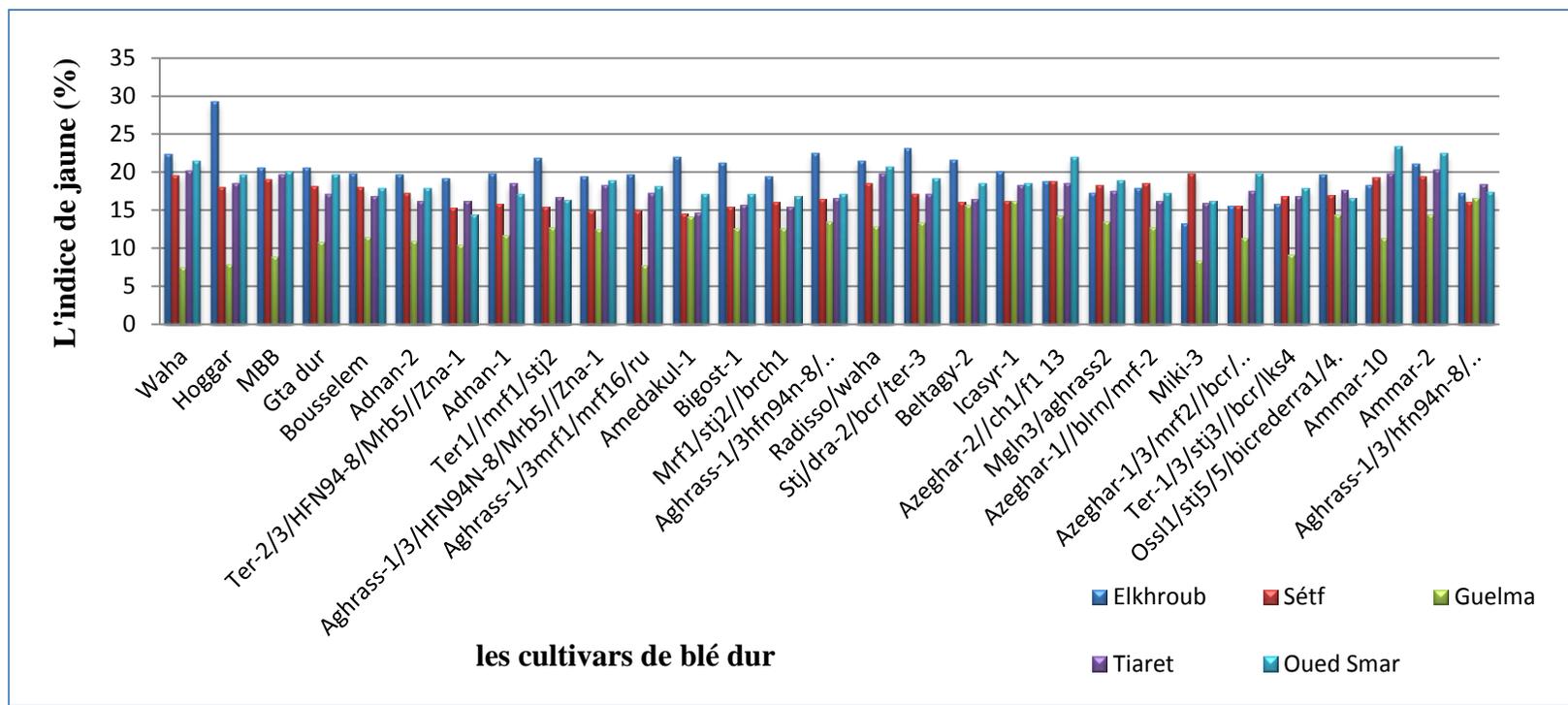


Figure 3.4 Valeurs moyennes de l'indice de jaune pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008

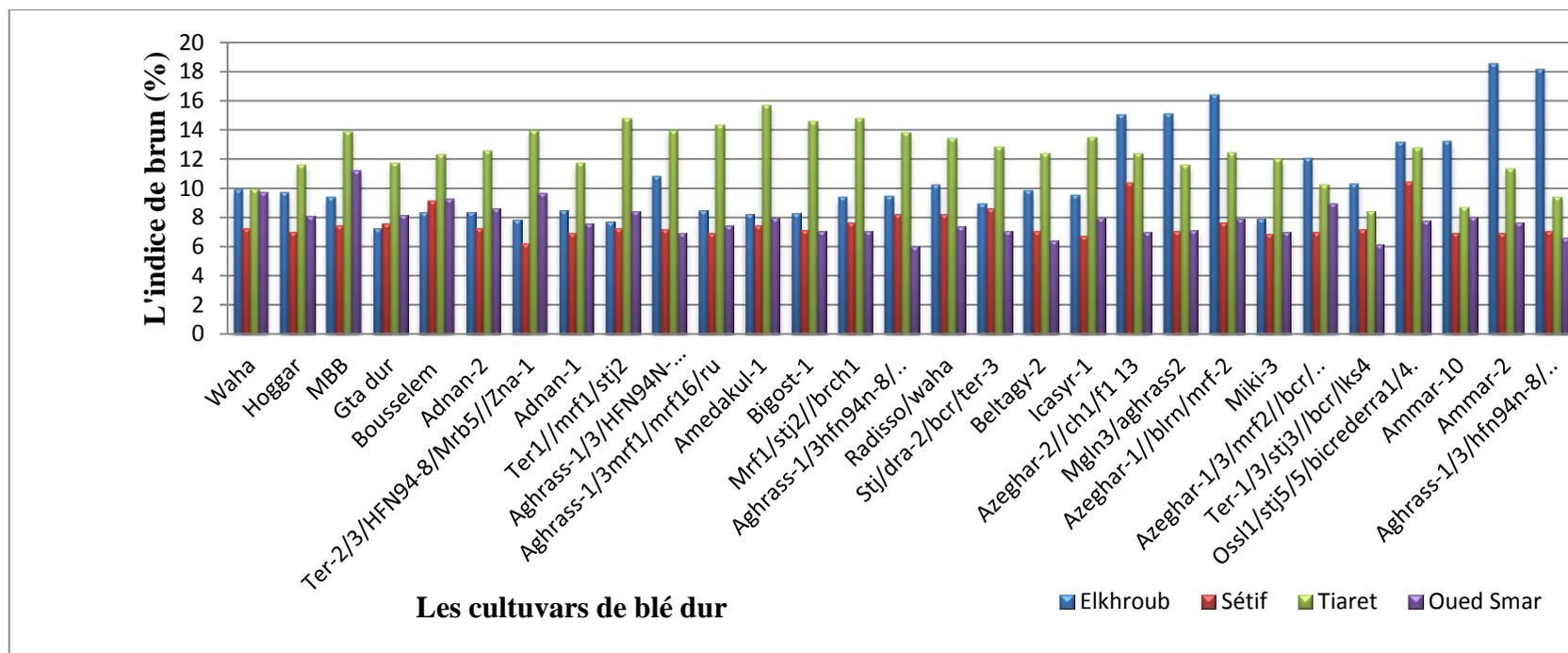


Figure 3.5 Valeurs moyennes de l'indice de brun pour chacune des stations étudiées durant la campagne agricole 2007/2008

3.3.2 Effet du site et du génotype sur la qualité de blé dur : Résultats de l'ANOVA

Les résultats de l'analyse de la variance sont présentés dans le Tableau 2.1 et exprimés en pourcentage des valeurs des carrés moyens afin de mettre en évidence les facteurs qui ont affecté principalement chaque paramètre de qualité étudié.

En ce qui concerne le poids de mille grains qui indique le niveau de remplissage des grains du blé et qu'il est généralement déterminé par les caractéristiques génotypiques, dans notre étude le facteur génotype n'a aucun effet sur la variation des données, par contre le site présente 93.91% de la variation totale ($p < 0,001$). Les sites Oued Smar, Tiaret et Sétif ont montré les valeurs de PMG les plus élevées (35.3, 35.3 et 34.8g/ms respectivement) alors que le site d'El-Khroub a donné le PMG le plus bas (30,1g/ms).

Dans le site de Sétif, le haut pourcentage de mitadinage (11,6%) était probablement le résultat de l'absorption réduite d'eau qui a limité l'efficacité de l'utilisation d'azote par les cultivars de blé dur (Oweis *et al.*, 1999;. Akman *et al.*, 2013). Concernant ce paramètre, les résultats de l'analyse de la variance (tableau 2.1) montrent que le site (92,21%, $p < 0,001$) a été le facteur prédominant alors que le facteur génotype n'explique que 7,79% de la variation totale. Le mitadinage est généralement liée à une faible teneur en protéines (Irani, 2000).

La moucheture du blé dur se caractérise, sur les grains mûrs, par des plages de coloration brune ou noire en d'autres endroits que sur le germe (réglementation CEE 824/2000). Elles sont pénalisantes car on les retrouve dans la semoule et dans les pâtes alimentaires. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réfections de prix, voir des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5%. Ce % correspond au poids des grains mouchetés par rapport au poids total de l'échantillon.

Le pourcentage élevé de la moucheture (8.2%) présenté par le site de Tiaret montre des résultats en opposition des recherches précédentes qui ont montré que la moucheture a lieu dans un environnement plus humide (Desclaux 2000; Irani, 2000; Fernandez et Conner, 2011;. Akman *et al.*, 2013). Le tableau 2.1 Montre que le facteur site a l'effet le plus élevé (79.16%, $p < 0,001$) sur la variation totale pour le pourcentage de moucheture.

L'indice de sédimentation SDS (SDS : NF V 03-722, 1990) permet avec réserve, et en particulier en fonction de la méthode utilisée, une bonne discrimination. L'avantage de ce type

d'analyse est qu'il ne nécessite qu'une prise d'essai de faible quantité ce qui peut intéresser le sélectionneur (Trentesaux *et al.*,1995).

Les valeurs de SDS apparaît principalement sous contrôle génétique (81.84%, $P < 0,001$), ce qui confirme ce qui a été précédemment représenté dans les recherche de Rharrabti *et al.*,(2003).

La couleur des pâtes alimentaires résulte de la superposition d'une composante jaune, recherchée, et d'une composante brune, indésirable. On avance l'hypothèse que le brunissement des pâtes est la somme du brunissement intrinsèque de l'albumen (paramètre dominant dans le cas où la semoule transformée est peu contaminée par les parties périphériques du grain), de réactions enzymatiques (activité des polyphénol oxydases) dont l'intensité dépend du degré de pureté des semoules, et de réactions de Maillard pouvant se produire lorsque des températures élevées de séchage sont utilisées (Feillet *et al.*,2000).

On sait, d'autre part, que le brunissement des pâtes est d'autant plus marqué que la teneur en matière minérale des produits de mouture est élevée (Irvine et Anderson, 1952 ; Houliaropoulos *et al.*, 1981). De plus, le brunissement s'accroît sensiblement lorsque des températures élevées sont appliquées en cours de séchage (Feillet *et al.*, 1974), suite à l'intensification des réactions de Maillard (Pagani *et al.*, 1992) (Feillet *et al.*,2000).

Dans notre étude, l'effet de site était prédominant sur la détermination de la variance totale pour ce paramètre (85,78%, $p < 0,001$) ainsi que pour l'indice de brun (98,52%, $p < 0,001$). Rharrabti *et al.*, (2003) ont constaté une corrélation négative entre l'indice de jaune et le poids du grain. Nos résultats montrent que les variétés de blé dur avaient l'indice de brun le plus élevé à Tiaret suivi par El-Khroub (12,5 et 10,7% respectivement) que dans les autres sites qui ont donc exprimé une qualité inférieure pour la semoule (Feillet *et al.*, 2000). Le site d'Oued Smar a présenté les meilleurs indices de couleurs (18,5% pour IJ et 7,8% pour IB).

Tableau 3.2 Effet site et génotype sur la qualité des cultivars de blé dur cultivés dans les cinq stations et durant la campagne agricole 2007/2008 : résultat d'ANOVA (pourcentage des carrés moyennes)

	H%	PMG	MIT	Mouch	TE	SDS	IJ	IB
site	99,36***	93,91***	92,21***	79,16***	98,17***	18,16ns	85,78***	98,52***
var	0,64ns	6,09ns	7,79*	20,84***	1,83ns	81,84***	14,22***	1,48ns

3.3.3 Résultats de l'Analyse hiérarchique

La recherche des groupes homogènes des variétés de blé dur pour l'ensemble des sites , en utilisant le lien simple, la distance carrée de Pearson et un niveau de similarité de 80% a permis d'observer que chaque cultivar constitu un groupe (29 groupes de cultivars de blé dur) c'est-à-dire que pour l'ensemble des paramètres étudiés et pour l'ensemble des sites de cultures chaque génotype a présenté un rendement de qualité différente des autres. Ces groupes ont été déterminé à partir des moyennes des données des cinq sites de culture observés sur 8 caractéristiques technologiques (figure 3.6)

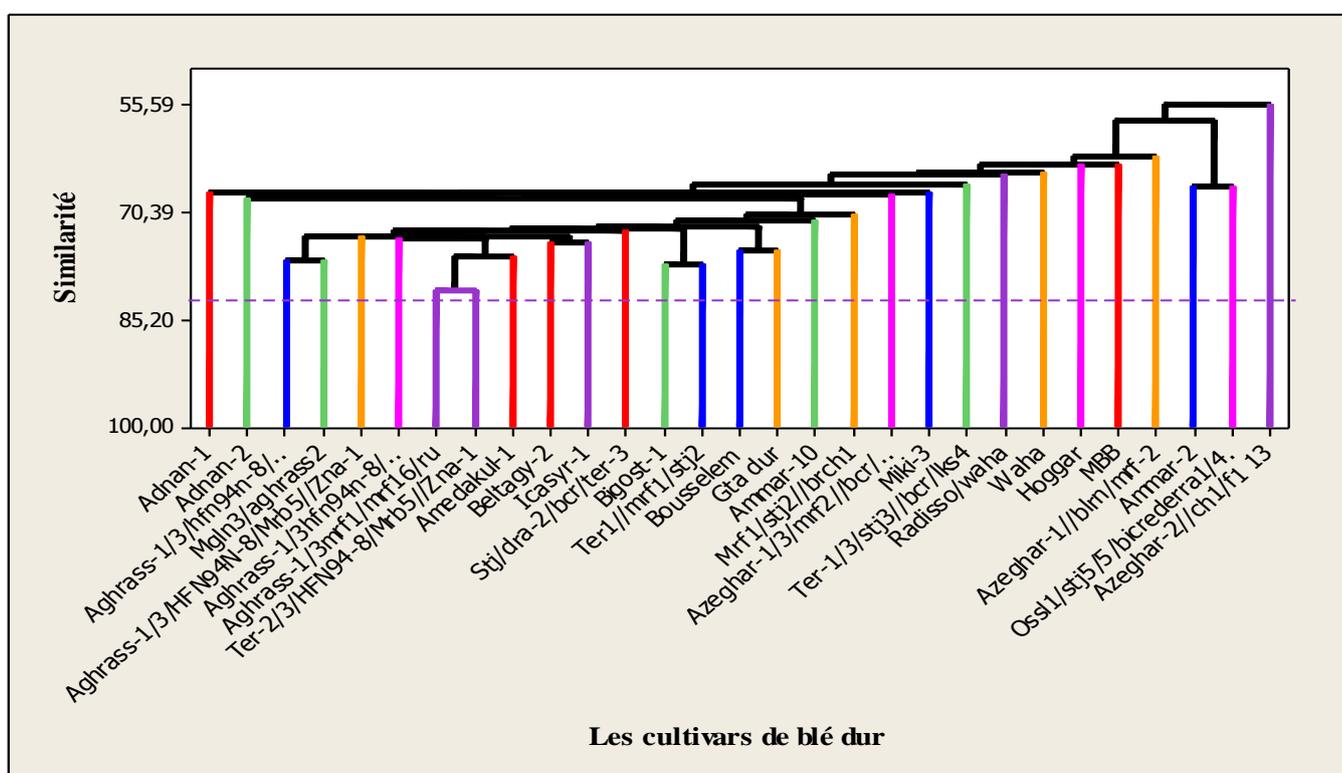


Figure 3.6 Dendrogramme du regroupement des 29 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, pour l'ensemble des sites

3.4 Conclusion et perspectives

Le principal objectif de notre travail a été de mesurer les attentes des besoins des agriculteurs, des transformateurs et des consommateurs algériens de blé dur, et de relever les principaux éléments qui contrecarrent leur activité. L'évaluation de ses attentes et besoins permet d'élaborer des stratégies d'amélioration afin de pouvoir un bon rendement de qualité de blé dur en l'Algérie.

Les paramètres de qualité étudiés ont permis de montrer leur grande variabilité, ce qui facilite le travail de sélection pour tel ou tel caractère. Nous avons pu détecter chez certains génotypes une supériorité apparente par rapport aux autres pour ce qui est du taux de mitadinage, pour le poids de mille grains et le taux de moucheture.

Les stations de Sétif et El-khroub ont montré un PMG faible par rapport à Tiaret qui a présenté les rendements les plus élevés en poids de mille grains.

Les génotypes Miki3 et Ter1//Mrf1/Stj2 montrent un forts pourcentage d'indices de brun et de jaunes dans les hauts plateaux de Sétif et Tiaret. Les variétés cultivées Waha, Bousellem et Gta/Dur69 se distinguent par leurs taux de mitadinage relativement élevés supposant une faiblesse dans la vitrosité. Adnan-1 et Ter1//Mrf1/Stj2 exhibent un bon taux de SDS.

Le règlement 824/2000 indique que le pourcentage maximal de grains mitadinés ne doit pas dépasser 27%. Dans le cas de notre expérimentation, la majorité des cultivars de blé des 5 sites étudiés a présenté un taux de mitadinage compris entre 0 et 15%, ce qui les rend conforme à la norme et nous permet de les considérer comme intéressant par rapport à ce paramètre qui est redouté par la plupart des producteurs parce qu'il fait perdre aux grains de blé leur qualité et leur valeur marchande. Par ailleurs, les résultats de notre analyse permettent de conclure que pour certains paramètres quelque cultivars ont présenté une stabilité spatiale telle que Radisso/Waha qui a donnée un bon poids de mille grains dans les deux stations Sétif (42,16g/ms) et Tiaret (46,65g/ms) et aussi un taux bas de mitaginage. Par contre le cultivar Aghrass-1/3hfn94n-8/mrb a présenté une variation spatiale très importante, il a donné le PMG le plus élevé à la station d'Oued Smar (41,95g/ms) et le PMG le plus faible à la station d'El-Khroub (<30g/ms).

Cette étude nous a permis de conclure qu'il existe des moyens d'évaluer et d'améliorer le rendement et la qualité du blé dur algérien mais, cela ne peut se réaliser que si tous les acteurs impliqués dans le secteur (agriculteurs, chercheurs, consommateurs, ...) collaborent ensemble

pour atteindre ces objectifs. En outre, les quelques recommandations suivantes peuvent être émises pour améliorer la qualité du grain :

- intensifier le suivi des agriculteurs sur terrain,
- améliorer le transfert des résultats de la recherche vers les utilisateurs du secteur de production pour une utilisation plus rapide,
- identifier de manière plus efficace les facteurs déclenchant la moucheture et le mitadinage.

Enfin, il convient de signaler que cette étude qui est innovatrice dans le domaine permet d'ouvrir plusieurs pistes de recherche et peut servir de point de départ à des travaux de recherche plus ciblés et s'attaquant à des thématiques plus précises afin d'améliorer le niveau de connaissance en la matière.

Chapitre 4 : Evaluation des données de la campagne agricole 2010/2011

4.1 Introduction

En Algérie, la plupart des efforts de sélection se concentrent sur le potentiel de rendement maximal dans un environnement très favorable, mais les aspects de qualité ont une priorité inférieure. Une approche multi-disciplinaire a été adoptée pour promouvoir les variétés nouvellement sélectionnées pour différents environnements semi-arides ciblés (blé dur et le blé tendre, l'orge et le triticale). Cette recherche a abouti à des cultivars capables de résister à la sécheresse et à la chaleur, mais aussi sensibles à l'amélioration de l'approvisionnement en eau.

Les variétés diffusées au cours de la fin des années soixante-dix ont permis un gain de rendement en grain d'au moins 35% sur les variétés locales, mais la qualité du grain est fortement affectée par les facteurs environnementaux. L'amélioration de la qualité du blé dur pour adapter différentes utilisations finales (pain, couscous, pâtes, gâteaux locaux, Frik) est un objectif important de la recherche menée par l'Institut national de recherche agricole de l'Algérie (de INRAA) et les Centres internationaux de collaboration, le CIMMYT et l'ICARDA (Nachit *et al.*, 1995).

La forte influence de l'environnement et des interactions génotype-environnement sur la qualité du grain entrave l'amélioration de la qualité du blé dur. Plusieurs approches ont été menées sur le blé panifiable pour évaluer les effets de génotype, de l'environnement et leur interaction (Peterson *et al.*, 1992; Annicchiarico *et al.*, 2006). Cependant, très peu d'informations sont disponibles sur l'importance relative des effets de génotype, de l'environnement, et l'interaction génotype-environnement sur les caractéristiques de qualité de blé dur cultivées dans la région méditerranéenne. Michelena *et al.* (1995) ont étudié la stabilité des variétés du blé dur pour 16 différents paramètres de qualité dans des conditions nord de l'Espagne et ont constaté que la variation spatiale et temporelle étaient très importantes pour de nombreux paramètres. Juan-Aracil et Michelena (1995) ont rapporté que l'interaction de latitude x site x année a été le principal facteur qui a affecté les paramètres de qualité. Dans d'autres études de l'Italie (Mariani *et al.*, 1995; Nachit *et al.*, 1995; Boggini *et al.*, 1997; Novaro *et al.*, 1997) une forte influence de l'environnement et de l'interaction génotype-environnement dans la détermination de la qualité du blé dur a été rapportée. Cette étude a été réalisée dans les différentes régions de culture du blé de l'Algérie qui diffèrent par le climat, le type de sol et les systèmes agronomiques à l'aperçu de la variation spatiale des caractères de qualité de quatre variétés de blé dur les plus largement cultivées et menées dans trois sites contrastés de l'Algérie au cours de l'année agricole 2010/2011.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Description des sites

Afin de pouvoir faire une étude de la variation spatiale des caractéristiques technologiques des quatre variétés on a choisi trois sites, deux des hauts plateaux (Sétif dans l'est et dans l'ouest Tiaret) et une zone de sous-littoral intérieur (Guelma), qui représentent les régions des productions de céréales en Algérie.

- Guelma: situé entre la latitude $36^{\circ} 17'$ et la longitude $6^{\circ} 37'$ en Algérie orientale, la quantité de précipitations varient de 500 à 600 mm par an. Région littorale, zone favorable à la production de céréales, les sols profonds et fertiles approprié pour la production de semences de céréales. Les principales contraintes: maladies (principalement de rouille jaune et septoriose) et la sécheresse.

- Tiaret: hauts plateaux, les sols sont argileux à faible profondeur dans presque toute la région. Les précipitations sont irrégulières et moyennes de 350 à 450 mm. Les zones de culture des céréales principales de l'Algérie où la production céréalière souffre de la sécheresse précoce et du stress thermique.

- Sétif: s'étend sur plus de trois paysages naturels : les Atlas du Nord, les hautes plaines centrales et les hauts plateaux du Hodna dans le sud, où la majorité des terres arables est située. L'altitude est comprise entre 800 et 1300 m au dessus du niveau de la mer. Les céréales constituent la première récolte des agriculteurs. Le climat est de type continental à semi-aride avec des hivers froids (minima -8°C) et l'été chaud (maxima de 41°C). Les précipitations moyennes fluctuent de 200 à 500 mm du Sud vers le Nord. La sécheresse est principalement associée avec le gel partout dans la saison d'hiver.

4.2.2 Matériel

Quatre géotypes de blé dur ont été utilisés dans cette étude, y compris les deux variétés locales commerciales (Waha, Boussellem) et deux lignées avancées (Gta / Dur69., Et Lahn / Ch1.2003) du programme de culture du blé dur CIMMYT-ICARDA.

4.2.3 Paramètres analysés

Plusieurs paramètres commerciaux et technologiques de qualité ont été déterminés. La teneur en protéines (PROT) a été déterminée au moyen d'un dispositif proche infrarouge. Le mitadinage (MITA) a été évalué en utilisant un farinotome (grain splitter) par la moyenne des trois échantillons de 100 grains. Un grain a été considéré comme défectueux s'il a été

complètement ou partiellement féculent (mitadinage) ou affecté par des infections fongiques montrant des taches noires (Moucheture), principalement autour de la zone de l'embryon (Autran, 1984). Le poids de mille grains nommé PMG a été calculé comme le poids moyen des trois séries de 1000 grains par parcelle. Le rendement en grains (RDT) est pesé sur le total des grains récoltés à partir de chaque unité de parcelle. Le taux de semences a été ajusté pour une densité de 300 graines viables/m² à Sétif et à Tiaret et 350 graines/m² à Guelma. La superficie du terrain était de 12 m² (six rangées de 10 m de long et 20 cm de distance).

4.2.4 Méthodes statistiques

4.2.4.1 Le test de l'analyse de la variance (ANOVA)

Le test d'analyse de la variance à un critère et à deux critères (facteurs) de classification consiste à comparer plus de deux moyennes de plusieurs populations à partir des données d'échantillons aléatoires simples et indépendants (Dagnélie, 2006).

Ce test a été utilisé pour comparer les moyennes de différents paramètres des différentes variétés par site et pour l'ensemble des sites.

4.2.4.2 Recherche de groupes homogènes : méthode de la plus petite différence significative (p.p.d.s.)

Lorsqu'à l'issue d'un test d'analyse de la variance et pour des facteurs fixes, on est amené à rejeter l'hypothèse d'égalité de plusieurs moyennes, alors la question se pose de rechercher et de localiser les inégalités, ou en d'autres termes de rechercher quels sont les groupes de stations homogènes, pour telle ou telle caractéristique mesurée.

De nombreuses solutions ont été proposées pour répondre ou tenter de répondre à cette question (Dagnélie, 2003 et 2006).

Ces solutions sont groupées sous l'appellation générale de méthodes de comparaisons particulières et multiples de moyennes. Le choix entre les différentes approches est très largement fonction de la nature quantitative ou qualitative, des facteurs considérés, et de l'objectif qui a été fixé, ou qui aurait dû être fixé, au moment où la collecte des données a été décidée.

Parmi ces méthodes figure celle appelée la méthode de la plus petite différence significative ou p.p.d.s. qui s'applique en une seule étape et qui est, de ce fait, d'une utilisation très facile.

On considère tous les couples de moyennes (x_i, x_i'), et on conclue que les moyennes dont les différences (x_i, x_i'), atteignent ou dépassent cette limite, en valeur absolue, sont significativement inégales.

La valeur $t_{1-\alpha/2}$ est relative à la distribution t de STUDENT pour un niveau de signification $\alpha=0,05$, et dont le nombre de degrés de liberté k est celui du carré moyen résiduel (CMr) qui a servi de base de comparaison lors de l'analyse de la variance, et (n) représente le nombre de données ayant permis de calculer chacune des moyennes (Dagnélie, 2003 et 2006).

Les résultats obtenus sont généralement présentés sous forme des alphabets, les alphabets correspondant à des moyennes ou des groupes de moyennes qui ne sont pas significativement différentes les unes des autres.

En ce qui nous concerne, et ceci dans le cas uniquement de la matrice de données, chaque fois que l'égalité de plusieurs moyennes a été rejetée par l'analyse de la variance pour un facteur fixe, nous avons utilisé la méthode de la p.p.d.s. pour tenter de déterminer les groupes de moyennes qui sont identiques ou en d'autres termes les groupes de variétés, qui sont aussi homogènes que possibles (Dagnélie, 2003, 2006).

4.3 Résultats et discussion

4.3.1 L'analyse des conditions climatiques

Même si la répartition des précipitations n'était pas stable, les précipitations ont été normales à Guelma (577,6 mm) dans la saison de croissance 2010/2011; elles étaient supérieures à la moyenne annuelle sur les sites Sétif et Tiaret (445,6 et 408,7 mm) où la pluviométrie moyenne normale est de 395 et 382 mm respectivement (figure 4.1). La plupart des précipitations est tombé en Novembre et Février. Les températures ont été normales pour tous les sites (figure 4.2).

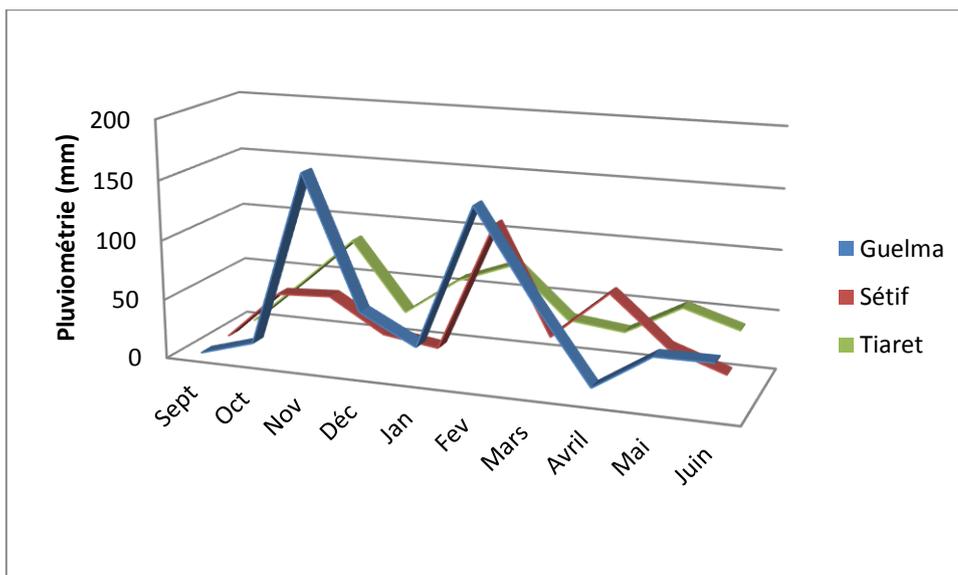


Figure 4.1 la pluviométrie dans les trois sites durant la campagne agricole 2010/2011

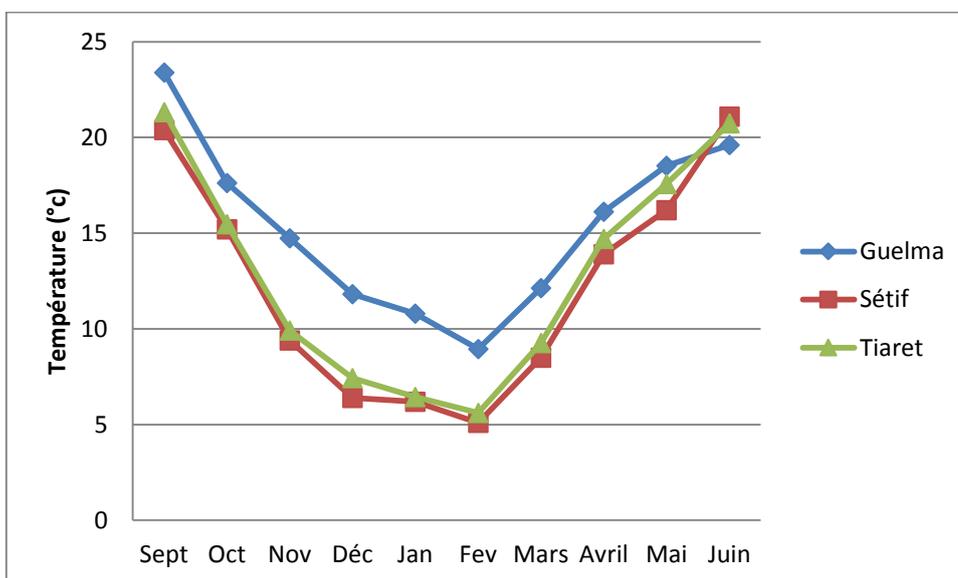


Figure 4.2 la température mensuelle dans les trois sites durant la campagne agricole 2010/2011

4.3.2 L'analyse de variance par site

- Guelma: les résultats de l'Anova montrent des différences très hautement significatives entre les variétés pour tous les paramètres étudiés, sauf pour le rendement en grain (tableau 4.1).

L'humidité des grains (12,7%), la teneur en protéines (11,8%), et le poids de mille grains (42,77g) étaient relativement plus faible que la moyenne globale sur les sites (12,86, 13,91 et 49,95%). Les taux de mitadinage et de moucheture du grain étaient élevés dans ce site (26,57 et 22,2% respectivement) ce qui implique une faible vitrosité du grain.

- Sétif: Les différences sont très hautement significatives pour tous les caractères sauf le rendement en grain. Ce site a le meilleur taux de protéines (13%) que celui du site de Guelma, qui est en moyenne un peu inférieur à la moyenne globale et est beaucoup plus faible que dans le site de Tiaret. Le mitadinage avait un faible niveau (1,46%) montrant une bonne vitrosité du grain dans cette région semi-aride du haut plateau. Tous les autres paramètres étudiés sont plus élevés que dans les autres sites.

- Tiaret: Contrairement aux deux autres sites, les différences étaient significatives à très hautement significatives entre toutes les variétés pour tous les paramètres de qualité étudiés. Dans ce site semi-aride le rendement en grains était le plus faible (2,53 q / ha) en raison principalement de la faible fréquence des précipitations et d'autres stress abiotiques (froid en hiver et au début du printemps). De bons résultats ont été présentés pour la teneur en protéines (16,93% de) qu'était le plus élevé avec un taux de mitadinage presque nul (0,29%). Le PMG est également élevé (51,2 g) et le taux de moucheture est inférieur à la moyenne globale (9,14% - 14,74 %). Il semble clairement que les conditions pluviales de culture dans les sites semi-arides offrent la meilleure opportunité pour la production de blé dur de bonne qualité.

Tableau 4.1 Résultats de l'Anova de la comparaison entre les variétés par site et par paramètre.

	GUELMA	SETIF	TIARET	Moyenne globale
Hum	12.7***	12.95***	12.94**	12.86
PROT	11.8***	13***	16.93***	13.91
Mouch	22.22***	11.87***	9.14***	14.4
PMG	42.77***	55.87***	51.2***	49.95
Mit	26.57***	1.46***	0.29*	9.44
RDT	3.545NS	4.508NS	2.528***	3.527

P>0.05 NS. P≤0.05*. P≤0.01**. P≤0.001***

4.3.3 Analyse des génotypes

On remarque que la variation spatiale est très importante pour toutes les variétés et ceci quelque soit le paramètre étudié. Les différences entre les différents sites sont hautement à très hautement significatives pour tous les paramètres et pour toutes les variétés. L'analyse des résultats obtenus est présenté dans le tableau 4.2 on observe que la variété Waha a le rendement le plus bas (3,3 q / ha) et les valeurs les plus basses en poids de mille grains (47,45g/m) et en moucheture (7,08%) par rapport aux autres variétés (tableau 4.2 et 4.3).

Pour la variété Bousselam, nous avons également constaté des différences très hautement significatives pour tous les paramètres étudiés. Le rendement en grain (3.429 q / ha) était un peu

plus élevé que chez Waha (3,3 q / ha), mais toujours inférieur à la moyenne globale (3,53 q / ha). Le poids de mille grains (PMG) était le plus élevé chez cette variété (53,83 g) tandis qu'il était de 47,45 à 50,36 g pour les autres variétés. Elle a le niveau le plus bas en mitadinage (7,31%), mais pour la teneur en protéines (PROT) elle a montré la plus faible moyenne (13,52%). La variété Gta / Dur69 qui est un des génotypes nouvellement cités montre également des différences très hautement significatives entre les sites. Les groupes homogènes sont représentés dans le tableau 4. L'autre nouvelle variété Lahn / Ch12003 a aussi présenté des résultats concluants que Gta / Dur69. Ces résultats permettent de conclure qu'il ya en général une variation spatiale pour tous les caractères dans les différents sites d'étude.

Tableau 4.2 résultats de l'Anova de la comparaison entre sites par variété et par paramètre

	WAHA	BOUSSELAM	LAHN/CH1 2003	GTA/DUR69	Moyenne globale
Hum	12.79***	13.1***	12.51***	12.6***	12.86
PROT	14.3***	13.52***	13.79***	13.99***	13.91
Mouch	7.08***	11.32***	9.41***	24.38***	13.05
PMG	47.45***	53.83***	50.36***	48.36***	49.94
Mit	9.51***	7.31***	9.12***	11.96***	9.37
RDT	3.303**	3.429***	3.971**	3.576***	3.527

P>0.05 NS. P≤0.05*. P≤0.01**. P≤0.001***

Tableau 4.3 Résultats de la comparaison entre les sites par variété et par paramètre et les groupes homogènes (génotype / environnement) : ANOVA et Tukey

Varietis/location	RDT	PMG	PROT	Mit	Mouch	Hum
Waha/Guelma	26.80 b	44.627b	12.867b	25.604a	0.983 b	12.800ns
Waha/Setif	45.850 a	51.887a	12.867b	2.583 b	7.050 a	12.767ns
Waha/Tiaret	26.440 b	45.853b	17.267a	0.354 c	7.200 a	12.800ns
Boussellem/Guelma	35.53 a	43.187a	12.167a	20.875a	0.833 a	12.800 b
Boussellem/Setif	43.610a	61.553b	11.533b	0.8125b	10.067b	13.500 a
Boussellem/Tiaret	23.750b	56.757c	16.867c	0.250 b	11.067c	13.00 b
GTA-Dur69/Guelma	37.06 a	43.057a	10.533a	35.542a	2.066 a	12.833 a
GTA-Dur69/Setif	43.970a	52.820b	14.533b	0.229 b	20.700 b	12.067 b
GTA-Dur69/Tiaret	26.271b	49.207c	16.933c	0.104 b	10.750 c	12.90 a
Lahn -Ch1 2003/Guelma	42.53 a	40.193b	11.633b	24.667b	5.017 b	12.267 b
Lahn -Ch1 2003/Setif	46.900a	57.760a	13.067b	2.229 b	9.660 a	12.200 b
Lahn -Ch1 2003/Tiaret	29.687b	53.020b	16.667a	0.479 a	7.567 a	13.067 a

4.3.4 Analyse de l'interaction Génotype x Environnement

La plus grande proportion de la variabilité observée pour la teneur en protéine a été attribuée à l'effet du site qui a contribué pour plus de 95% ($p < 0,001$) à la variabilité totale (tableau 4.4). Plusieurs auteurs ont en effet montré qu'en agriculture pluviale, l'effet de l'environnement sur le rendement et les paramètres de qualité en conditions méditerranéennes est souvent lié aux conditions climatiques qui prévalent durant le remplissage des grains à partir des assimilats accumulés dans la tige (Garrido- Lestache *et al.*, 2005; Elhani *et al.*, 2007; Bahlouli *et al.*, 2008). Lorsque l'on compare les différents sites, Tiaret a connu des conditions de sécheresse alors que Guelma a reçu la plus grande quantité de précipitations durant la période reproductive pendant l'hiver. Ces conditions peuvent être à la base d'une meilleure utilisation efficace de l'eau par les variétés de blé qui aurait amélioré l'absorption et la translocation des éléments nutritifs pour produire des grains de meilleure qualité (Diacono *et al.*, 2012). Ceci peut expliquer les résultats observés pour Tiaret et Sétif qui ont montré des teneurs élevées en protéines.

Durant cette saison culturale, Sétif a eu les meilleurs rendements par rapport à Guelma ou Tiaret (respectivement 4,5 ; 3,5 et 2,5 q /ha). Les conditions de sécheresse à Tiaret ont probablement été à la base de cette baisse de rendement (Annicchiarico et Mariani, 1995; Monneveux *et al.*, 2006; Villegas *et al.*, 2010; Rizza *et al.*, 2012) mais, comme cela est généralement le cas, les baisse de rendement dues au stress hydrique sont généralement associée à de plus grande teneur en protéines (Oweis *et al.*, 1999; Rharrabti *et al.*, 2003b; Flagelles *et al.*, 2010; Diacono *et al.*, 2012; Hussain *et al.*, 2012).

Tableau 4.4 Effet de variété, sites et leurs interactions (% des carrés moyens) sur les grains de blé dur

PRAMETRES	SITE	var	Site*var
H	22,45***	38,59***	38,95***
Prot	95,79***	0,10***	4,09***
Mouch	75,60***	14,68***	9,70***
PMG	83,44***	11,32***	5,23***
Mit	97,17***	1,18***	1,63***
RDT	96,74***	1,76NS	1,49NS

4.4 Discussion

Les différentes conditions de croissance de chaque site ont montré qu'elles étaient plus favorables dans la zone littorale plutôt que dans les sites des hauts plateaux où le climat est plus continental. En zone méditerranéenne, on considère que la période végétative va de Décembre à Février et que la période reproductive intervient entre les mois de Mars et de Mai (Basso *et al.*, 2012). Les conditions climatiques du site de Tiaret qui a connu une période de sécheresse avec un total de 28,6 mm de précipitations reproductives au moment de l'épiaison, période la plus critique pour la formation des épis et le remplissage des grains, ont résulté en une baisse du rendement moyens des variétés (2,5 q/ha) due essentiellement au stress hydrique. Le site de Guelma a reçu la plus grande quantité de précipitations reproductives avec un total de 406,6 mm; de l'épiaison à la maturité physiologique, il a reçu 128,8 mm qui ont permis d'obtenir un bon rendement moyen (3,5 q / ha) supérieur au site de Tiaret de près d'une tonne (Dagnelie, 2003; Basso *et al.*, 2012; Juan-Aracil *et al.*., 1995; Rizza, 2012), montrant que les niveaux de pluviométrie influençaient fortement l'expression du rendement du blé ainsi que sa qualité; ce qui a été rapporté par différents auteurs dans les environnements méditerranéens (Baenziger, 1985; Bahlouli *et al.*, 2008; Diacono *et al.*, 2012).

Le taux de mitadinage a été très bas dans les sites des hauts plateaux avec des valeurs inférieures à 5% alors qu'il a été élevé dans les zones humides et, généralement supérieur à 20%. Cette situation est probablement due au lessivage de l'azote du sol par les fortes précipitations qui en réduit l'absorption par les plantes. En effet, le mitadinage est généralement associé à des faibles taux en protéines du grain qui résulte souvent d'une mauvaise utilisation de l'azote du sol (Desclaux, 2000 ; Rharrabti *et al.*, 2003 ; Fernandez et Conner, 2011). Le pourcentage élevé de moucheture a été observée de manière prévisible dans l'environnement le plus humide, soit Guelma (Akman *et al.*, 2013).

4.5 Conclusion

Les résultats obtenus par les différentes analyses (moyenne, variance, test de Tukey) montrent qu'il existe une forte variation spatiale entre les différentes variétés pour tous les paramètres de qualité pris en compte dans cette étude. Les différences étaient hautement significatives dans toutes les variétés pour tous les caractères sauf pour le rendement en grain à Guelma et Sétif. L'humidité était dans une bonne gamme pour tous les sites avec une moyenne

de 12,8%. La teneur en protéines atteint le niveau le plus élevé sur le site de Tiaret et, la meilleure variété en termes de protéine a été Waha avec 14,3%.

Il est important de noter que les meilleurs rendements ne sont pas toujours liés au meilleur niveau de protéine ce qui signifie que la quantité du produit n'implique pas toujours sa qualité. Nos résultats ont montré les excellents résultats qui sont apparus pour la teneur en protéines avec très peu de mitadinage dans les grains et un haut PMG dans le haut plateau des sites semi-arides impliquant clairement que les conditions de culture pluviale dans les sites semi-arides offrent la meilleure opportunité pour la production de bon qualité de blé dur.

Ainsi, cette étude de la variabilité spatiale du comportement du blé dur en Algérie montre que les facteurs climatiques qui favorisent la productivité des variétés sont souvent antagonistes à l'obtention de grains de qualité supérieure alors que les facteurs qui améliorent la qualité du grain ne permettent généralement pas d'obtenir des rendements adéquats. Ces résultats suggèrent donc que des travaux de sélection et d'amélioration soient réalisés dans chaque site de production afin de concilier l'augmentation des rendements des variétés avec la production de grains de meilleure qualité.

Conclusion générale

Conclusion générale

La satisfaction des besoins des algériens en produits céréaliers est un enjeu majeur de la production agricole du pays afin de réduire la dépendance du pays vis-à-vis de l'extérieur. Cette situation est d'autant plus importante que la majorité des systèmes de productions sont entre les mains des paysans qui pratiquent une agriculture traditionnelle qui est fortement tributaire des conditions climatiques. Les grandes zones de production céréalière en Algérie n'échappent pas à cette situation et les différentes variétés de blé dur cultivées dans ces milieux expriment des qualités technologiques fortement tributaires du site de production et des variations météorologiques de la saison culturale. C'est dans le but d'étudier à la fois la variabilité spatiale et temporelle de quelques paramètres technologiques des variétés de blé dur utilisées en Algérie que la présente étude a été initiée afin d'apporter un complément d'information aux acteurs de la recherche, plus particulièrement ceux impliqués dans les processus d'amélioration des variétés afin de leur permettre de mieux orienter leurs choix en fonction de sites de production.

Une étude de la variabilité des paramètres technologiques a été effectuée pour les saisons culturales 2003/2004 et 2004/2005. Les variétés utilisées pour cette étude ne sont plus actuellement utilisées par les agriculteurs et ne sont principalement cultivées qu'en station de recherche à cause de leur forte sensibilité aux facteurs climatiques et à la baisse des rendements qui s'en sont suivies. Les résultats de cette étude ont montré qu'un groupe de variétés était sensible à la variabilité spatiale des facteurs environnementaux alors qu'ils existaient des variétés présentant une stabilité spatio-temporelle par rapport aux paramètres technologiques. En outre, la variation de la pluviométrie dans les différentes zones d'étude a été le facteur déterminant des différences observées dans le comportement des variétés.

Une deuxième étude de la variabilité spatiale des paramètres technologiques a été effectuée pour la saison culturale 2007/2008. Les cultivars utilisés pour cette étude sont des lignées avancées et quelques variétés locales (Waha, Bousselem, Gta Dur, MBB..) utilisées comme des variétés témoins dans le but d'étudier la qualité technologique de ces nouvelles lignées et de sélectionner pour chaque site d'étude les cultivars qui donnent le bon rendement. Les résultats de cette étude ont montré que malgré l'introduction de nouvelles variétés de blé, à « haut rendement », les géotypes locaux (peu productifs) restent les mieux adaptés aux conditions climatiques de nos terres, et que les facteurs agro-climatiques ont une influence très importante sur la couleur, le taux de moucheture et le mitadinage des grains de blé dur.

Une troisième étude de la qualité technologique de quatre variétés de blé dur cultivées au niveau de trois sites différents a été réalisée en vue d'évaluer les performances d'une variété nouvellement introduite par rapport aux variétés locales largement utilisées au niveau du territoire algérien. Les résultats de cette étude ont montré que les nouvelles variétés (ex :Lahne) ont présenté des rendements de bonne qualité au niveau des trois sites de culture, et que les excellents résultats qui sont apparus pour la teneur en protéines avec très peu de mitadinage dans les grains et un haut PMG dans le haut plateau des sites semi-arides impliquent clairement que les conditions de culture pluviale dans les sites semi-arides offrent la meilleure opportunité pour la production de qualité du blé dur.

Les résultats obtenus dans les différentes parties de notre travail ont confirmé que les paramètres technologiques dépendent du génotype, de l'environnement et de l'interaction entre ces deux facteurs. L'évaluation des résultats de la campagne agricole 2007/2008 a permis de conclure que le taux de mouchture et le mitadinage sont, chez tous les cultivars étudiés, les paramètres qui présentent une variation spatiale très importante. Pour ces deux paramètres, les excès d'humidité durant la période reproductive ont joué un rôle majeur pour leur expression. Par contre des lignées nouvellement introduites ont montré une faible variabilité spatiale pour quelques paramètres de qualité dont le poids de mille grains est le paramètre le plus commun.

Nos données de la campagne agricole 2010/2011 ont montré des excellents résultats qui sont apparus pour la teneur en protéines avec très peu de mitadinage dans les grains et un haut PMG dans le haut plateau des sites semi-arides impliquant clairement que les conditions de culture pluviale dans les sites semi-arides offrent la meilleure opportunité pour la production de grains de bonne qualité de blé dur. On constate aussi que pour cette période d'étude ce sont les variétés locales qui présentent les meilleures qualités (ex : Waha).

Les différentes études menées dans les différents sites durant les différentes années ont aussi montré que les variétés produisant un rendement élevé en grains génèrent généralement des grains de mauvaise qualité, en particulier pour le rendement en semoule. Inversement, les variétés produisant des grains de bonne qualité ont généralement des faibles rendements. Ainsi, dans le but d'améliorer la gestion de leur culture, il serait recommandé aux agriculteurs dans les différents sites de production, de travailler en étroite collaboration avec les structures de la recherche tels que l'ITGC ou l'INRA dans le but de sélectionner des variétés présentant les meilleures performances à la fois en terme de productivité et de qualité. Bien que cela représente souvent un idéal pour le sélectionneur, il est important que de plus en plus d'efforts soient

entrepris en vue d'inclure les performances technologiques dans les descriptions des variétés, notamment en fonction des sites de production afin d'encourager les agriculteurs à mieux orienter leur choix pour permettre à la population de bénéficier au maximum de produits à base de blé de qualité supérieure.

Références bibliographiques

ABDELGUERFI A., LAOUAR M. (2000). Les ressources génétiques des blés en Algérie. Passé, présent et avenir. Symposium blé 2000 : *enjeux et stratégies*. Pp 133-145

ABECASSIS J., BOGGINI G., CUQ B., NAMOUNE H. (2013). Other Traditional Durum Derived Products, in: M.J. Sissons., M. Carcea., M. Marchylo., J. Abecassis. *Durum Wheat: Chemistry and Technology*, seconde éd. AACC International, in press.

ABECASSIS J. (1993). Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Ind. Céréales* N° 81. pp 35

AIT KAKI S. (2002). Evaluation de la qualité d'un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf) : appréciation de l'aptitude technologique et biochimique. *Mémoire. Magistère*. Univ. Annaba. 130p

AIT KAKI S. (2008). Contribution à l'étude de l'interaction génotype X milieu pour la qualité technologique chez le blé dur. *Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences*. Université Badji Mokhtar Annaba, 127p

AIT KAKI Y. (1993). Contribution à l'étude des mécanismes morpho physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 05 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mémoire. Magistère*. Univ. Annaba

AKMAN H., TAMKOC A., TOPAL A. (2013). Effects on Yield, Yellow berry and Black Point Disease of Fertilization Applications in Hungarian Vetch and Durum Wheat Intercropping System. In: Ozdemir, C., Şahinkaya, S., Kalıpcı, E., Oden, MK. Digital Proceeding of the ICOEST.2013. *Nevsehir*, Turkey: Cappadocia

ALAUSE J., ET FEILLET P. (1970). Metodo semplice ed obiettivo per la previsione del colore delle paste alimentari. *Technica Molitoria*, 21: 511-517.

ALCOZ M., M HONZ M.F., HABY V. A. (1993). Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *J. 85:1198 -1203*.

ANNICCHIARICO P., BELLAH F., CHIARI T. (2005). Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Journal of Cereal Science*

ANNICCHIARICO P., MARIANI G. (1995). Prediction of adaptability and yield stability of durum wheat genotypes from yield response in normal and artificially drought-stressed conditions. *Field Crops Res.* 46: 71–80.

ANNICCHIARICO P., BELLAH F., CHIARI T. (2006). Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agron.* 24: 70–81. doi:10.1016/j.eja.2005.05.003

ARAUS J.L., REYNOLDS M.P., ACEVEDO E.(1993). Leaf posture, grain yield, growth, leaf structure and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Sci.* 33:1273–1279

AUTRAN J.C. (1984). Identification varietales à partir des constituants protéiques. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. *Coll. Sc. Tech. Agr. Alim.* Lavoisier

AUTRAN J.C., ABECASSIS J., FEILLET P. (1986). Statistical Evaluation of Different Technological and Biochemical Tests for Quality Assessment in Durum Wheats. *Cereal Chem.* 63(5):390-394

AYOUB M., GUERTIN S., LUSSIER S., SMITH D.L. (1994). Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canada. *Crop Sci.*, 34: 748–56

BAENZIGER P.S., CLEMENTS R.L., MCINTOSH M.S., YAMAZAKI W.T., STARLING T.M., SAMMONS D.J., JOHNSON J.W. (1985). Effect of cultivar, environment, and their interaction and stability analysis on milling and baking quality of soft red winter wheat. *Crop Sci.* 25:5–8.

BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A. (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(1):31-39.

BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A. (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(1): 31–39.

BALDY C. (1993b). Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier. *Ed INRA.* pp. 83-99

BASSO B., FIORENTINO C., CAMMARANO D., CAFIERO G., DARDANELLI J. (2012). Analysis of rainfall distribution on spatial and temporal patterns of wheat yield in Mediterranean environment. *Europ. J. Agron.* 41:52-65

BASSU S., ASSENG S., MOTZO R., GIUNTA F. (2009). Optimising sowing date of durum wheat in a variable Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 111: 109-118. doi:10.1016/j.fcr.2008.11.002

BENBELKACEM A., SADLI F., BRINIS L. (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. In : DiFonzo N. (ed.), Kaan F. (ed.), Nachit M. (ed.). Durum wheat quality in the Mediterranean region. Zaragoza: *CIHEAM.* p. 61 -65 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 22)

BENBELKACEM A. (1996). Adaptation of cereal cultivars to extreme agroecologic environments of North Africa. *Field Crops Res.* 45:49-55.

BENBELKACEM A., KELLOU K. (2000). Evolution du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. *Symposium blé 2000 enjeux et stratégie.* Pp192.

BLANCO A., COLASUONNO P., GADALETA A., MANGINI G., SCHIAVULLI A., SIMEONE R., DIGESU A.M., DE VITA P., MASTRANGELO A.M., CATTIVELLI

- L.(2011). Quantitative trait loci for yellow pigment concentration and individual carotenoid compounds in durum wheat. *J.Cereal Sci.* 54: 255–264.doi:10.1016/j.jcs.2011.07.002
- BLUMENTHAL C.S., BEKES F., BATEY I.L., WRIGLEY C.W., MOSS H.J., MARES D.J., BARLOW E.W.R.** (1991). Interpretation of grain quality results from wheat variety trials with reference to high temperature stress. *Aust. J. Agric. Res.* 42, 325–334
- BOGGINI G., DOUST M.A., ANNICCHIARICO P., PECETTI L.** (1997). Yielding ability, yield stability, and quality of exotic durum wheat germplasm in Sicily. *Plant Breed.* 116:541–545
- BORCHI B, CORBELLINI M, MINOIA C, PALUMBO M, DI FONZO N, PERENZIN M.**1997. Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality. *Eur. J. Agron.* 6, 145–154.
- BOUFENAR Z. F., ZAGHOUAN O.** (2006). *Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (Blé Dur, Blé Tender, Orge et Avoine)*. ITGC, ICARDA. pp.54-92
- BOUROCHE J.M., SAPORTA G.** (1980). Análise de dados. Tradução de: M. Penchel. Rio de Janeiro: Zahar Editores. 116 p
- BOUZERZOUR H., DJEKOUN A.** (1996). Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Revue Science et Technologies*, n°7. pp 16-28.
- CAMPBELL C.A., DAVIDSON H.R., WINKELMAN G.E.** (1981). Effect of nitrogen, temperature, growth stage and duration of moisture stress on yield components and protein content of Manitou spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 61, 549–563.
- CHAKER A.** (2003). *Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (Triticum durum Desf.)*. Mémoire. Magistère. Univ. Annaba.
- CHEHAT F.** (2007). Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « *Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation* » Alger : 7-9 avril 2007.
- CHERDOUH A.** (1999). *Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs Algériens (Triticum durum Desf.) : relation avec la qualité*. Mémoire Magistère. Univ. Constantine.
- CHERET R., MOREL M.H., SAMSON M.F.** (2003). Caractérisation physico-chimique du mitadinage chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.).*Ind. Céréales*.131
- DAGNELIE P.** (2006). Statistique théorique et appliquée. Tomme 2: *inférences à une et à deux dimensions*. Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER: pp.659
- DAGNELIE P.** (1986). *Analyse statistique à plusieurs variables. Gembloux, Pesses agronomiques*, pp. 362.
- DAGNELIE P.** (2003). *Principes d'expérimentation. Panification des expériences et analyse de leurs résultats*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, pp.397.

- DELEENS E., CLIQUET J.B., PRIOUL J.L.**(1994). Use of ¹³C and ¹⁵N plant label near natural abundance for monitoring carbon and nitrogen partitioning. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:133–146
- DESCLAUX D .**(2000). Environmental conditions inducing black-point symptoms in durum wheat. In: Royo C. (ed.), Nachit M., (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: *CIHEAM*, (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; 40:501-503.
- DESCLAUX D .**(2005). *Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin*. Rapport du projet de recherche. INRA. Montpellier. France, P. 120.
- DEXTER J.E., CROWLE W.L., MATSUO R.R., KOSMOLAK F.G.** (1982). Effect of nitrogen fertilization on the quality characteristics of five north American amber durum wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.*, 62 : 901-912
- DIACONO M., CASTRIGNANO A., TROCCOLI A., DE BENEDETTO D., BASSO B., ANDRUBINO P.** (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Res.* 131: 49–62. doi:10.1016/j.fcr.2012.03.004
- DJERMOUN A .**(2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 01:45-53
- ELHANI S., MARTOS V., RHARRABTI Y., ROYO C., GARCIA DEL MORAL L.F.** (2007). Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research* 103: 25–35
- FEILLET P., ABECASSIS J.** (1976). Valeur d'utilisation des blés durs C.R. *Semaine d'étude céréaliculture* Gembloux, 551-560 p
- FEILLET P., AU TRAN J.C., ICARD-VERNIERE C.**(2000). Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires. In : Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges . Zaragoza : *CIHEAM*. p. 431 -438 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n . 40).
- FEILLET P., DEXTER J.E.** (1996). Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In "*Monograph on Pasta and Noodle Technology*", Matsuo R.R., Minnesota, A.A.C.C. N°95. pp132.
- FEILLET P., AUTRAN J.C., ICARD-VERNIERE C.** (2000). Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires. In: Royo, C., Nachit, M., Di Fonzo, N., Araus, J.L. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: *CIHEAM*. p. 431–438.
- FEILLET P., JEANJEAN M.F., KOBREHEL K., LAIGNELET B.** (1974). Le brunissement des pâtes alimentaires. *Bull. ENSMIC*, 262 : 190-194.

FERNANDEZ M.R. et CONNER R.L. (2011). Black Point and Smudge in Wheat. *Prairie Soils Crops J.* 4: 158–164.

FEUILLET P. (2000). Le grain de blé. Composition et utilisation. *Edition INRA*. pp.58-75.

FLAGELLA Z., GIULIANI M.M., GIUZIO L., VOLPI C., MASCI S. (2010). Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *Eur. J. Agron.* 33: 197–207.doi:10.1016/j.eja.2010.05.006.

FAO. (2003). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Rome. Vol . 12 329p.

FAO. (2005). *Utilisation des engrais par culture en Algérie*. FAO Rome,61 p.

FAO. (2012). *Decent rural employment for food security: a case for action*. Rome.

GARRIDO-LESTACHE E., LOPEZ-BELLIDO R.J., LOPEZ-BELLIDO L. (2005). Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. *Eur. J. Agron.* 23: 265–278. doi:10.1016/j.eja.2004.12.001.

GELETO T., TANNER D.G., MAMO T., GEBEYEHU G. (1995). Response of rainfed bread and Durum wheat to source, level and timing of nitrogen fertilizer on two Ethiopian vertisols. 1. yield and yield components. *Commun. Soil Sci. and Pl. Anal.*, 26(11-12):1773-1794.

GELETO T., TANNER D.G., TEKALIGN M, GETINET G. (1996). Response of rainfed bread and durum wheat to source, level and timing of nitrogen fertilizer on two Ethiopian Vertisols: II. N uptake, recovery and efficiency. *Fertilizer Research* 44:195-204.

GODON B., LOISEL W. (1984). Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. *Coll. Scien. Et Tech. Agro-Alimentaires*. APRIA. pp. 47 – 50.

GOODING M.J. et DAVIES W.P. (1997). *The production and utilization of wheat, system, quality and the environment*, 352 pp. Oxford. CAB International, Wallingford, U.K.

GRAYBOSH R.A., PETERSON C.J., BAENZIGER P.S., SHELTON D.R. (1995). Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. *J. Cereal Sci.* 22, 45–51.

GRICNAC P. (1981). *Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. Séminaire de Bari*. CEE. Univ Bologne. pp .185 – 195.

GRIGNAC, P. (1970). Amélioration de la qualité des variétés de blé dur. *Ann. Amélior. Plantes*, 20 : 159-188.

HAZMOUNE T.(2000). Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie : perspectives. In : Royo C.(ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges . Zaragoza : *CIHEAM*. p. 291-294 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40).

HOULIAROPOULOS E., ABECASSIS J., AUTRAN J.C. (1981). Produits de mouture du blé dur : Coloration et caractéristiques culinaires. *Industries des Céréales*, 12 : 3-13.

- HUSSAIN M., KHAN A.S., KHALIQ I., MAQSOOD M.** (2012). Correlation studies of some qualitative and quantitative traits with grain yield in spring wheat across two environments. *Pak. J. Agri. Sci.* Vol. 49(1), 1-4.
- I.T.C.F** (institut technique des céréales et des fourrages) (2001) : *Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux*. Lavoisier, France : 60-83 p.
- ICARD C., FEILLET P.** (1996). Effets des phénomènes d'oxydoréduction au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. *Cahier Scientifiques. Vol 114. Ind. Alim. Agr.* pp. 5 -17.
- Irani P.** (2000). Pasta Quality Traits of some Durum Wheat Varieties. *J. Agr. Sci. Tech.* 2: 143–148.
- IRVINE G.N., ANDERSON J.A.** (1952). Factors affecting the colour of macaroni IV. Semolina particle size. *Cereal Chem.*, 30 : 334-342.
- JOHNSON V.A., MATTERN P.J.** (1987). Wheat, rye, and triticale. In: Lopez-Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., Lopez-Garrido F.J. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.*, 57: 265-276.
- JUAN-ARACIL J., MICHELENA A.** (1995). Durum wheat in Spain. In: DiFonzo, N., Kaan, F, Nachit, M. (Eds.). Proceedings of the Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. *Options Méditerranennes* 22:129–121.
- KEZIH R., BEKHOUCHE F., MERAZKA A.** (2014). Some traditional Algerian products from durum wheat. *Afr. J. Food Sci.* 8: 30–34. doi: 10.5897/AJFS2013.1095.
- KOBREHEL K., LAIGNELET B., FEILLET P.** (1972). Relation entre les activités peroxydasiques et polyphénol oxydasiques des blés durs et le brunissement des pâtes alimentaires. *C. R. Acad. Agric.*, 58 : 1099-1106.
- KOBREHEL K., LAIGNELET B., FEILLET P.** (1974). Study of some factors of macaroni brownness. *Cereal Chem.*, 51 : 675-684.
- LOPEZ-BELLIDO L., FUENTES M., CASTILLO J.E., LOPEZ-GARRIDO F.J.** (1998). Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.*, 57: 265-276.
- LOPEZ-BELLIDO R.J et LOPEZ-BELLIDO L.** (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Res.* 71: 31–46.
- LU G., HUANG H., ZHANG D.** (2005). Prediction of sweetpotato starch physiochemical quality and pasting properties using near-infrared reflectance spectroscopy. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods*. Pp 85-90.
- MADANI M.** (2009). Qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticale). Laboratoire de Technologie. *I.T.G.C.*

- MARIANI B.M., D'EGIDIO M.G., NOVARO P.** (1995). Durum wheat quality evaluation: influence of genotype and environment. *Cereal Chem.* 72:194–197.
- MATSUO R. R., DEXTER J.E., KOSMOLAK F.G., LEISLE D.** (1982). Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* N°59.
- MESLEM M.** (1992). *Le phosphore assimilable dans les sols des Hautes Plaines Sétifiennes : analyses chimiques et isotopiques, incidences sur la fertilisation phosphatée.* Thèse Mag. Univ. Sétif.
- MICHELENA A., ROMAGOSA I., MARTIN J.A., LOPEZ A.** (1995). Influencia ambiental y varietal en diferentes para'metros de calidad y rendimiento en trigo duro. *Invest. Agric.* 10:192–201.
- Minitab X.** (2000). Reference manual, release 13.31 for Windows. *P.A. state college*, Minitab, 1047 pp.
- Ricordeau, G., 1983.** Aspect génétique de la viabilité des agneaux. *Revue de l'élevage ovin*, partie n° 302. Mars, p 13.
- MONNEVEUX P., REKIKI D., ACEVEDO E., MERAH O.** (2006). Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Sci.* 170: 867–872.doi:10.1016/j. plantsci. 2005. 12.008.
- NACHIT M.M., BAUM M., IMPIGLIA A., KETATA H.** (1995). Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean region. In: Di Fonzo N, Kaan F, Nachit M. (Eds.), *Proceedings of the Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. Options Mediterraneennes* 22:181–187.
- NEDJRAOUI D.** (2003). Les mécanismes de suivi de la désertification en Algérie proposition d'un dispositif national de surveillance écologique à long terme. *Doc. OSS*, 37 P.
- NOVARO P., D'EGIDIO MG., BACCI L., MARIANI B.M.** (1997). Genotype and environment: their effect on some durum wheat quality characteristic. *J. Genet. Breed.* 51:247–252.
- OTTMAN M. J., DOERGE T. A., MARTIN E. C.** (2000). Durum grain quality as affected by nitrogen fertilization near anthesis and irrigation during grain fill. *Agronomy Journal* 92:1035-1041.
- OWEIS T., PALA M., RYAN J.** (1999). Management alternatives for improved durum wheat production under supplemental irrigation in Syria. *Eur. J. Agron.* 11: 255–266.
- PAGANI M.A., RESMINI P., PELLEGRINO L.** (1992). Technological parameter affecting the Maillard reaction in pasta processing. *Tecnica Molitoria*, 43 : 577-592.
- PALM R.** (2000). *L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante: principes et applications.* Note stat. Inform. (Gembloux), 40 p.
- PETERSON C.J., GRAYBOSCH P.S., BAENZIGER P.S., GROMBACHER A.W.** (1992). Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32:98–103.

- RAO A.C.S., SMITH J.L., JANDHYALA V.K., PAPENDICK R.I., PARR J.F.** (1993). Cultivar and climatic effects on protein content of soft white winter wheat. *Agron. J.* 85, 1023–1028.
- RHARRABTI Y.C., ROYO D., VILLEGAS N., APARICIO L.F., GARCIA DEL MORAL L.F.** (2003). Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Res.* 80:133-140.
- RHARRABTI Y., ROYO C., VILLEGAS D., APARICIO N., GARCIA DEL MORAL L.F.** (2003a). Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Res.* 80: 123–131.
- RHARRABTI Y., VILLEGAS D., GARCÍA DEL MORAL L.F., APARICIO N., ELHANI S., ROYO C.** (2001a). Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breed.* 120, 381–388.
- RHARRABTI Y., VILLEGAS D., ROYO C., MARTOS-NUNEZ V., GARCIA DEL MORAL L.F.** (2003b). Durum quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crop Res.* 80: 133–140.
- RIZZA F., GHASHGHAIE J., MEYER S., MATTEU L., MASTRANGELO A.M., BADECK F-W.** (2012). Constitutive differences in water use efficiency between two durum wheat cultivars. *Field Crops Res.* 125: 49–60. doi:10.1016/j.fcr.2011.09.001.
- ROBINSONJ M., HARDMANJ K., SLOANG L.** (1979). Relationship between lysostaphin endopeptidase production and cell wall composition in *Staphylococcus staphylolyticus*. *Journal of Bacteriology* **137**, 1 15 8- 1 164.
- SAMSON M.F et MOREL M.H.** (1995). Heat Denaturation of Durum Wheat Semolina β -Amylase : Effects of Chemical Factors and Pasta Processing Conditions *.Journal of Food Science.* Volume 60. N° 6.pp. 1313 – 1320.
- SAS INSTITUTE INC.**(1997). SAS/STAT Software: Changes and Enhancements through Release 6.12. *SAS Institute Inc., Cary, NC.*
- SOWERS K.E., PAN W.L., MILLER B.C., SMITH J.L.** (1994) Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86: 942-948.
- TERMAN G., RAMIG R., DREIER A., OLSON R.** (1969). Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. *Agronomy Journal* 61 p755-759.
- TRENTESAUX E.** (1995). Evaluation de la qualité du blé dur. In : DiFonzo N. (ed.), Kaan F. (ed.), Nach it M.(ed.). Durum wheat quality in the Mediterranean region . Zaragoza : *CIHEAM.* p. 53-59 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n . 22).
- UHLEN K.A., HAFSKJOLD R., KALHOVD A.H., SAHLSTRO'M S., LONGVA A°, MAGNUS E.M.**(1998). Effects of cultivars and temperature during grain filling on wheat protein content, composition, and dough mixing properties. *Cereal Chem.* 75, 460–465
- VILLEGAS D., CASADESUS J., ATIENZA S.G., MARTOS V., MARTOS F., KARAM F., ARANJUELO I., NOGUES S.** (2010). Tritordeum, wheat and triticale yield components

under multi-local mediterranean drought conditions. *Field Crops Res.* 116: 68–74. doi:10.1016/j.fcr.2009.11.012

WEIGAND C.(2011). Wheat import. Projections towards 2050. U.S. *Wheat Associates.* 13p.

WINGET M et CHALBI H .(2004). Cooking the North African Way. *Ed. Lerner Publications Company*, A division of Lerner Publishing Group 241 First Avenue North Minneapolis, MN 55401 U.S.A. p. 73

YKHLEF N., DJEKOUN A. (2000). Comportement hydrique, activité photochimique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T. durum* Desf.) : *Symposium blé 2000 : enjeux et stratégies.* Pp 156.

ZOUAOUI G. (1993). *Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères a intérêt agronomique.* Mem. Ing. D'Etat. I.N.R.A El Harrach. Alger. 7p.