

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Amélioration des productions végétales

ETUDE DE L'INTERACTION GENOTYPE-ENVIRONNEMENT SUR LES PARAMETRES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR (*Triticum durum Desf.*)

Par

ABIDI Lila

Devant le jury composé de

Mr. S.A. SNOUSSI	Professeur, USD Blida	Président
Mr. M. BENMOUSSA	Professeur, USD Blida	Promoteur
Mr. A. ACHOUCH	Professeur, USD Blida	Examineur
Mr. T. HADJ SADDOK	Chargé de cours, U. Blida,	Examineur

Blida, Novembre 2009

RESUME

Notre étude porte essentiellement sur douze variétés de blé dur cultivées au niveau des stations de recherche développement de l'I.T.G.C de Tiaret, Oued-Smar, Khroub et Sétif. Les buts poursuivis sont nombreux. Il s'agit essentiellement d'analyser la qualité et la productivité de chaque variété par rapport à son comportement et son adaptation selon les différentes régions. Les résultats de ces essais placés dans différentes zones climatiques révèlent qu'il existe un effet significatif de l'environnement sur le rendement en grains. Le meilleur rendement est obtenu à la station expérimentale de Sétif avec 50.62 qx/ha, suivie de la station de Oued-Smar avec 30.61qx/ha. L'analyse statistique des données montre une influence hautement significative de l'interaction « variétés x zones » pour la plupart des paramètres étudiés. Le poids de mille grains les plus élevés, 51g et 50.36g, sont obtenus à la station de Sétif, respectivement pour TR 32225 / GEDIZ // OFANTO et le témoin CIRTA. Au même site, les génotypes LABDY-37/ BUSCA-3 et le témoin BOUSSELAM réalisent les meilleurs rendements avec 54.89 qx/ha. Les résultats montrent aussi que le plus haut volume de sédimentation SDS est réalisé à Tiaret, avec 70ml pour le génotype PLATA-1/ SNM/ PLATA-9, témoignant d'une très forte force en gluten et d'une bonne qualité de semoule. Les valeurs les plus satisfaisantes en gluten sec et en protéines sont obtenues à Tiaret. Les teneurs les plus élevées 19,12 % et 20.76 % sont respectivement observées avec le témoin BOUSSELAM pour le gluten sec et avec TR32225 / GEDIZ // OFANTO pour les protéines des grains. Les variétés ainsi sélectionnées en fonction de leur zone de développement sont caractérisées par un haut rendement et sont pourvues de bonnes qualités agronomiques et technologiques.

Mots clés : blé dur, variétés, sélection, adaptation, interaction génotype x environnement.

SUMMARY

Our study deals essentially with 12 varieties of cultivated durum wheat in the stations of research development of the Technical Institute of field crops (I.T.G.C), of Tiaret, Oued-Smar, Khroud and Sétif. The objective of this research is mainly to analyse the quality and the productivity of each variety according to its behaviour and adaptation to the different environments. The results of these trials revealed that it exists a significant effect of the environment on the grains yields. The best yield is obtained at the experimental station of Sétif with 50.62 qx / ha, followed by the station of Oued-Smar with 30.61qx / ha. The statistical analysis showed a high significant influence of « varieties x zones » interaction for most of the studied parameters. The highest weights of thousand kernels 51g and 50.36g, are obtained at the station of Sétif, respectively for TR3225 / GEDIZ // OFANTO and the CIRTA control. At the same station, the genotypes LABDY-37 / BUSCA-3 and BOUSSELAM which was one of our control gave the best yields with 54.9qx /ha. The results also show that the highest sedimentation SDS volume is obtained in Tiaret with 70ml for the genotype PLATA-1 / SNM/ PLATA-9, showing a very high gluten strength and a good quality of semolina. The most satisfactory dry gluten and proteins values are obtained in Tiaret. The highest rate of 19.12% and 20.76 % are observed respectively with BOUSSELAM for the gluten and with TR3225 /GEDIZ //OFANTO for protein grains. The selected varieties according to their zone of development are characterized by a high yield and having a good agronomic and technological qualities.

Key words : durum wheat, varieties, selection, adaptation, genotype x environment interaction.

الملخص

إن دراستنا تتركز أساسا على اثني عشرة صنفا من القمح الصلب المزروع على مستوى محطات البحث و التطوير للمعهد الوطني للزراعات الواسعة (I.T.G.C) لتيارت ، واد السمار, الخروب و سطيف. إن الأهداف المنشودة كثيرة. و هي تحتوي أساسا على تحليل نوعية و إنتاج كل صنف من ناحية استجابته و تكيفه مع مختلف المناطق. إن نتائج هذه التجارب المتمركزة في مختلف المناطق المناخية توضح مدى التأثير الفعال على مردود الحبوب حيث أن أحسن نتيجة سجلت بسطيف بمعدل 50,62 ق/ها متبوعة بوادي السمار ب 30,61 ق/ها. إن التحاليل الإحصائية للمعطيات تبين تأثيرا إيجابيا و عالي التفاعل " أصناف X مناطق " لأغلبية العوامل المدروسة. فأعلى وزن لألف حبة قدر بين 51 غ و 50,36 غ حصل عليها بمحطة سطيف ب-TR 32225 / GEDIZ // OFANTO و بالشاهد CIRTA و بنفس المحطة حققت الأنماط الوراثية 3-BUSCA-37- LABDY و الشاهد BOUSSELAM أحسن مردود ب 54,89 ق/ها. أعلى حجم رسمي (SDS) حقق في تيارت ب 70 ملل بالنمط الوراثي PLATA-1/SNM/ PLATA-9 مدلا على قوة مهمة للقلوتان و بالتالي على نوعية جيدة من الدقيق . إن النتائج الجذ مرضية للقلوتان الجاف و للبروتينات حققت بتيارت. أعلى نسب 19.12% و 20.76% لوحظت بالشاهد BOUSSALEM للقلوتان الجاف و TR 32225 /GEDIZ //OFANTO لبروتينات الحبوب. إن انتقاء الأصناف المرتبطة بمحيط تطورها تتميز بمردود عال, ذو نوعية زراعية و تكنولوجية رفيعة.

الكلمات الدالة:

القمح الصلب , الانتقاء , الأصناف , تكيف, تفاعل النمط الوراثي X المحيط

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à **M^R M. BEN MOUSSA**, qui a bien voulu m'encadrer, m'orienter et m'encourager tout le long de ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de mon profond respect.

Mes remerciements les plus profonds et toute ma reconnaissance s'adressent à **M^R A. ACHOUCH**, qui me fait l'honneur de siéger dans ce jury. Grâce à sa compétence, il a été d'un grand apport à la réalisation de ce travail. Sa patience, son soutien moral et scientifique ainsi que ses précieux conseils m'ont permis de mener à terme ce projet. Qu'il trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.

A **M^R S.A. SNOUSSI**, qui me fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il reçoive ici, l'expression de mon plus grand respect.

A **M^R T. HADJ SADOUK**, qui me fait l'honneur d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de ma sincère reconnaissance.

Mes sincères remerciements s'adressent également :

A **M^R A. ZEGHIDA**, le Directeur l'ITGC, qui m'a bien accueillie au sein de son Institut, en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de mon expérimentation.

A **tout le personnel de l'ITGC**, en particulier à Amel Belloul et El-Arem, qui ont contribué à la réussite de mon expérimentation.

A **M^R S. BEDRANI**, Directeur du CREAD, Professeur et Chef de département d'économie à l'institut agronomique de l'INA pour son aide précieuse. Qu'il trouve ici, l'expression de ma sincère reconnaissance.

A **M^R MEKIMENE**, Chef de département de technologie alimentaire de l'Institut agronomique de l'INA, qui m'a permis de poursuivre mon expérimentation en mettant à ma disposition le matériel du laboratoire des sciences alimentaires.

A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

A la mémoire de ma douce et regrettée grand-mère, qui m'a toujours entourée d'amour et de tendresse. Présente à jamais dans mes pensées, elle m'accompagnera tout au long de ma vie.

A la mémoire de mon regretté père qui, riche de cœur et d'esprit, n'a jamais cessé de croire en moi. Homme de sciences et de culture, il m'a toujours encouragée à aller au bout de mes convictions.

A ma mère, dont le courage et la force de caractère m'ont servie de modèle pour me guider dans mes choix.

A mes proches, qui m'ont soutenue et encouragée dans l'accomplissement de ce travail.

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 2.1	Exportateurs principaux du blé dur.....	27
Figure 2.2	Production et importations de blé dur en Afrique du Nord.....	28
Figure 2.3	Importation de blé dur et de semoule en Algérie.....	30
Figure 5.4	Plan du dispositif expérimental.....	54
Figure 6.5	Effets de l'environnement sur la hauteur des plants à la floraison...	67
Figure 6.6	Effets du génotype sur la hauteur des plants à la floraison	67
Figure 6.7	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la hauteur des plants à la floraison.....	68
Figure 6.8	Effets de l'environnement sur le rendement en grains.....	72
Figure 6.9	Effets du génotype sur le rendement en grains.....	73
Figure 6.10	Effets de l'environnement sur le poids de mille grains.....	77
Figure 6.11	Effets du génotype sur le poids de mille grains	78
Figure 6.12	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le PMG.....	78
Figure 6.13	Effets de l'environnement sur le taux de moucheture.....	81
Figure 6.14	Effets du génotype sur le taux de moucheture.....	81
Figure 6.15	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le taux de Moucheture.....	82
Figure 6.16	Effets de l'environnement sur le taux de mitadinage.....	85
Figure 6.17	Effets du génotype sur le taux de mitadinage.....	85
Figure 6.18	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le taux de Mitadinage	86
Figure 6.19	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en eau des grains	89
Figure 6.20	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en eau des semoules.....	89
Figure 6.21	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le taux d'extraction des semoules.....	91

Figure 6.22	Effets taux de cendres des grains de l'interaction génotype x environnement.....	93
Figure 6.23	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le taux de cendres des semoules	93
Figure 6.24	Effets de l'interaction génotype x environnement sur le SDS.....	95
Figure 6.25	Effets de l'interaction génotype x environnement sur l'indice de jaune.....	98
Figure 6.26	Effets de l'interaction génotype x environnement sur l'indice de brun.....	98
Figure 6.27	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en gluten sec.....	102
Figure 6.28	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en gluten humide.....	103
Figure 6.29	Effets du génotype sur la capacité d'hydratation	103
Figure 6.30	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en gluten index	103
Figure 6.31	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en protéines des grains.....	108
Figure 6.32	Effets de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en protéines des semoules	108
Tableau 1.1	Famille des Gramineae	19
Tableau 1.2	Composition chimique du grain de blé	21
Tableau 1.3	Répartition des constituants dans les parties d'un grain de blé	22
Tableau 2.4	Consommation en blé dans quelques pays, 1961- 2003.....	25
Tableau 5.5	Répartition mensuelle des précipitations suivant les stations.....	45
Tableau 5.6	Répartition saisonnière de la pluviométrie 2006 /2007.....	46
Tableau 5.7	Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007.....	47
Tableau 5.8	Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007.....	47
Tableau 5.9	Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007.....	48
Tableau 5.10	Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007.....	48
Tableau 5.11	Variétés de blé dur	50
Tableau 5.12	Variétés témoins	51
Tableau 5.13	Caractéristiques des variétés témoins.....	52

Tableau 6.14 Classement des géotypes en fonction de l'indice SDS.....	97
Tableau 6.15 Echelle de classement des indices colorimétriques.....	100
Tableau 6.16 Classement des géotypes en fonction des teneurs en gluten.....	105
Tableau 6.17 Classement des géotypes en fonction des teneurs en protéines.....	112
Tableau 6.18 Résultats des paramètres agronomiques et technologiques des variétés de blé dur expérimentées.....	114

TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS.....	
DEDICACES	
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX.....	
TABLE DES MATIERES	
INTRODUCTION.....	14

1. ORIGINE, HISTOIRE ET CLASSIFICATION DU BLE

1.1 Origine géographique et histoire des blés cultivés	17
1.2 Origine génétique et classification botanique du blé.....	19
1.3 Composition histologique et chimique du grain de blé.....	20
1.3.1 Composition histologique	20
1.3.2 Composition chimique.....	21
1.3.3 Constituants des différentes parties du grain de blé	21
1.4 Valeur nutritionnelle du blé dur	22
1.5 Destinations des produits à base de blé dur.....	23
1.6 Qualité des blés durs.....	23
1.6.1 Critères de qualité des blés durs.....	24
1.6.2 Les différentes semoules consommées en Algérie.....	24

2. IMPORTANCE ECONOMIQUE ET SOCIALE DU BLE DUR

2.1 Le blé dur dans le monde	25
2.2 En Algérie.....	29

3. CULTURE DU BLE DUR

3.1 Cycle de développement du blé dur	31
3.1.1 Période végétative	31
3.1.2 Période de reproduction.....	32
3.1.3 Période de formation et de maturation.....	33
3.2 Impact de l'environnement sur le rendement du blé dur.....	34
3.2.1 Climat.....	34
3.2.2 Sol.....	36
3.2.3 Fertilisation azotée et minérale	36
3.2.4 Accidents de végétation	36
3.2.5 Zones de production du blé dur en Algérie	37

4. INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

4.1 Génotype	38
4.2 Environnement	38
4.2.1 Milieu	38
4.2.2 Facteurs de milieu contrôlés et non contrôlés.....	39
4.3 Phénotype	39
4.4 Interaction génotype x milieu	40
4.5 Bases génétiques de l'interaction génotype x milieu	40
4.6 Adaptation au milieu	41
4.7 Adaptation du génotype au milieu	41
4.8 Limites des modèles d'analyse des caractères quantitatifs.....	42

5. MATERIELS ET METHODES

5.1 Localisation des essais.....	43
5.2 Caractéristiques climatiques des sites.....	44
5.2.1 Pluviométrie selon les régions	45
5.2.2 Températures selon les régions.....	47
5.3 Protocole expérimental.....	50

5.3.1 Matériel végétal.....	50
5.3.2 Dispositif expérimental.....	53
5.3.3 Conduite de l'essai.....	54
5.4. Méthodes et paramètres mesurés en station.....	57
5.5 Méthodes et paramètres mesurés au laboratoire.....	57
5.6 Techniques d'analyse statistique.....	66

6. RESULTATS ET DISCUSSION

6.1 Hauteur.....	67
6.2 Rendements.....	72
6.3 Poids de mille grains.....	77
6.4 Moucheture.....	81
6.5 Mitadinage.....	85
6.6 Teneur en eau des grains et des semoules.....	88
6.7 Taux d'extraction des semoules.....	91
6.8 Taux de cendres des grains et des semoules.....	93
6.9 Test de sédimentation S.D.S.....	95
6.10 Coloration des semoules.....	98
6.11 Teneur en gluten sec, en gluten humide et en gluten index.....	102
6.12 Teneur en Protéines des grains et des semoules.....	108
6.13 Synthèse des résultats.....	113

CONCLUSION.....	118
-----------------	-----

APPENDICES.....	
-----------------	--

REFERENCES.....	
-----------------	--

INTRODUCTION

Le blé est la première céréale cultivée dans le monde. Cette denrée tant appréciée, représente l'une des plus importantes ressources alimentaires de l'Homme. Outre son importance économique et sociale, elle est aussi la principale source nutritive des pays sous-développés.

La céréaliculture est une composante importante des économies agricoles et alimentaires algériennes. Certes, de part l'importance des superficies occupées et compte tenu de leurs poids dans la sécurité alimentaire du pays, les enjeux politiques et économiques liés aux céréales sont considérables. En effet, représentant une source de revenus et d'activités, les céréales sont peu substituables, tant au niveau des productions que des consommations nationales. D'autre part, étant donné la primauté des dépenses alimentaires dans le budget des ménages algériens (50%), les prix des céréales déterminent en grande partie le niveau des salaires et de la consommation nationale [1]. Ainsi, malgré une rapide urbanisation de 4,5%, la population algérienne reste fortement rurale (46%) et les modèles de consommation laissent une large place aux céréales, aux blés en l'occurrence [1]. De ce fait, le blé dur représente la spéculation alimentaire la plus importante pour une large part de la population algérienne [2] et demeure un produit de base dans les habitudes alimentaires.

Selon CHEHAT [3], la céréaliculture algérienne occupe en moyenne, près de trois millions d'hectares sur une superficie totale de 6.8 millions d'ha, soit 44%. Les données statistiques du ministère de l'agriculture et du développement rural, indiquent que la sole réservée aux céréales au cours de la période (2001-2006) est de 3.177.500 hectares dont 30 % pour les orges et 43% de la superficie céréalière nationale pour le blé dur, soit en moyenne 1.350.000 hectares [4].

En dépit de ces grandes superficies normalement suffisantes pour la consommation, la production céréalière reste faible en Algérie à cause d'une multitude de facteurs d'ordre scientifiques (variétés plus adaptées) et organisationnels. Aussi, la non pratique de l'irrigation dans ce domaine reste un des problèmes technique majeur [5]. Outre les difficultés dues à une gestion aléatoire, au changement continu du statut des terres agricoles et à la non maîtrise des techniques de production, une grande part de ces terres cultivées se trouve en zone semi-aride, ce qui soumet la culture du blé dur à plusieurs contraintes. Cette situation, ne couvrant que 25 à 30% des besoins nationaux [2], est aggravée par la croissance démographique sans cesse croissante. La maîtrise des techniques culturales a permis une augmentation des rendements néanmoins, l'autosuffisance reste difficile à atteindre. Pour combler ce déficit estimé à 60 %, l'Algérie a recours aux importations des céréales qui représentent (38%) des importations agricoles [6]. Elle se retrouve ainsi, classée parmi les plus gros importateurs de blé dur. A titre indicatif, la quantité importée pour la saison 2005/2006, a atteint 5,5 millions de tonnes pour une facture de 510 millions de dollars US [7].

Afin de relever le défi de la demande et d'assurer la sécurité alimentaire du pays, l'amélioration de la qualité et du rendement ont toujours été les objectifs les plus recherchés pour le développement de cultivars. L'idéal serait donc, d'améliorer simultanément la rusticité et la qualité technologique du blé et cela dans une perspective d'agriculture durable plus respectueuse de l'environnement. Ces objectifs ne peuvent être atteints sans la création variétale et l'étude du comportement et de l'adaptation des variétés sélectionnées aux conditions du milieu. Les critères de sélection les plus recherchés sont :

- la stabilité du rendement
- une bonne qualité technologique
- la tolérance au stress abiotiques
- la résistance aux maladies
- Adaptation de la variété aux différentes zones agricoles

A cet effet, et à l'égard de l'importance du blé dur en Algérie, l'Institut Technique des Grandes Cultures a mis en place un programme d'amélioration visant à obtenir

des variétés combinant à la fois une bonne valeur agronomique et technologique. Notre contribution à ce projet de recherche consiste à tester la plasticité d'une gamme de génotypes introduits dans quatre environnements différents, à savoir Tiaret, Oued-Smar, Khroub et Sétif.

Notre souci majeur dans cette étude est de cibler des variétés dont les performances agronomiques et technologiques seront optimales dans différentes régions agricoles. C'est pourquoi, une telle stratégie nécessite une analyse approfondie de l'interaction Génotype x Environnement et ce, afin de déterminer le zonage optimal propre aux douze variétés étudiées.

CHAPITRE 1 ORIGINE, HISTOIRE ET CLASSIFICATION DU BLE

1.1 Origine géographique et histoire des blés cultivés

Les premières cultures de blés sont à l'origine de bouleversements majeurs pour les sociétés humaines. En effet, l'homme pouvant désormais produire sa propre nourriture, sa survie devient moins dépendante de son environnement, ce qui lui permet de se sédentariser.

Le blé représente une base de l'alimentation depuis la plus haute antiquité. Aux temps anciens, il semble avoir été consommé cru, puis grillé ou cuit sous forme de bouillie, puis de galettes sèches élaborées à partir des grains simplement broyés entre deux pierres. Au moyen âge, il s'impose comme l'aliment essentiel de la civilisation occidentale, en raison de la facilité de sa culture, de sa conservation, de son transport et surtout de sa haute valeur nutritive.

L'histoire de l'homme est intimement liée à celle des céréales à paille qu'il a très tôt appris à domestiquer, cultiver et sélectionner [8]. Le nomadisme a progressivement fait place à la sédentarité qui a permis la culture des céréales. Certes, le passage d'une civilisation de nomades (chasseurs, cueilleurs et éleveurs) à celle d'agriculteurs sédentarisés est le résultat de la domestication progressive des graminées cultivées dont la plus ancienne semble être celle du blé dur [9].

Le début de la période du Dryas fut localement un épisode climatique de sécheresse et de refroidissement, qui aurait abouti à l'arrêt progressif du mode de vie « chasseur-cueilleur » et entraîné la domestication de certaines plantes dont les blés, et *via* le stockage alimentaire, la création des premières communautés villageoises [10].

C'est au Proche-Orient que commence la récolte des blés sauvages tétraploïdes [11]. Leurs grands épis et leurs gros grains les rendent beaucoup plus intéressants comparativement aux blés diploïdes.

La domestication du blé, est un élément fondateur des premières civilisations humaines dans le croissant fertile (territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran [12]. Les villages du début du néolithique témoignent des premiers indices d'une agriculture vers 9.000 ans avant Jésus-Christ [13].

Les blés cultivés ont fait leur apparition il y a une dizaine de milliers d'années en Mésopotamie [9]; [14] foyer ancien de l'agriculture situé dans le Moyen- Orient, entre le Tigre et l'Euphrate. A partir de ce centre d'origine, la céréaliculture se répand vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil.

La diffusion de la culture du blé commence dans le Nord-Ouest et le Nord du Levant. Le principal courant vers l'Europe démarre à partir du bassin anatolien vers la Grèce selon deux routes, la première par les plaines côtières du bassin méditerranéen (Italie, France, Espagne) et la seconde au travers des Balkans puis en suivant la vallée du Danube pour arriver à la vallée du Rhin. Les restes archéologiques montrent que le blé atteint l'Ouest de l'Europe environ 5 000 ans avant JC. Dans le même temps, il diffuse vers l'Asie et l'Afrique [12]; [15].

En Afrique, la diffusion des blés se fait à travers plusieurs voies. La route la plus ancienne gagne l'Égypte vers – 6000 avant aujourd'hui et se poursuit vers le Soudan et l'Éthiopie, au sud, et vers la Libye à l'est. Les voies d'introduction maritimes se font à partir de la Grèce. Certains blés rejoignent également la Libye ; d'autres, en provenance du Sud de la péninsule italienne et de la Sicile, parviennent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie. Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente [12].

L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIXe siècle. À ce moment, l'amélioration génétique du blé par choix dans les populations cultivées et par hybridation s'est développée, aboutissant à un brassage important des différentes origines du blé.

1.2. Origine génétique et classification botanique du blé

Le blé dur (*Triticum durum*) appelé ainsi pour la dureté de son grain, est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae (Tableau1.1). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments.

Il a fallu des milliers d'années de culture et de sélection, renforcées par des travaux de cytogénétique, pour aboutir à la détermination du nombre de chromosomes de différentes espèces de blé. En fonction du degré de diploïdie, on différencie :

- Les diploïdes ou engrains (*Triticum monoccocum*) à 14 chromosomes.
- Les tétraploïdes à 28 chromosomes parmi lesquels on trouve le *Triticum durum* ou blé dur.
- Les hexaploïdes à 42 chromosomes dont fait partie le *Triticum aestivum* ou blé tendre. Ce dernier aurait été obtenu par hybridation de trois graminées à 14 chromosomes.

La méthode d'analyse génomique a clairement démontré que l'allopoloïdie a eu un rôle essentiel dans l'apparition du blé dur (*Triticum durum*) et du blé tendre (*Triticum aestivum*) [16]. Les formules génomiques attribuées à ces deux espèces les plus cultivées dans le monde ont été :

AABB ($2n = 4x = 28$) pour le blé dur et AABBDD ($2n = 6x = 42$) pour le blé tendre.

Tableau 1.1: Famille des Gramineae [9]

Famille	Sous-famille	Tribu	Sous-tribu	Genre	Nom commun
Gramineae	Festucoideae	Triticeae	Triticineae	<i>triticum</i>	blé tendre
		Aveneae			blé dur
				<i>secale</i>	seigle
				<i>hordeum</i>	orge
				<i>avena</i>	avoine
		Oryzeae		<i>oryza</i>	riz
	Panicoideae	Tripsaceae		<i>zea</i>	maïs
		Andropogoneae		<i>sorghum</i>	sorgho

Le blé (*Triticum*), le riz (*Oryza*) et le maïs (*Zea*), constituent la base alimentaire des populations du globe. Ces trois céréales, semblent avoir une origine commune **issue** d'une même espèce ancestrale, qui aurait contenu tous les gènes dispersés chez les trois espèces actuelles [13].

Le croisement naturel de deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* (génomme A) et une graminée sauvage *Aegilops speltoides* (génomme B), a permis l'apparition d'un blé sauvage (*T.turgidum ssp. dicoccooides*) [9]. D'après l'analyse moléculaire, le génome de *T. speltoides* s'apparente plus au génome B du blé dur et du blé tendre [17] ; [18]. En outre, l'analyse de l'ADN des chloroplastes montre que *T.speltoides* est probablement le donneur maternel du blé dur [19]. Le résultat de cette hybridation naturelle est l'amidonnier sauvage (*Triticum turgidum ssp. dicoccooides*) qui a été domestiqué plus tard, sous forme de blé amidonnier (*Triticum turgidum ssp. dicoccum*). Ce dernier s'est répandu du Proche-Orient jusqu'aux grandes régions productrices de la Méditerranée et du Moyen-Orient, y compris en Egypte et en Ethiopie puis, a évolué vers le blé dur cultivé (*Triticum durum*) [11]. Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel entre *T.turgidum ssp.dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) [9].

1.3 Composition histologique et chimique du grain de blé

1.3.1 Composition histologique

Un grain de blé est formé de trois régions anatomiques principales :

- l'albumen (80- 85 % du grain), constitué de l'albumen amylicé et de la couche à aleurone riche en protéines;
- les enveloppes de la graine ou du fruit (13-17 %), formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la gaine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe;
- le germe (3%), composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.

Le grain de blé a une couleur variant du jaune pâle à l'ocre [20]. Il est de forme ovoïde, avec une face dorsale plus ou moins bombée et une face ventrale traversée d'un sillon profond où se localisent les faisceaux nourriciers de la graine. Il possède un pôle apical où se trouve une « brosse » et un pôle basal où se situe le germe du grain. La présence du sillon est un caractère qui empêche d'ôter complètement le son du grain entier (contrairement au riz), ce qui explique pourquoi le blé est surtout utilisé après mouture en farine ou en semoule. La longueur du grain est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm son épaisseur entre 2.5 et 3.5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7.5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1.3 et 1.4 [9].

1.3.2 Composition chimique

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70 %), qui représente une importante source en glucides, de protéines (10 à 15 %) selon les variétés et les conditions de culture, de pentosanes (8 à 10 %), et d'autres constituants mineurs (quelques % seulement) : les lipides, les fibres (celluloses, hémicelluloses,...), les sucres libres, les minéraux (magnésium, phosphore, potassium, zinc, sodium, chlore et calcium). Il contient aussi, essentiellement de la vitamine PP(niacine) et E(tocophérols), les vitamines B1(thiamine), B2 (riboflavine) et B6 (pyridoxine) sont présentes en plus faible proportion [21].

Tableau 1.2 : Composition chimique du grain de blé [9]

Nature des composants	Teneur (% ms)
Protéines	10 - 15
Amidon	67 - 71
Pentosanes	8 -10
Cellulose	2 - 4
Sucres libres	2 - 3
Lipides	2 - 3
Matières minérales	1.5 - 2.5

1.3.3 Constituants des différentes parties du grain de blé

Les constituants du blé se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (Tableau 1.3). Ce tableau montre que l'on

peut isoler 97 % de l'amidon, 68 % des protéines et 59 % des lipides du grain en séparant l'amande des autres parties, alors que les autres constituants pariétaux se trouvent dans les tissus plus périphériques (dont seulement 35 % dans la partie protectrice formée par le péricarpe). Cette séparation mécanique des parties internes et périphériques des grains, est intéressante en industrie, pour isoler les constituants cellulosiques dans le processus de transformation.

Tableau 1.3 : Répartition des constituants dans les différentes parties d'un grain de blé. Valeurs de chacun des constituants exprimées en pourcentage de la matière sèche totale de ce constituant dans le grain [20].

Parties du grain	Amidon Glucides	Protéines	Lipides	Cellulose Hemicellulose Pentosanes	Minéraux
Péricarpe	0.8	3.7	1.4	35.0	9.7
Tégument séminal	0.2	1.5	1.4	7.8	7.3
Assise protéique	1.4	18.5	22.4	38.9	48.4
Germe	0.7	8.3	15.8	2.0	9.1
Amande	96.9	68.1	59.0	16.3	25.5
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

1.4 Valeur nutritionnelle du blé dur

La composition chimique du grain de blé révèle sa haute valeur nutritionnelle. Comme dans le grain de toutes les céréales, le constituant nettement majoritaire est l'amidon qui constitue environ les trois quarts de la matière sèche [22]. En conséquence, c'est un aliment très énergétique. La famille des constituants qui vient en deuxième position, est celle des protéines qui en font sa richesse principale, en dépit de leur déficit en certains acides aminés essentiels comme la Lysine [21].

Par ailleurs, seules les protéines de blé sont capables de s'associer en un réseau viscoélastique de gluten ; leurs propriétés mécaniques et rhéologiques sont donc spécifiques [20] et déterminent la qualité des produits finis. Viennent ensuite, les lipides qui sont en faible proportion dans le grain de blé, en revanche, ceux qui sont liés aux autres constituants (glucides et protides), jouent un rôle important dans la cohésion et les propriétés du gluten [21].

1.5 Destinations des produits à base de blé dur

Le grain de blé est doté de caractéristiques qui permettent l'obtention d'une matière première « la semoule », destinée elle-même à la transformation en d'autres produits finis. Grâce à la taille de son grain, sa vigueur et sa couleur d'ambre, le blé dur se prête à une gamme de produits alimentaires uniques et divers dont les pâtes et le couscous sont les plus connus. La force de son gluten, en fait le blé privilégié des transformateurs pour la préparation des pâtes, l'un des produits alimentaires de base pour une grande partie du monde, de même pour le couscous en Afrique du Nord. Le bulgur et le frik, sont des produits essentiels au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. On utilise aussi le blé dur dans la production de farine, surtout en Europe et au Moyen-Orient. Le blé dur s'adapte aussi aux céréales en flocons (celles du petit-déjeuner) et aux desserts [23]. En région méditerranéenne, le blé dur n'est pas utilisé de la même façon. Dans les pays européens, il est presque complètement destiné à la production de pâtes, alors qu'en Europe méridionale et en Afrique du Nord, ce dernier est utilisé équitablement pour la fabrication du pain, des pâtes, du couscous, du bulgur ainsi qu'à d'autres usages variés [11]. En Algérie, les utilisations de blé dur sont multiples. Globalement, les produits consommés peuvent être classés en quatre catégories : Galettes, pâtes et couscous, gâteaux et confiseries plus d'autres produits [24], tel que le Frik" très apprécié, qui est utilisé dans les soupes [25]. Quant aux résidus de la mouture des grains (son), ils sont utilisés dans l'alimentation humaine et animale puisqu'ils permettent d'ajouter des fibres aux aliments. Les résidus de récolte du blé dur (pailles et chaumes) sont la base de l'alimentation des petits et grands ruminants. Par ailleurs, les produits du blé (gluten et amidon) sont également utilisés dans la fabrication de produits non alimentaires, tels que des produits de beauté, des films et sacs de plastique, des savons, des produits en papier et de la colle.

1.6 Qualité des blés durs

La qualité du blé dur est complexe, elle se trouve conditionnée par des habitudes alimentaires, par les spécificités des blés et par les technologies de transformation utilisées [26]. Selon PORCEDDU [27], la qualité technologique du blé dur englobe toute une série de caractéristiques qui vont du rendement semoulier jusqu'à l'aptitude à la transformation de la semoule en pâtes. Cette qualité s'élabore du

semis à la récolte et doit répondre aux attentes des industriels, semouliers et pastiers.

1.6.1 Critères de qualité des blés durs

Les critères qui définissent la qualité d'usage du blé dur sont nombreux. Ils dépendent en partie de la variété et des techniques culturales.

Un bon blé dur est celui qui satisfera le consommateur final, pour lequel la qualité implique de répondre à des critères nutritionnels, organoleptiques et hygiéniques [28].

Ainsi,

- Les meilleures semoules sont pures et de couleur dorée, avec une granulométrie homogène et une bonne teneur en gluten pour la fabrication du couscous.
- Les variétés présentant des poids spécifiques élevés sont les plus demandées du fait que les unités de transformation se basent sur ce paramètre pour la trituration
- Les semoules pures dépourvues de son, sans moucheture et avec une qualité en protéines satisfaisante, sont les plus appréciées pour la fabrication des pâtes alimentaires.

1.6.2 Les différentes semoules consommées en Algérie

Trois sortes de semoules sont consommées en Algérie [25]. Elles sont classées selon leur granulométrie.

- Semoule SE : appelée aussi semoule extra, ses particules sont fines, elle présente une granulométrie dont le refus au tamis 120 est de 90%. Cette semoule est orientée vers la fabrication des pâtes alimentaires industrielles.
- Semoule SGM : appelée semoule moyenne, elle présente un refus au tamis 100 de 90%. Elle est généralement destinée à l'utilisation ménagère (couscous, galette, biscuits, crêpes, etc...) ainsi qu'à la fabrication du couscous industriel de type moyen.
- Semoule SG : c'est la grosse semoule avec un refus au tamis 30 et 40 de 50%. Elle est essentiellement orientée vers la fabrication du couscous type « gros ».

CHAPITRE 2

IMPORTANCE ECONOMIQUE ET SOCIALE DU BLE DUR

2.1 Dans le monde

Les céréales sont les principales sources de nutrition humaine et animale dans le monde. Elles constituent la base de l'alimentation de la plupart des méditerranéens et contribuent pour 35% à 50 % des apports caloriques de leurs rations alimentaires [6].

Les blés occupent la première place pour la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines [29]. Quant au blé dur, il prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre (*Triticum aestivum L.*), le riz (*Oryza sativa L.*), le maïs (*Zea maydis L.*) et l'orge (*Hordeum vulgare L.*) avec une proportion de 30 millions de tonnes [30].

En 2003, 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers provenaient de ces produits et le blé représentait 88% des céréales consommées [31]. L'Algérie se situait ainsi, au premier rang mondial pour la consommation du blé, avec plus de 200 kg, en 2003, l'Egypte se situant à 131 kg et la France à 98 Kg. (Tableau 2.4)

Tableau 2.4 : Consommation en blé dans quelques pays, 1961- 2003

Kg	1961	1970	1980	1990	2000	2003	Variance 1961-2003
Algérie	110	120	182	193	190	201	82%
Tunisie	146	153	195	205	202	194	33%
Maroc	130	129	153	180	172	179	38%
Italie	162	176	173	149	150	152	- 6%
Egypte	79	87	125	148	136	131	65%
France	126	97	96	92	97	98	-22%
Monde	55	57	65	70	68	67	22%

Source : FAOSTAT [32]

Contrairement au blé tendre qui couvre 92 % de la surface mondiale emblavée, le blé dur est cultivé sur 20 millions d'hectares [33] et représente 8% de la production mondiale [11]. Selon le Conseil international des céréales [34], la superficie mondiale moyenne consacrée annuellement à la culture du blé dur s'étend sur environ 18 millions d'hectares, ce qui donne une production annuelle moyenne approximative de 30 millions de tonnes.

Le blé dur est cultivé dans les régions du pourtour de la méditerranée. Sa production et sa consommation sont concentrées en Afrique du Nord, dans le sud de l'Europe, ainsi qu'en Turquie et en Syrie [35], qui demeurent d'importants producteurs de blé dur. Au Canada, la production est concentrée dans le sud de la Saskatchewan et de l'Alberta, alors qu'aux États-Unis, on la retrouve dans les régions de culture du Dakota du Nord occidental et du Montana [36].

L'Union européenne est dans le monde la première région productrice et consommatrice de blé dur. Avec une récolte annuelle moyenne de 08 millions de tonnes, cela représente de 8 % à 10 % de la production totale de blé de l'UE et provient dans une proportion d'environ 98 % d'Italie, d'Espagne, de France et de Grèce, près de la Méditerranée [36]. Le Canada arrive au 2^{ème} rang avec 4.6 millions de tonnes par an [34]. La Turquie est le 3^{ème} producteur mondial de blé dur avec une production moyenne de 3,1 millions de tonnes au cours des 5 dernières années, suivie des États-Unis avec 3,5 millions de tonnes [36].

Pour 2007-2008, le Conseil international des céréales estime la production mondiale de blé dur à 33,1 millions de tonnes. Elle est légèrement inférieure à celle de 2006-2007 sauf pour le Canada et les États-Unis. Cette baisse de production s'explique en grande partie par l'affaiblissement des récoltes dans l'UE et au Maroc. Elle vient contrebalancer l'augmentation des productions canadiennes et états-uniennes qui ont ensemencé de plus grandes superficies de blé dur qu'en 2006 (27% pour le Canada et 36 % pour les États-Unis).

En 2007-2008, le prix du blé dur a augmenté considérablement en raison de la raréfaction des stocks chez les principaux pays exportateurs de blé dur, qui ont chuté de plus de 50 %, atteignant 2,3 Mt. Le bilan mondial reste tendu car les stocks sont

au plus bas, ils sont estimés à 114Mt, soit leur plus bas niveau depuis 1980 / 1981 (Figure 2.1).

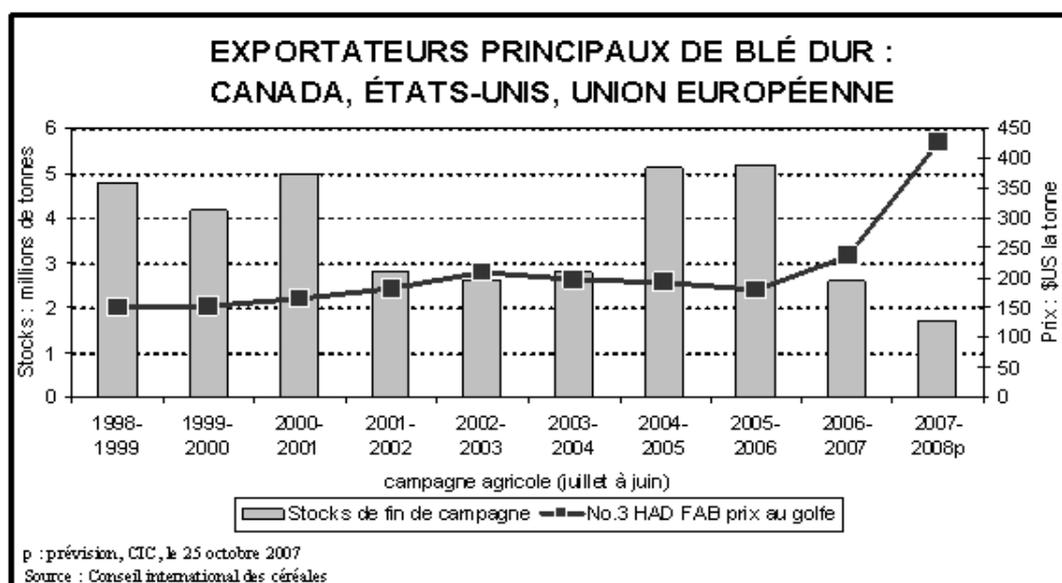


Figure 2.1: Exportateurs principaux du blé dur [36]

En Afrique du Nord, les quatre pays (Algérie, Maroc, Tunisie et Libye) constituent le premier marché mondial importateur de blé dur. Ils absorbent plus de 40 % des échanges de ce produit à l'échelle mondiale. Le plus gros exportateur de blé dur étant le Canada, avec ses exportations de 60 % des échanges mondiaux [37]. Dans ces pays du Maghreb, le blé dur est un aliment de base. Sa culture s'étend sur une superficie d'environ 3.5 millions d'hectares [38]. Dans les trois pays (Algérie, Tunisie, Maroc), les céréales constituent un aliment fondamental, culturellement et nutritionnellement. Certes, elles sont la source principale des calories alimentaires et la base commune de tous les régimes alimentaires (urbains et ruraux et pour les différentes strates de revenus) [1].

Le blé dur, le blé tendre et l'orge, représentent plus de 90 % des superficies et des productions céréalières des trois pays. Leurs superficies représentent 60 % des terres cultivables au Maroc, 36 % en Algérie et 30 % en Tunisie. Si l'on tient compte des jachères qui font partie intégrante du système céréalier, ces taux passent à 80 % pour le Maroc et l'Algérie et à 50 % pour la Tunisie [1].

Dans ces trois pays (Algérie, Maroc, Tunisie), les blés représentent la quasi-totalité de la consommation directe des céréales et environ les deux tiers de la consommation totale, voisine de 300 kg par habitant et par an [1]. La préférence pour

le blé dur qui est consommé sous forme de couscous et de pains traditionnels, reste très profondément ancrée dans les habitudes alimentaires de cette région.

La production céréalière en Afrique du Nord, est très irrégulière car elle dépend des pluies hivernales, qui sont souvent imprévisibles. Par conséquent, la production de blé dur a été des plus variables au cours de la dernière décennie, ayant oscillé, entre 5,6 Mt, en 1996 -1997 et 1,7 Mt, en 2000 - 2001.

Le Conseil International des Céréales [36], a estimé la production de 2007-2008, à 4,4 Mt, soit en baisse par rapport aux 5,5 Mt de l'année antérieure (Figure 2.2). La production intérieure ne suffit pas à satisfaire les besoins, et au cours des cinq dernières années, les importations se sont élevées en moyenne à 2,9 Mt, ce qui représente environ 40 % de la consommation annuelle. Cette baisse est surtout attribuable aux prix élevés du blé dur qui freinent les importations [36].

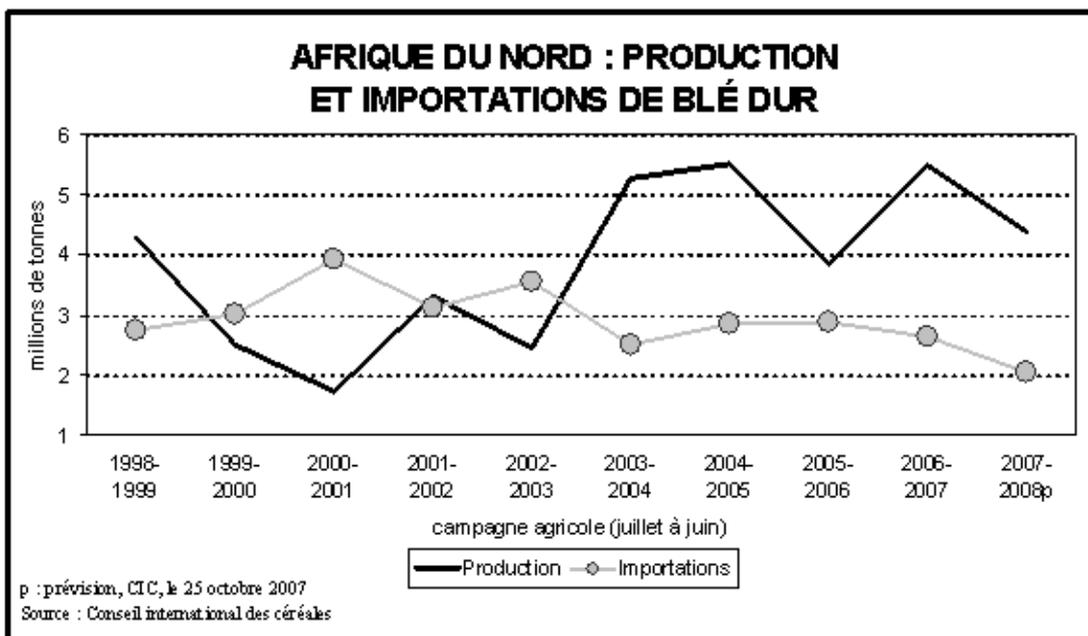


Figure 2.2: Production et importations de blé dur en Afrique du Nord [36]

2.2 En Algérie

L'Algérie recouvre environ 237.806.620 hectares dont seulement 3% représentent des terres arables [39]. Ce chiffre représente 8 % (0.6 Mha) des superficies arables totales conduites sous irrigation.

Les céréales sont les cultures annuelles les plus importantes pour l'agriculture algérienne [2]. En effet, elles occupent 60% des terres cultivées et représentent l'activité d'une masse importante de la population [40].

Dans les pays à forte consommation et à faible revenu, les céréales constituent les calories les moins chères du régime alimentaire. C'est pourquoi, elles représentent la base du modèle de consommation alimentaire en Algérie, comme dans la plupart des pays méditerranéens où la consommation humaine directe, se situe autour de 250kg par habitant et par an [6].

D'après un document élaboré par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP, 1992), les céréales (essentiellement les blés) représentent près de 90 % des apports énergétiques (calories) de la ration algérienne moyenne, 70 % des protéines totales et 88 % des protéines végétales. La production nationale des céréales demeure cependant insuffisante et ne couvre que 25 à 30% des besoins nationaux [2].

Les principales cultures céréalières en Algérie, sont le blé (*Triticum* sp.) et l'orge (*Hordeum*. sp.) qui occupaient en 1994 respectivement 22% et 14% des terres arables. Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est de loin la céréale la plus cultivée, sa part dans l'ensemble des cultures céréalières à l'échelle nationale est en moyenne pondérée à 46,6% (1998) [41]. On admet généralement que sa culture a commencé et s'est développée en Algérie au lendemain de la conquête arabe [42].

Le blé dur est un aliment de base en Algérie, occupant une place stratégique dans l'économie algérienne. En effet, ce dernier couvre 1.5×10^6 ha sur les 3.0×10^6 ha consacrés à la céréaliculture [30]. Toutefois, l'Algérie reste fortement dépendante des importations pour couvrir ses besoins en blé. Elle est devenue le premier importateur dans le monde de blé dur, achetant annuellement 50 % des disponibilités totales du marché mondial [2].

Avec un niveau de production de l'ordre de 6 quintaux à l'hectare [43], qui permet de couvrir seulement 40 % des besoins, elle importe jusqu'à 18 millions de quintaux pour la satisfaction de la demande de la population. Environ 40% de la demande de produits de blé dur est importée sous forme de semoule [25].

Au cours des dix dernières années (1990-2000), l'Algérie a importé plus de 65% de blé dur destiné à l'Afrique du Nord. La production moyenne de blé dur de l'Algérie se situe à $1,1 \times 10^6$ T pour les dix dernières années, alors que la consommation se situe à $2,7 \times 10^6$ T pour la même période [37].

L'Algérie est le seul des quatre pays nord-africains qui importe un volume significatif de semoule, en provenance de l'Union Européenne, se situant à 150×10^3 T en moyenne par année [37] (Figure 2.3). Selon les résultats d'enquêtes réalisées par KEZIH [44] ; ABBAZ et ABDELAZIZ [45], la majorité des ménages consultés achète 50 kg de semoule par mois et même plus. Ces semoules sont destinées à l'utilisation ménagère sous différentes formes (galette, couscous et pâtes traditionnelles, gâteaux et confiseries) [24].

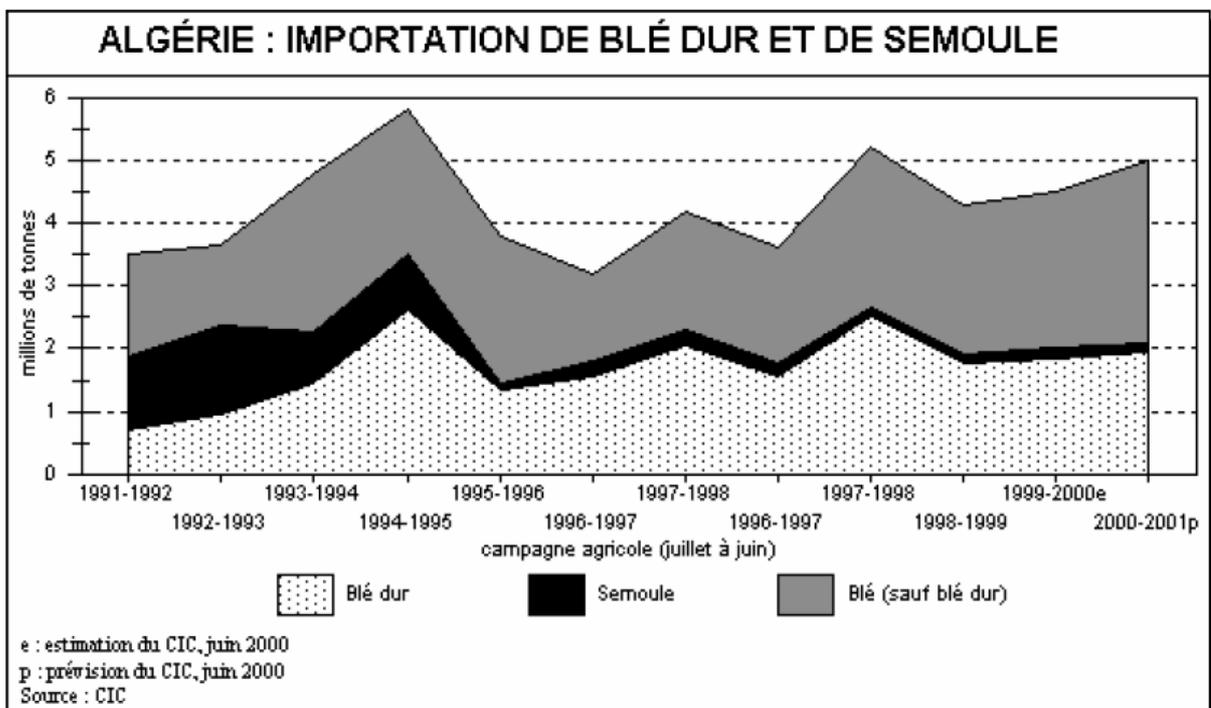


Figure 2.3 : Importation de blé dur et de semoule en Algérie [37]

CHAPITRE 3 CULTURE DU BLE DUR

3.1 Cycle de développement du blé dur

Le cycle biologique du blé comprend trois grandes périodes successives subdivisées en phases et en stades.

3.1.1 Période végétative

Elle se caractérise par le développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à la fin tallage.

3.1.1.1 Phase germination-levée

La germination est le passage de la semence de l'état de vie ralentie à l'état de vie active. La température minimum permettant la germination du blé est de 0°C. L'optimum thermique se situant à 25-30° [46].

La germination se traduit par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La date de levée est définie par l'apparition de cette première feuille vers la surface du sol [46]. Pendant cette phase, la plantule vit sur les réserves de la graine. La composition de ces dernières (teneur en protéines) agit favorablement sur la vitesse de la germination-levée [47]. Le stade de levée est atteint lorsque 90% du nombre final des plantes sont levées [46].

3.1.1.2 Phase levée-tallage

A partir du stade 3-4 feuilles, une première tige apparaît à l'aisselle de la première feuille de la tige principale. L'émergence de cette première talle de la gaine de la première feuille constitue le repère conventionnel du stade début tallage [46]. D'autres talles primaires apparaissent à partir de bourgeons situés à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuilles du maître-brin.

L'ensemble restant court-noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol. Les talles primaires, émettent des talles secondaires, qui à leur tour développent de la même manière des talles tertiaires. L'apparition des talles se fait de manière synchrone avec le rythme d'émission des feuilles du maître-brin. Le tallage s'arrête dès lors que la plante atteint un stade floral suffisamment avancé et que la durée du jour permet l'élongation des entre-nœuds [46].

3.1.2 Période de reproduction

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi.

3.1.2.1 Phase Montaison - gonflement

La montaison débute à la fin du tallage herbacé. Ce stade est repérable lorsque le sommet de l'épi des tiges principales est en moyenne distant de 1cm du plateau de tallage [46]. La montaison se caractérise par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales : glumelles (inférieures et supérieures), organes sexuelles (étamines et stigmates) et la méiose pollinique qui a lieu un peu avant le gonflement.

Les talles insuffisamment avancées régressent et meurent [48], alors que les plus âgées se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, la demande en azote, eau et lumière est accrue [46]. La montaison s'achève avec l'émission de la dernière feuille et les manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine.

3.1.2.2 Phase Epiaison - floraison

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille étendard [49]. C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et que s'effectue la fécondation. L'épiaison est atteinte quand 50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille [46].

Ce stade est très important sur le plan agronomique, du fait que la précocité de l'épiaison dans les zones semi-arides permet aux cultures d'éviter les sécheresses de fin de cycle. Ce caractère n'est toutefois pas recherché dans les zones des Hauts-Plateaux d'Algérie, car il peut constituer un handicap à cause des gels tardifs.

La floraison chez le blé se réalise en moyenne 8 jours après l'épiaison. La température étant le facteur le plus déterminant de la durée entre l'épiaison et la floraison [46]. La précocité de la floraison, représente un facteur très important dans les environnements où les facteurs limitants hydriques et thermiques sont souvent une contrainte pendant la période de remplissage des grains [50].

3.1.3 Période de formation et de maturation

Au cours cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve. La croissance du grain suit une courbe sigmoïde avec une phase de faible accumulation de matière sèche, une phase linéaire et enfin un plateau [51].

3.1.3.1 Grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite.

La phase initiale se caractérise par des divisions cellulaires intenses au niveau de l'endosperme. Les premières cellules formées se différencient en cellules de stockage de l'amidon par la synthèse d'amyloplastés [46]. On observe alors, une augmentation du volume et du poids des grains. Durant La phase linéaire se dépose la matière sèche dans les cellules de l'endosperme [52]. Cette phase se caractérise par deux composantes déterminantes pour le poids du grain : la durée et la vitesse de remplissage.

A la fin de cette phase, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain. Celui-ci bien qu'ayant pris sa forme définitive, est mou, encore vert et il est facilement écrasable entre le pouce et l'index laissant échapper un liquide blanchâtre : C'est le stade grain laiteux qui correspond au début du palier hydrique [46]. L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir.

3.1.3.2 Maturation du grain

Il s'agit de la dernière phase du cycle végétatif. Entre le stade laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable : c'est le palier hydrique, phase caractéristique du remplissage du grain [46]. Cette dernière est sensible aux effets de la variation environnementale qui se répercute sur le rendement en grains [53] ;

[54]. Quant aux réserves sous forme d'amidon, elles continuent à migrer de manière intensive dans les grains. Le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. Cette phase se termine par le stade pâteux (45% d'humidité) qui correspond à la fin du palier hydrique [46]. Le grain à ce stade s'écrase en formant une pâte blanchâtre.

La maturité physiologique a lieu quand il n'y a plus de migration de matière sèche vers le grain [46]. A ce stade, le poids sec du grain atteint sa valeur maximum et définitive. Après ce stade, on assiste à une phase rapide de dessiccation, où blé devient dur, jaune et « rayable à l'angle » (20% d'humidité). Il passera progressivement, à l'état de maturité récolte « cassant sous la dent » (15 à 16% d'humidité).

3.2 Impact de l'environnement sur le rendement du blé dur

3.2.1 Climat

Depuis qu'elles sont cultivées en Algérie, les populations de blé dur sont confrontées et soumises à diverses contraintes [55], dont la principale et la plus importante est la variabilité du climat [56]. Cette dernière est en effet, la première contrainte de la culture du blé dur, pouvant présenter un stress hydrique en début et en fin de cycle [25].

3.2.1.1 Température

Elle conditionne à tout moment la physiologie des céréales [57]. Une température de 0°C est exigée pour la germination des céréales. La bonne germination du blé dur a besoin d'un minimum de température de 3 à 5°C. Sa température optimale de développement se situe entre 16 et 25°C. Le cumul de croissance du blé dur durant son cycle végétatif avoisine les 2400 °C [58].

Le blé est moins sensible à la température pendant sa phase végétative que sa pendant phase reproductive [59]. Toutefois, les stress hydrique et thermique (gel et hautes températures) affectent le développement de la céréale tout au long de son cycle [60]. En zone des Hauts-Plateaux, les basses températures qui coïncident avec le stade floraison (gelées printanières) sont à craindre, car elles provoquent la coulure des fleurs et affectent le rendement de la culture. En revanche, les hautes

températures sèches (vents chauds ou Sirocco), coïncident avec le stade remplissage des grains, provoquent l'échaudage affectant ainsi, le rendement et la qualité du grain. Une croissance active en début du cycle nécessite une moindre sensibilité aux basses températures [61]. Elle améliore l'utilisation de l'eau et permet une production de biomasse aérienne plus importante [62]. Par ailleurs, une moindre sensibilité à la photopériode permet à la variété d'épier plus tôt, et donc d'être moins exposée aux stress abiotiques de fin de cycle [63]. Il faut une durée d'éclairement d'au moins 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige [64]. À l'opposé, les variétés ayant des besoins en vernalisation ou en longueur de jour élevés ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime totalement que plus tardivement lorsque leurs besoins en froid et photopériodique sont satisfaits [65]. Ces variétés sont en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle [65].

3.2.1.2 Pluviométrie

En Algérie, le blé dur est une culture essentiellement pluviale, soumise à des régimes pluviométriques très variables et rarement en adéquation avec les besoins de la plante [66]. Le déficit hydrique est par conséquent, le principal facteur limitant des rendements en céréales. En effet, la faiblesse des précipitations et leur distribution aléatoire se traduisent souvent par une situation de contrainte hydrique qui est présente pratiquement tout au long du parcours du rendement du blé dur [67].

En outre, les températures conjuguées aux pluies, conditionnent les besoins hydriques de la culture en agissant sur l'évapotranspiration potentielle [58]. SMADHI et MOUHOUCHE [56], montrent que la culture de blé dur a des exigences en eau qui diffèrent selon les caractéristiques climatiques qui règnent dans chaque région bioclimatique et selon la date de semis choisie; Ces besoins sont d'autant plus importants et plus élevés en allant du nord au sud.

Les besoins en eau des céréales sont compris entre 450 et 650 mm par an [68]. SOLTNER [69] estime qu'une production de 50q/ha, exige des besoins d'environ 580 mm/an. Selon MERABET et BOUTIBA [70], les exigences climatiques des céréales définies par la F.A.O, situent la pluviométrie totale nécessaire en période de

croissance entre 450 et 1000mm, avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 45 à 90mm pour la phase végétative, de 60 à 90mm pour le stade de floraison et de 55 à 80mm pour le stade de maturation. Pour SMADHI et MOUHOUCHE [56], le blé est le plus exigeant en eau durant ses phases critiques d'installation et de reproduction « semis-levée, épiaison et formation du grain ». Une culture de blé bien irriguée consomme 500 mm par an soit 5000 m³/ha/an. Les apports naturels (précipitations) peuvent concourir à raison de 50 à 75% (250 à 350 mm), le reste doit être apporté sous forme d'irrigation quand cela est possible [71].

3.2.2 Sol

Les céréales prospèrent sur une gamme variée de sols. [72], confirment que toutes les terres conviennent à la culture des céréales, à condition toutefois, qu'elles soient préparées soigneusement. Les plus favorables à la culture de blé sont neutres, profondes et de texture équilibrée (limono-argileuse), riches en matière organique et minérale, bien drainées et ayant une bonne capacité de rétention.

3.2.3 Fertilisation azotée et minérale

La maîtrise de la fertilisation azotée et minérale ainsi que l'utilisation des techniques appropriées, contribuent à une qualité supérieure des blés produits, et ce afin de permettre au grain l'élaboration de sa vitrosité [25].

L'azote est un facteur déterminant du rendement. Il a pour rôle l'augmentation de la masse végétative et doit être fourni au fur et à mesure des besoins de la plante. Ce dernier intervient dans l'élaboration des protéines [57]. L'acide phosphorique permet de modérer les effets de l'azote pour une meilleure résistance à la verse [73]. Selon HEBERT [74], les besoins en azote deviennent très importants à partir de la montaison. Le potassium joue un rôle dans la résistance au froid, aux maladies cryptogamiques et à la verse [73].

3.2.4 Accidents de végétation

L'hygrométrie et les températures peuvent être favorables au développement des parasites responsables de la chute du rendement. En outre, les maladies cryptogamiques constituent une contrainte biotique majeure pour la céréaliculture

algérienne. Les principales maladies du blé dur en Algérie sont les rouilles (dont la plus redoutable en cas d'attaque est la rouille noire), les septorioses et la jaunisse nanisante [75]. Les autres maladies présentes à des degrés moins importants sont : l'oïdium, le piétin échaudage, le nématode à kyste, les charbons, caries, les pourritures racinaires (fusarioses), ainsi que les taches helminthosporiennes (ou bronzées).

Les insectes ravageurs des céréales occasionnent également des dégâts très importants sur le blé. Parmi eux, la cécidomyie des céréales (ou mouche de Hesse), les pucerons du blé qui sont souvent des vecteurs de virus, les punaises des blés et le cèphe des chaumes.

3.2.5 Zones de production du blé dur en Algérie

L'aire de culture du blé dur s'étend des zones sub-littorales aux zones des hautes plaines et hauts plateaux. Ainsi, le blé dur occupe 50% des emblavures céréalières divisées en trois régimes d'humidité : humide, semi-humide et aride, dans les hautes plaines, dans les hauts plateaux et dans les zones sub-littorales ou littorales [25].

En général, la culture du blé dur est associée aux zones semi-arides dont la pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 300- 400 mm [33] ; [76]. Elle est donc soumise à différentes contraintes abiotiques qui minimisent de façon très significative le rendement en grains [77].

Les principales zones de production en Algérie sont :

- La zone semi-aride des plaines telliennes dont la pluviométrie est comprise entre 350 et 500 mm, avec une distribution irrégulière (Constantine, Bouira, Médéa, Tlemcen, Mila, Souk Ahras, Aïn Defla, Chlef, Aïn Témouchent, Relizane, Sidi Bel-Abbès) ;
- La zone sub-aride des hauts-plateaux caractérisée par une faible pluviométrie (200-350 mm) et une altitude supérieures à 1.000 m (Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saïda, Oum El - Bouaghi, Bordj Bou Arréridj) ;
- La zone humide et sub-humide des régions littorales et sub-littorales Centre - Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, ElTarf, Béjaïa, Tizi Ouzou, Annaba), dont la pluviométrie est supérieure à 600 mm et relativement bien distribuée [78].

CHAPITRE 4 INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

4.1 Génotype

Le génotype est la composition génétique d'un individu. Il est défini selon VESPA [79], comme un arrangement de gènes. Selon VERRIER *et al.* [80], le génotype d'un individu en un locus est l'ensemble des gènes qu'il possède à ce locus (deux gènes homologues pour un individu diploïde). Le génotype en plusieurs locus est l'ensemble des génotypes à chacun des locus.

Si l'on considère l'ensemble du génome et l'ensemble des caractéristiques phénotypiques des organismes, aucun individu ne peut être strictement identique à un autre, hormis le cas d'organismes obtenus par multiplication végétative ou le cas de vrais jumeaux (encore ces exceptions ne concernent-elles que le génotype). En pratique, les termes « génotype » et « phénotype » sont employés dans un sens restreint, c'est-à-dire, pour les seuls caractères qui nous intéressent et les gènes qui les influencent.

4.2 Environnement

4.2.1 Milieu

Le milieu désigne l'environnement dans lequel vit l'individu observé, certains états physiologiques qui lui sont propres et l'observateur lui-même [80].

En production végétale, on range dans cette catégorie des facteurs tels que l'année (influence du climat), la parcelle (influence des conditions topographiques et de sols), les doses d'engrais appliquées aux différents stades du développement de la plante, les traitements phytosanitaires effectués et les conditions de récolte.

Parmi les caractéristiques physiologiques propres à l'individu, que l'on considère comme facteur de milieu, le cycle et le stade de développement de la plante jouant sur les valeurs phénotypiques.

L'observateur enfin, a une influence au travers du protocole de mesure qu'il applique, de la précision de ses instruments de mesure et des erreurs de mesure qu'il peut commettre.

4.2.2 Facteurs de milieu contrôlés et non contrôlés

Une autre classification des facteurs de milieu est à introduire, car déterminante dès lors que l'on est au stade de l'expérimentation ou de l'analyse des données recueillies sur le terrain.

4.2.2.1 Facteurs de milieu contrôlés

Ce sont des facteurs de milieu que l'on identifie comme tels, dont on sait ou dont on pense qu'ils ont un effet sur les caractères étudiés : on parle également de macro-milieu [80]. Ici, non seulement on peut enregistrer les conditions propres à plusieurs individus, mais on peut agir dessus. Les exemples donnés plus haut relèvent de cette catégorie. Au stade de l'analyse, on considère qu'un effet de macro-milieu s'applique en commun à tous les individus se trouvant dans une catégorie de milieu donnée.

4.2.2.2 Facteurs de milieu non contrôlés

Ce sont des facteurs, soit que l'on ne maîtrise pas car ils échappent à l'observateur, soit que l'on n'enregistre pas car le recueil de l'information correspondante est trop compliqué ou trop coûteux. On pense que ces facteurs non contrôlés induisent chacun des faibles variations, car résultant de microphénomènes locaux, s'appliquant de manière différente à chaque individu : on parle de micro-milieu [80].

4.3 Phénotype

Le phénotype est la manière dont un organisme nous apparaît, pour un niveau d'observation donné. En génétique quantitative, les caractères que l'on étudie font l'objet d'une mesure [80]. Ainsi, on appelle valeur phénotypique le résultat de la mesure effectuée sur un individu.

En génétique végétale, l'entité sur laquelle on réalise une mesure peut être un mélange d'individus, par exemple l'ensemble des individus cultivés sur une même parcelle ; dans ce cas, la valeur phénotypique peut se définir à l'échelle de la parcelle : elle représente en fait une moyenne de valeurs phénotypiques individuelles [80].

Le phénotype est la valeur prise par l'arrangement des gènes pour un caractère donné. Selon MACKENZIE *et al.* [81], le phénotype est le produit de l'interaction du génotype et de son milieu.

Les variations phénotypiques observées pour un caractère quantitatif sont imputables à des différences de génotypes entre individus et à des différences de conditions de milieu dans les quelles sont placés les individus. Ces deux composantes ne peuvent être mises en évidence, et donc prises en considération, que si elles présentent elles même des variations, [80].

Le phénotype représente un critère de sélection : Parmi un grand nombre d'individus, le choix portera sur les plus aptes à survivre et à mieux se reproduire [82], autrement dit, sur ceux qui correspondent aux objectifs agronomiques ou de qualité définis au départ [83].

4.4 Interaction génotype x milieu

Par définition, on dit qu'il y a interaction génotype x milieu lorsqu'on s'écarte de la situation d'additivité, c'est-à-dire lorsqu'une condition de milieu affecte différemment les génotypes comparés et que l'écart entre les génotypes n'est pas le même selon les conditions de milieu. Fondamentalement, l'interaction entre les effets du génotype et du milieu est un concept statistique, dont la mise en évidence passe par les techniques de l'analyse de la variance [80].

4.5 Bases génétiques de l'interaction génotype x milieu

Selon GALLAIS [84], l'existence d'interaction génotype x milieu signifie que selon le milieu l'ensemble des gènes d'un génotype ne s'exprime pas de la même façon. Certains génotypes sont plus stables que d'autres, leurs performances varient moins selon le milieu : ils sont homéostatiques.

Ainsi, lorsqu'il y a de l'hétérosis, un hybride simple est souvent plus stable que ses parents. Cela peut être dû à l'hétérosis, mais il peut exister des gènes de stabilité,

des systèmes de régulation permettant un meilleur fonctionnement du génotype dans des conditions assez variées de milieu.

Une autre cause de stabilité de comportement est l'hétérogénéité intrapeuplement. Un peuplement hétérogène sera plus stable qu'un peuplement plus homogène s'il est formé de génotypes adaptés à différents milieux [80].

A partir de l'étude de comportement, il suffit de considérer qu'il existe des gènes d'adaptation aux différentes conditions de milieu et que ces gènes sont à des locis différents.

4.6 Adaptation au milieu

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles.

La résistance globale d'une plante à la sécheresse apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production [85].

4.7 Adaptation du génotype au milieu

L'adaptation d'un génotype au milieu peut avoir deux origines : la présence de « gènes d'adaptation », ou plus exactement de gènes qui gouvernent des caractères jouant un rôle dans l'adaptation [86].

Les gènes d'adaptation spécifique sont nombreux : ils peuvent concerner l'évitement de la contrainte (gènes de précocité) ou bien l'adaptation à la contrainte elle-même (résistance au froid hivernal, etc...) ou à l'agent pathogène. L'adaptation générale à différents milieux peut être contrôlée par des gènes non- allèles différents ou bien, comme dans le cas de la pléiotropie, par des gènes allèles produisant des effets variables (positifs ou négatifs) entre milieux [86]. Les génotypes les plus adaptés seront ceux cumulant un maximum de gènes à effets favorables. Les gènes peuvent

être en outre plus ou moins spécifiques comme dans le cas des résistances aux maladies [87].

4.8 Limites des modèles d'analyse des caractères quantitatifs

L'interprétation génétique de la variation des caractères quantitatifs est compliquée. La difficulté de l'analyse réside dans le fait qu'on est souvent incapable de déceler des gènes en ségrégation responsables de la variation observée, et on ne peut pas associer sans ambiguïté un phénotype donné à un génotype particulier. Même lorsque l'on est capable de détecter un gène majeur, ou de le mettre en évidence grâce à des marqueurs QTL (Quantitative trait loci), on ignore le nombre et les effets des autres gènes en ségrégation [80].

Sur le plan statistique, les effets des facteurs contrôlés (macro-milieu) sont considérés comme fixes, à l'opposé des facteurs non contrôlés (micro-milieu) qui sont considérés comme des facteurs aléatoires.

CHAPITRE 5 MATERIELS ET METHODES

Dans le souci d'améliorer le rendement et la qualité du blé dur, le présent travail a pour objectif de montrer l'effet de l'interaction « Génotype x Environnement » sur les paramètres agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé dur. L'intérêt est de sélectionner les génotypes les plus performants, en d'autres termes, cibler les potentiels génétiques qui expriment au mieux leurs qualités agronomiques et technologiques en s'adaptant à des milieux différents. Il s'agit donc d'étudier 12 variétés dans 4 environnements différents. Les 12 variétés constituent 12 objets d'expérience ou 12 traitements à étudier. De même, les 4 environnements représentent 4 objets d'expérience ou 4 traitements.

Les questions posées sont essentiellement les suivantes :

- 1) Existe-t-il un effet de la variété sur les caractères étudiés autrement dit, y a-t-il une liaison entre le facteur variété et l'ensemble des caractères?
- 2) Existe-t-il un effet environnement sur les différents caractères ?
- 3) L'interaction « variétés x environnements » est-elle significative ?

5.1 Localisation des essais

Les essais ont été menés au niveau des quatre stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) : Tiaret, Oued-Smar, Khroub et Sétif.

- **Station de Tiaret**

- Elle se situe à 35 km de l'Est de la ville de Tiaret à côté du village agricole de Sebaïne.
- Latitude : 35°46'7" Longitude : 1°6'03" Altitude : 918 m
- Type de sol : calcaire, léger, peu profond et caillouteux.
- Le climat se caractérise par un hiver froid et rigoureux puis un été chaud et sec. La pluviométrie est faible, la moyenne annuelle est de 330 mm. Cette zone des Hauts- Plateaux se situe dans l'étage bioclimatique semi - aride.
- SAU : 633 ha.

- **Station Oued-Smar**

- Elle se situe sur la partie Nord-Est de la plaine de la Mitidja.
- Latitude : 36°.717 Longitude : 03°.160 Altitude: 24 mètres.
- Type de sol : lourd et argileux en surface et limoneux argileux en profondeur.
- Climat : méditerranéen à étage bioclimatique sub-humide, à hiver doux et pluvieux puis été chaud. La pluviométrie moyenne annuelle est de 600 mm. Cette zone est la plus favorable pour la culture du blé.
- SAU : 47,46 ha.

- **Station de Khroub**

- Elle se situe à 4 km Sud - Est de Constantine.
- Latitude : 36.260 Longitude : 06°.666 Altitude : 640 m
- Type de sol : texture argileuse calcaire.
- Climat se caractérise par un hiver froid et un été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle est de 478 mm. Cette zone des hautes plaines telliennes se trouve dans l'étage bioclimatique semi-aride.
- SAU : 221ha.

- **Station de Sétif**

- Elle se situe au sud - ouest à 5 km de la ville de sétif.
- Latitude : 36°.168 Longitude : 05.369 Altitude : 970 m.
- Type de sol : lourds à texture limono- argileuse avec présence de calcaire.
- Climat se caractérise par des hivers froids, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale [88]. La pluviométrie est irrégulière avec une moyenne de 369 mm, ce qui situe cette zone des Hauts- Plateaux dans l'étage bioclimatique semi - aride.
- S.A.U : 255 ha.

5.2 Caractéristiques climatiques des sites

Les caractéristiques observées dans ces quatre régions sont notamment la pluviométrie et la température. Ces deux facteurs climatiques sont connus comme ayant un effet important sur le développement des céréales en général.

5.2.1 Pluviométrie selon les régions

Pour la campagne 2006/2007, les précipitations sont beaucoup plus abondantes dans région du centre nord notamment (Oued smar) et de l'Est (Khroub et Sétif). A l'Ouest (Tiaret), elles sont significativement moins importantes.

Tableau 5.5 : Répartition mensuelle des précipitations suivant les stations

Mois / Stations Campagne 2006 / 2007	Tiaret	Oued-Smar	Khroub	Sétif
Septembre	6	26.00	26.2	52
Octobre	6	14.50	10	1
Novembre	3.20	21.00	19.10	9.10
Décembre	58.20	218.30	118.80	45
Janvier	19.50	13.60	14.20	10.20
Février	87	67.70	28.90	25
Mars	62	175.40	117.80	101.80
Avril	100	70.60	66.20	88.60
Mai	14.50	16.00	26.10	28.20
Juin	0.60	5.00	13.60	30
Pluviométrie cumulée en [mm]	357	628.10	440.90	390.92
Pluviométrie cumulée (moyenne 1990-2000)	333.79	589	482.69	324.49
Écart pluviométrique	+ 23.21	+ 39.10	- 41.79	+ 66.43

Tableau 5.6 : Répartition saisonnière de la pluviométrie [2006 / 2007]

Saisons / Stations	AUTOMNE		HIVER		PRINTEMPS	
	Pluviométrie cumulée en [mm]	Écart pluviométrique en [mm]	Pluviométrie cumulée en [mm]	Écart pluviométrique en [mm]	Pluviométrie cumulée en [mm]	Écart pluviométrique en [mm]
Tiaret	15.2	- 90.1	164.7	+28.27	176.5	+65.16
Sétif	62.1	- 50.3	80.2	-31.97	218.6	+99.57
Oued- Smar	61.5	-108.2	299.6	+54.1	262	+96.5
Khroub	55.3	-77.1	161.9	-40.33	210.1	+62.1

5.2.2. Températures selon les régions

- **Station de Tiaret**

Tableau 5.7 : Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007

MOIS	Température Moyenne (°C)	Nombre de jours de gelées	Nombre de jours de Sirocco
Septembre	20.4		
Octobre	18.7		
Novembre	12.3		
Décembre	6.9		
Janvier	3.8		
Février	5.8		
Mars	10.0		
Avril	15.1		
Mai	19.3		05j
Juin	24.2		
TOTAL			05

- **Station de Oued-Smar**

Tableau 5.8 : Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007

MOIS	Températures Moyennes (°C)	Nombre de jours de gelées	Nombre de jours de Sirocco	Maladies cryptogamiques
Septembre	23.3			
Octobre	21.3			
Novembre	17.2			
Décembre	12.1			
Janvier	9.3			
Février	10.0			
Mars	13.7			
Avril	17.2			
Mai	20.6			
Juin	22.7			
TOTAL		00	00	- la septoriose et - la rouille brune.

- **Station de Khroub**

Tableau 5.9 : Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007

MOIS	Température Moyenne (°C)	Nombre de jours de gelées	Nombre de jours de Sirocco	Maladies cryptogamiques
Septembre	21.5			- l'oïdium, - tan spot, - la rouille brune, -la septoriose, - apparition du criocère
Octobre	19.7			
Novembre	12.9	4		
Décembre	8.7	3		
Janvier	8.7	7		
Février	9.7	5		
Mars	9.3	2		
Avril	13.6	1		
Mai	16.9		5	
Juin	23.4		15	
TOTAL		22	20	

- **Station de Sétif**

Tableau 5.10 : Températures mensuelles de la campagne 2006 /2007

MOIS	Température Moyenne (°C)		Nombre de jours gelées	Nombre de jours Sirocco
	Max	Min		
Septembre	33.15	11.11		1
Octobre	30.26	09.14		
Novembre	21.26	03.03		
Décembre	14.96	00.75	10	
Janvier	13.50	03.20	17	
Février	12.50	03.80	4	
Mars	12.40	03.70	6	
Avril	16.40	08.40	1	
Mai	22.50	11.10		9
Juin	30.80	17.40		
TOTAL			38	10

La mise en place des essais de la campagne 2006/2007, a été fortement influencée par les conditions climatiques (précipitations et températures).

La comparaison des pluviométries cumulées par rapport aux moyennes des dix dernières années, révèle un bilan pluviométrique excédentaire au niveau de la majorité des sites d'expérimentation, sauf à El Khroub où l'année a été déficitaire (Tableau 5.5). Le début de campagne a été caractérisé par une très mauvaise répartition de la pluviométrie sur l'ensemble des régions. Le déficit pluviométrique (Tableau 5.6) a accusé un retard des opérations de travail du sol et du semis.

L'hiver était pluvieux à Tiaret ainsi qu'à Oued-Smar, les quantités relevées sont très proches de la normale, ce qui a favorisé le développement végétatif des cultures. A Sétif et à El Khroub, on a enregistré respectivement des déficits élevés, ce qui a induit des pertes à la levée, notamment au niveau du site de Khroub. De surcroît, au niveau des Hauts-Plateaux, les basses températures enregistrées au cours des mois de décembre et de janvier ont provoqué un retard de germination et un ralentissement du développement des jeunes plantules de blé.

Le printemps a été suffisamment arrosé sur la majorité des sites, bien que certains accidents sont survenus durant le mois de mai au moment de la floraison et du remplissage du grain. Ce stade a coïncidé avec la chute des températures minimales par rapport à la normale à Tiaret.

Par ailleurs, la quantité des pluies enregistrées pendant la période de reproduction (mars-avril) a été bénéfique pour le bon développement de la céréale. Toutefois, les dernières pluies printanières, associées aux conditions humides des mois de mars et fin mai ont favorisé l'apparition et le développement de quelques maladies cryptogamiques telles que : l'oïdium, le tan spot, la rouille brune, la septoriose (Tableaux 5.8 et 5.9), en plus de l'apparition du criocère à El khroub (Tableau 5.8). Ces conditions ont aussi favorisé la levée de la flore adventice tardive (mauvaises herbes dites thermophiles). Le mois de mai trop sec à Tiaret avec 5 jours de sirocco, a engendré un avortement des épis et l'échaudage du grain au niveau de ce site.

5.3 Protocole expérimental

5.3.1 Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de 12 variétés de blé dur (*Triticum durum*) de l'essai national 1^{ère} année de l'ITGC (Tableau 5.11).

Les quatre variétés utilisées comme témoins sont : BOUSSALEM, WAHA, GTAXDUR et CIRTA. Les variétés WAHA et GTAXDUR ont été introduites depuis 1980, quant à BOUSSALEM et CIRTA ce sont de nouvelles variétés homologuées et introduites depuis 2004 dans le programme de multiplication des semences [89]. Les huit autres variétés ont été introduites d'Europe.

Tableau 5.11 : Variétés de blé dur

V1: TR32225 / GEDIZ // OFANTO
V2: MBB / OFANTO// RADIOSSO / WAHA
V3: BOUSSELAM / OFANTO (6S-1S-8S-1S-OS)
V4: OFANTO / WAHA / WAHA
V5: BOUSSELAM TEMOIN
V6: WAHA TEMOIN
V7: SHAKE-3 / GREEN-18
V8: TOTUS / CARGO // ALTAR 84 / AOS
V9: GTA X DUR TEMOIN
V10: PLATA-1 / SNM // PLATA-9
V11: LABDY-37/ BUSCA-3
V12: CIRTA TEMOIN

Tableau 5.12 : Variétés témoins

Variétés Lignées pures	Origine	Situation actuelle	Productivité	Zone de production
WAHA	ICARDA (Syrie)	en production	45 qx / ha	2-3
GTA XDUR	CIMMYT (Mexique)	en production	50 qx / ha	1-2-3
BOUSSELAM	ICARDA- CIMMYT	en production	38 qx / ha	2-3
CIRTA	ITGC (Algérie)	en production	35 à 40 qx / ha	1-2

Source : ITGC-ICARDA [89]

Zones de production

1 : Littoral et sublittoral

2 : Plaines intérieures

3 : Hauts- Plateaux

Tableau 5.13: Caractéristiques des variétés témoins

Variétés	WAHA	GTA XDUR	BOUSSELAM	CIRTA
1. Caractéristiques morphologiques - compacité de l'épi - couleur de l'épi - hauteur de la plante à maturité	demi- lâche à compact clair ambré à roux 80-90 cm	compact blanc moyenne	demi- lâche blanc 90-100 cm	moyenne blanc moyenne
2. Caractéristiques culturales - alternativité - cycle végétatif - tallage - résistance *au froid *à la verse *à la sécheresse *égrenage * gelées printanières * maladies	hiver précoce moyen à fort tolérante résistante sensible résistante sensible Rouille jaune- brune- noire - Piétin verse- P. échaudage - Oïdium - septoriose - Fusariose	hiver précoce fort résistante moyennement résistante résistante résistante Rouille jaune- brune- noire - Piétin verse- P. échaudage - Oïdium - septoriose - Fusariose	hiver mi-tardif fort bonne bonne bonne résistante Rouille jaune- brune- noire - Piétin verse- P. échaudage - Oïdium - septoriose - Fusariose	hiver semi- précoce fort tolérante assez résistante tolérante tolérante Rouille jaune- brune- Oïdium - septoriose - Fusariose
3. Caractéristiques qualitatives -poids de mille grains - qualité semoulière - mitadinage - moucheture	moyen assez bonne résistante résistante	moyen bonne moyennement résistante sensible	élevé blé correcteur résistante résistante	élevé moyenne résistante sensible

Source : ITGC-ICARDA [89]

5.3.2 Dispositif expérimental

L'expérimentation comprend 2 facteurs étudiés « les 12 variétés de blé dur et les quatre environnements » et un facteur non étudié permettant le contrôle de l'hétérogénéité du sol « les 4 blocs ». Ceci nous a conduit à mesurer d'une part :

- l'effet simple de chaque facteur,
- d'autre part l'effet de l'interaction « variétés x Zones ».

Le premier facteur qui est « l'environnement » présente 4 variantes ou niveaux, le second « la variété » présente douze variantes. Il en résulte de la combinaison des différentes variantes des deux facteurs, 48 traitements de base.

Les traitements sont affectés d'une façon aléatoire sur les parcelles expérimentales de chaque bloc de chaque site. Les dimensions des parcelles élémentaires testées étaient de 5 m² au site d' EL- Khroub, de 06 m² aux sites de Sétif et de Oued-Smar et de 12 m² à Tiaret.

Le dispositif expérimental est constitué de blocs complètement randomisés avec quatre répétitions.

Le plan se résume comme suit :

- Nombre de facteurs essentiels: 2
- Facteur 1: Environnement avec 4 variantes correspondantes aux différentes stations expérimentales suivantes : E1 (Tiaret) ; E2 (Oued-Smar) ; E3 (Khroub) ; E4 (Sétif).
- Facteur 2 : Variétés avec 12 variantes notées V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12 (tableau 5.12).
- Nombre de traitements de base = $12 \times 4 = 48$ traitements.
- Nombre de blocs = 04.
- Le nombre de parcelles expérimentales sur l'ensemble des quatre sites d'expérimentation = 192. C'est le produit du nombre de traitements de base et du nombre de répétitions. Le nombre de répétitions étant de 4 au niveau de chaque station expérimentale.

Les plans d'expérience réalisés dans les quatre stations expérimentales sont des plans en blocs aléatoires complets identiques à deux facteurs essentiels (Environnements et Variétés). Le facteur Blocs intervient dans le but de contrôler l'hétérogénéité existante ; l'erreur aléatoire est réduite et les données collectées sont plus fiables.

- Remarque : La direction des blocs est perpendiculaire à celle de l'hétérogénéité. Les parcelles expérimentales sont homogènes à l'intérieur de chaque bloc.

Bloc1 →	V6	V2	V5	V4	V1	V12	V7	V3	V9	V10	V11	V12
Bloc2 →	V12	V11	V4	V3	V3	V6	V7	V4	V9	V12	V6	V11
Bloc 3 →	V1	V2	V8	V4	V1	V6	V1	V8	V6	V5	V2	V7
Bloc 4 →	V6	V2	V3	V6	V8	V5	V7	V8	V9	V10	V11	V10

Figure 5.4 Plan du dispositif expérimental

5.3.3 Conduite de l'essai

L'itinéraire technique est une combinaison logique et ordonnée de techniques appliquées à une culture en vue d'atteindre un objectif donné de rendement.

Le précédent cultural a été une jachère travaillée.

Le travail du sol

- Le travail du sol est une composante principale de l'itinéraire technique des grandes cultures. Son rôle est d'ameublir le sol en profondeur car il est déterminant pour :

- améliorer l'état physique (aération, infiltration)
- conserver l'eau dans le sol
- éliminer les mauvaises herbes
- préparer le lit de semences.

Le travail du sol a été une tâche difficile à cause de la mauvaise répartition de la pluviométrie durant cette campagne.

- Le labour constitue la principale étape du travail du sol pour l'installation de la culture. Il a été effectué au niveau des stations expérimentales au mois d'octobre. Il a été réalisé à l'aide d'une charrue bisoc à Oued - Smar, à une profondeur de 30 cm. A Tiaret et à Khroub c'est une charrue à socs qui a été utilisée et à Sétif une charrue à disques.
- Les façons superficielles ont pour but de préparer le lit de semences. Elles ont été effectuées par passage du chisel et celui de la herse avant le semis. Le passage des dents du chisel entraîne le fendillement du sol et son éclatement. La herse permet un affinement et un nivellement adéquat du lit de semences.
- Les labours ont été repris par des recroisages : deux passages croisés au cover-crop. Ces opérations ont été répétées en fonction de l'état du sol et de l'infestation en mauvaises herbes.
- Le roulage après semis est effectué en conditions de sécheresse au moyen d'un rouleau croskill ou lisse pour assurer un bon contact de la graine avec le sol. Cependant, il est déconseillé en conditions assez humides.

Fumure de fond

Un engrais de fond, le triple super phosphate TSP à 46 % a été épandu avant le semis à raison, de 100 kg / ha.

Semis

Le semis en ligne a été effectué à une profondeur de 3cm à l'aide d'un semoir expérimental aux dates suivantes : à la station de Oued-Smar le 06 /01/ 2007 ; à EL-Khroub le 22 / 01/ 2007 ; à Tiaret le 02 /12/ 2006 ; à Sétif le 05 /01/ 2007.

L'automne a été marqué par un déficit en précipitation, par conséquent le semis a été retardé.

La dose de semis a été calculée en fonction du poids de mille grains et de la faculté germinative des semences utilisées.

Fumure azotée

L'alimentation azotée détermine non seulement le niveau de production de la culture, mais aussi la qualité de la récolte en particulier à travers le mitadinage.

L'engrais de couverture a été apporté sous forme d'urée à 46 %. Il a été fractionné en deux temps : 1/3 au semis (à la levée) et 2/3 à la fin du tallage (stade épi 1 cm).

Désherbage chimique

Le désherbage est une opération culturale importante pour le contrôle des principaux adventices rencontrés dans la culture du blé dur (les monocotylédones et les dicotylédones).

A la station d'EL-Khroub, le désherbage chimique a eu lieu dès le stade plein tallage le 13 /02/2007, en utilisant un herbicide combinant un anti-graminées et un anti-dicotylédones (Topik : Clodinafop-propargyl) + (Zoom : Triasulfuron-Dicamba) à raison de 0.9 l / ha + 120gr / ha. Une semaine après, un engraissement d'entretien a été fait par 100kg / ha d'urée à 42 %.

Au niveau du site de Oued Smar, le désherbage été fait avec le 2.4D 1l / ha (300l) à la date du 26 /03 / 2007. Ce désherbant est le plus utilisé même au sein des sites de Tiaret et de Sétif car c'est le moins onéreux sur le marché. Il faut noter que le choix des herbicides est basé que sur leur coût de revient et non sur la flore adventice prédominante ; d'où une utilisation presque exclusive du 2.4-D [90].

Récolte

La récolte a été réalisée par une moissonneuse batteuse expérimentale. Elle a eu lieu le 18 / 06 / 2007 à Oued Smar ; le 23 / 06 /2007 à Tiaret ; le 22 / 06/ 2007 à Sétif et le 24 / 06 / 2007 à EI - Khroub.

5.4 Méthodes et paramètres mesurés en station

5.4.1 Hauteur finale des plants à la floraison

La hauteur des pieds des variétés de blé dur a été mesurée à partir de 15 plants choisis au hasard, niveau de chaque parcelle élémentaire. La mesure a été prise de la base de la tige jusqu'à l'épi (barbe non incluse).

5.4.2 Rendement

Après la récolte, les grains récupérés sont nettoyés et pesés. La quantité récoltée en kg par parcelle, est ensuite convertie en qx / ha.

5.5 Méthodes et paramètres mesurés au laboratoire

Plusieurs méthodes physiques, chimiques et technologiques ont été employées afin d'évaluer qualitativement et quantitativement différents paramètres indispensables à la sélection de meilleures variétés de blé dur.

Les grains de blé dur ont été réceptionnés au laboratoire technologie des céréales de l'ITGC. Les tests (directs et indirects) effectués sur les différentes variétés, ont été réalisés sur la base de 300 grammes de grains entiers.

5.5.1 Méthodes physiques

La qualité d'un blé dur est appréciée indirectement par le taux de moucheture, taux de mitadinage, le poids de mille grains et la coloration de la semoule.

5.5.1.1 Taux de moucheture

Le taux de moucheture est déterminé sur 20 grammes de blé propre par appréciation visuelle. Seuls sont considérés comme mouchetés, les grains présentant à des endroits autres que sur le germe, des colorations situées entre le brun et le noir brunâtre. Les résultats sont exprimés en grammes de grains mouchetés pour 100 grammes d'échantillons (Méthode BIPEA).

5.5.1.2 Taux de mitadinage

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains normaux apparaissent totalement vitreux et translucides.

Le taux de mitadin exprimé en pourcentage (%), indique le nombre de grains partiellement ou entièrement farineux dans un lot de grains. La détermination est faite sur 300 grains en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide du farinotome de Pohl (ISO- 532).

Le taux de mitadinage de l'échantillon examiné est donné par la formule suivante :

$$N = (n \times 100) / p$$

N : le pourcentage de grains mitadinés dans la fraction examinée.

n : le nombre de grains mitadinés dans la fraction examinée.

p : le nombre de grains examinés au farinotome.

5.5.1.3 Poids de mille grains

Après récolte et nettoyage, les grains de chaque parcelle, sont réceptionnés au laboratoire (ITGC). La détermination de la masse de 1000 grains entiers, se fait automatiquement à l'aide de l'appareil NUMIGRAL et la pesée avec une balance de précision (NFV03-702).

L'étude du poids de mille grains a deux intérêts principaux :

- Intérêt agronomique
La masse de 1000 grains est une des composantes du rendement agronomique. Elle représente un bon indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement (échaudage, attaques par les maladies ou les insectes). Elle permet également aux agriculteurs, de calculer les doses de semences pour répondre à un objectif de densité de semis.
- Intérêt industriel
Elle représente un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation (rendement semoulier).

Masse de mille grains secs

$$\text{PMG} / \text{MS} = \text{PMG} \times \frac{(100 - H)}{100}$$

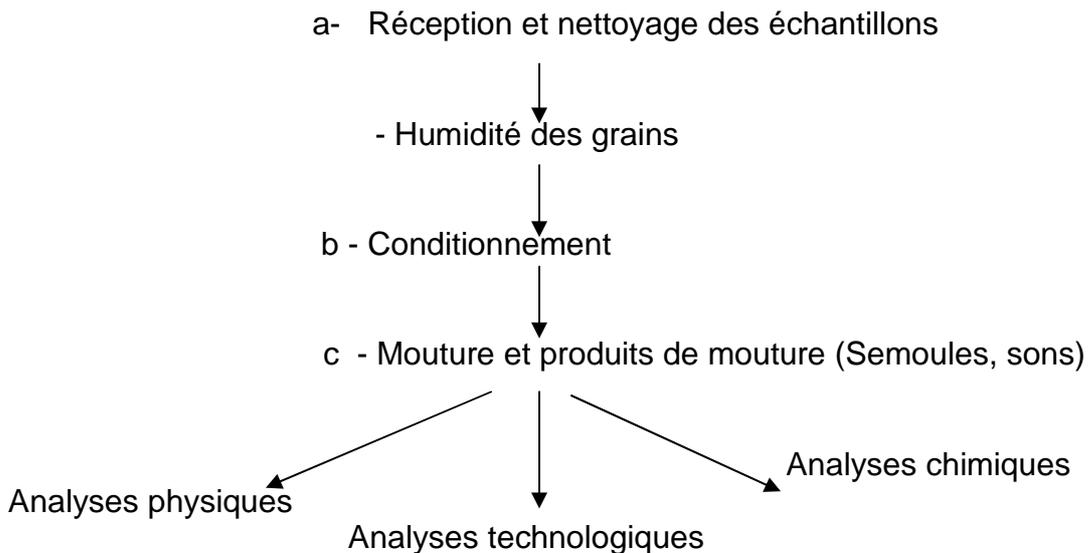
PMG : masse de mille grains tels quels (en gramme)

H : teneur en eau des grains (en pour- cent)

5.5.2 Méthodes technologiques

5.5.2.1 Transformation du blé dur en semoule

La première transformation des céréales a pour objectif d'isoler l'albumen amylicé sans contamination par les parties périphériques du grain (enveloppes, couche à aleurone) et par le germe [91]. La transformation du blé dur en semoule se déroule en trois étapes : Le nettoyage, le conditionnement et la mouture (schéma).



a) Nettoyage des blés

Le but du nettoyage des blés est d'éliminer par tamisage et triage à la main, les produits et graines contaminants qui nuisent à la qualité des semoules.

Les grains de blé ont été débarrassés de toutes leurs impuretés : graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux (rongeurs, insectes). Les blés mal venus sont également éliminés (grains échaudés, ergotés et fusariés).

b) Conditionnement

Il permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain.

Le conditionnement a été réalisé dans un mélangeur CHOPIN. Le blé subit d'abord, un pré- conditionnement à 14% d'humidité pendant 24 heures, ensuite un conditionnement à 17 % deux heures avant la mouture, afin d'avoir une meilleure séparation du son et de l'amande et faciliter le broyage de celle-ci.

Un blé humide est difficile à travailler et à bluter cependant, un blé trop sec se prête mal à la séparation des enveloppes (réduites en fines particules) du cœur de l'albumen.

c) Mouture

La mouture est l'opération centrale de la transformation des blés durs en semoules. Elle a été faite à l'aide du moulin BRABENDER JUNIOR. Le produit obtenu (semoule sassée) a fait l'objet des tests physiques, technologiques et chimiques.

5.5.2.2. Taux d'extraction des semoules

C'est la quantité de semoule obtenue à partir de la mouture de 300 grammes de blé propre. Les résultats sont exprimés pour 100 grammes d'échantillons.

5.5.2.3 Détermination de la coloration des semoules

La couleur se caractérise par deux composantes : l'indice de jaune (I.J) et l'indice de brun (I.B). Ils sont déterminés à l'aide d'un colorimètre (CIE).

Les résultats sont exprimés en fonction du système d'unité de mesure CIE (L, a, b). L'échantillon (2.5 mm d'épaisseur) est placé sous la source lumineuse. Dix mesures successives sont prises de manière à limiter les effets dus à l'hétérogénéité de la réflexion sur une surface non homogène. L'indice b est d'autant plus élevé que la semoule est plus jaune, la valeur (100-L) augmente avec le brunissement.

5.5.2.4 Taux de gluten sec, gluten humide, gluten index et capacité d'hydratation

La teneur en gluten sec et humide est déterminée à l'aide du Glutomatic 2200 de Falling Number et Glutork de Perten en présence d'une solution saline (5g/l).

- Evaluation de la force du gluten par la méthode du gluten index

- Appréciation de la quantité de gluten

La teneur en gluten est déterminée par lixiviation sous un filet d'eau d'un pâton [92] puis, à l'aide d'un Glutomatic à partir de 10g et 5 ml d'eau distillée à 25 % de NaCl.

- Appréciation de la qualité du gluten

Après pétrissage et lavage, les caractéristiques viscoélastiques du Gluten obtenu, sont mesurées par centrifugation (6000 tours / min pendant une minute) à travers le rotor perforé de l'appareil. Deux pesées sont prises à la fin de l'opération :

- P1 : la quantité de gluten ayant traversé le tamis.

- P2 : la quantité de gluten retenue par le tamis.

Lors de la centrifugation, plus la quantité du gluten passant au travers du tamis est faible et plus le gluten Index est élevé.

$$\text{- Gluten index} = \frac{\text{Quantité du gluten restant sur le tamis}}{\text{Quantité totale du gluten passant (1) + restant (2)}} \times 100$$

- Teneur en gluten humide : Elle correspond au total (G. passant + G. restant) sur le tamis.

$$\text{-Teneur en gluten humide} = \frac{\text{Quantité totale du gluten humide}}{10} \times 100$$

- Teneur en gluten sec : Elle est calculée après dessiccation du gluten humide.

$$\text{-Teneur en gluten sec} = \frac{\text{Quantité du gluten sec}}{10} \times 100$$

5.5.2.5 Taux d'hydratation

Ce taux détermine la capacité du gluten à retenir l'eau.

$$\text{- Capacité d'hydratation} = \frac{\text{Gluten humide (GH)} - \text{Gluten sec (GS)}}{\text{Gluten humide (GH)}} \times 100$$

GH : Gluten humide en % MH.

GS : Gluten sec en % MS.

5.5.3 Méthodes chimiques

5.5.3.1 Teneur en eau des grains et des semoules

Elle est déterminée par séchage de 10 grammes de grains broyés (mouture) et de 10 grammes de semoule, à l'aide un humidimètre porté à une température de 130 °C pendant 10mn. Les résultats sont exprimés par rapport à 100 grammes de matière telle quelle. (Méthode AACC 54 -40 A).

5.5.3.2 Taux en cendres des grains et des semoules

Le principe repose sur l'incinération du produit (mouture ou semoule) dans une atmosphère oxydante à une température de 900 °C (plus ou moins 25 °C), jusqu'à combustion complète de la matière organique. Elle dure environ, 01heure. 30mn pour les semoules et 02 heures pour les moutures AFNOR [93] (Méthode NF 03-720 / méthode A de la norme ISO 2171)

Mode opératoire :

1. Préparation des nacelles

On place les nacelles en platine rhodié, dans l'acide chlorhydrique dilué à 50 % pendant une durée d'au moins une heure. Ensuite, on les rince à l'eau ordinaire puis à l'eau distillée et on les sèche en les plaçant dans une étuve ou quelques minutes dans le four électrique à 900° C. On doit prendre la précaution de ne pas toucher les nacelles avec les doigts. On utilise des pinces en acier inoxydable.

2. Prise d'essai

On détermine d'abord, la teneur en eau de l'échantillon. Ensuite, on effectue deux pesées : la première avec les nacelles vides et la seconde avec les nacelles contenant les 2g de mouture ou de semoule pour l'essai, que l'on doit répartir uniformément sans la tasser.

3. Préparation pour incinération

Afin d'obtenir une incinération uniforme, de faciliter et d'activer la combustion du résidu charbonneux de la combustion avec la flamme, on humecte la prise d'essai dans la nacelle au moyen de 2ml d'éthanol.

4. Pré incinération

Afin d'éviter une usure rapide des nacelles par choc thermique et des pertes de produits par projection, on doit prendre les précautions suivantes :

- placer la première nacelle à l'entrée du four et l'enflammer.
- lorsque la flamme disparaît, pousser progressivement la nacelle à l'intérieur du four.
- répéter l'opération pour chaque nacelle et veiller à éviter le contact entre chacune d'elles.

5. Incinération

On compte le temps d'incinération à partir du moment où le four, porte fermée atteint la température de 900°C.

6. Refroidissement

Une fois la durée d'incinération écoulée, on sort les nacelles progressivement du four (afin d'éviter un choc thermique) avant de les placer dans un dessiccateur. Les cendres étant hygroscopiques, la période de refroidissement à l'air libre ne doit pas aller au-delà de 30 secondes. Quant à la durée de refroidissement dans le dessiccateur, elle est de 30 à 40mn, en vue de rendre uniforme la température des nacelles et de la balance.

7. Pesée du résidu

Après refroidissement des nacelles, la teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu. Pour cela, on pèse les nacelles rapidement à tour de rôle, en

laissant les autres à l'intérieur du dessiccateur muni de son couvercle. Les résultats sont exprimés à 0.01 % près et rapportés à la matière sèche.

$$\text{Teneur en cendres} = m_1 \times \frac{100}{m_o} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où :

m_o est la masse de la prise d'essai (en gr.).

m_1 est la masse du résidu (en gr.).

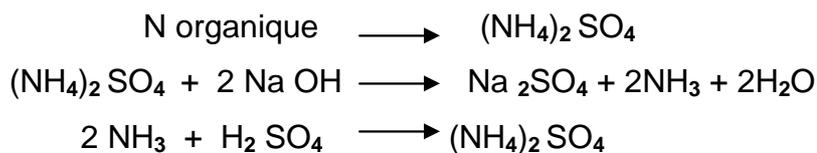
H est la teneur en eau de l'échantillon (en %).

5.5.3.3 Teneur en protéines des grains et des semoules

Elle est déterminée par la méthode de Kjeldahl (Norme AFNOR V-03-050). Elle se déroule en deux étapes : une minéralisation et une distillation.

La matière organique du broyat des grains ou des semoules est minéralisée pendant 02 à 03 heures sous hotte aspirante, à l'aide d'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (100g de sulfate de potassium, 10g de sulfate de cuivre en poudre, 1g de sélénium).

L'azote N organique est transformé en sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. L'ammoniac est ensuite déplacé de son sel par une base forte puis entraîné par la vapeur d'eau et recueilli dans une solution d'acide borique puis dosé par titration.



Mode opératoire :

a) Minéralisation

On détermine d'abord, la teneur en eau du produit à minéraliser (mouture ou semoule). On introduit 1g de l'échantillon dans les matras Kjeldhal de 500ml (en évitant que les particules adhèrent aux parois) au quel on ajoute 2g de catalyseur et 20ml d'acide sulfurique H_2SO_4 pur ($d = 1.84$) prélevé à l'aide d'un doseur. On porte ensuite, les matras sur le dispositif de chauffage jusqu'à décoloration du liquide ou obtention d'une couleur bleue.

b) Distillation

Après refroidissement, on verse avec précaution 200ml d'eau distillée dans les matras et on laisse refroidir à nouveau.

c) Titration

On titre l'ammoniac dans la solution d'acide borique. Le point de virage de la réaction est apprécié par PHmétrie. On déduit la quantité d'azote présente dans l'échantillon, du volume d'acide sulfurique versé pour neutraliser la solution d'ammoniaque.

La teneur en protéines se calcule à partir de la teneur en azote par l'intermédiaire d'un facteur de conversion (coefficient) qui est de 5.7 dans le cadre de l'alimentation humaine. Les résultats sont exprimés à 0.1 près, en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$\text{Teneur en protéines} = N \times K \frac{100}{100 - H}$$

K : facteur de conversion (5.7 pour l'alimentation humaine)

N : teneur en azote de la prise d'essai (en pour-cent)

H : teneur en eau de l'échantillon (en pour-cent)

5.5.3.4 Test de sédimentation SDS

Ce test est un moyen indirect d'appréciation de la force d'un blé [91]. Il permet d'estimer la qualité des protéines d'un petit échantillon de semoule, par formation d'agrégats suite au gonflement des protéines dans un milieu à base d'acide lactique et de SDS (sodium- dodecyl sulfate) [94].

Mode opératoire :

On pèse 6 grammes de semoule, qu'on met en suspension avec 50 ml d'eau distillée, dans une éprouvette graduée (100ml, à fond plat avec bouchon et de diamètre intérieur 1.60mm). Le mélange est agité brutalement pendant 15 secondes. Repos et reprise à nouveau de l'opération d'agitation lentement, 15 secondes aux temps 2 et 4mn. Immédiatement, après la dernière agitation, on ajoute 50 ml de la solution SDS- acide lactique contenant (30g/ l de SDS et 20ml/ l d'acide lactique)

puis on reprend l'agitation lentement 4 fois durant 15 secondes et on répète l'opération à 2,4 et 6mn. Après cette alternance d'agitation et de repos, on mesure l'indice de sédimentation en déterminant la hauteur de sédimentation obtenue dans l'éprouvette, après 20mn de repos [95].

L'indice de sédimentation exprimé en ml, donne une indication globale sur la qualité du gluten du blé dur [96].

5.6 Techniques d'analyse statistique

Les résultats de l'expérimentation ont été analysés à l'aide d'un logiciel : le STATIT CF. Le test global qui nous a permis la comparaison des moyennes des différents traitements est l'analyse de la variance.

La démarche de l'interprétation consiste à examiner l'effet interaction entre les deux facteurs étudiés. S'il est significatif, on ne peut juger globalement l'effet des deux facteurs puisqu'ils ne sont pas indépendants. On considère alors, séparément les effets simples. Dans le cas où l'interaction n'est pas significative, on admet qu'elle n'existe pas et on étudie séparément chaque facteur comme lors d'un essai simple, en recherchant les différences significatives.

Le seuil de signification retenu est de 5%. Si la probabilité est supérieure ou égale à ce seuil, l'effet est non significatif. Par contre, si la probabilité calculée est inférieure à ce seuil, on admet l'existence d'un effet global significatif et pour une probabilité inférieure à 1%, on admet qu'il y a un effet est très hautement significatif. Dans ce cas, on complète l'analyse en utilisant le test de NEWMAN et KEULS. Ce dernier est basé sur l'étude de la plus petite amplitude significative (PPAS). Ce test plus précis, permet de classer les moyennes des différents traitements en groupes homogènes et fait ressortir les meilleurs traitements.

CHAPITRE 6 RESULTATS ET DISCUSSION

6.1 Hauteur

Les résultats relatifs à la hauteur des plants à la floraison (Appendice B, tableau 1), sont illustrés par les figures 6.5, 6.6 et 6.7.

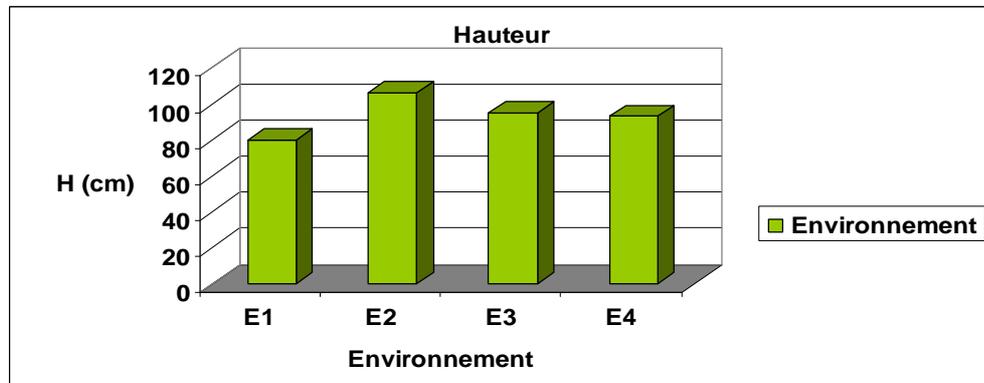


Figure 6.5: Effets de l'Environnement sur la hauteur des plants à la floraison

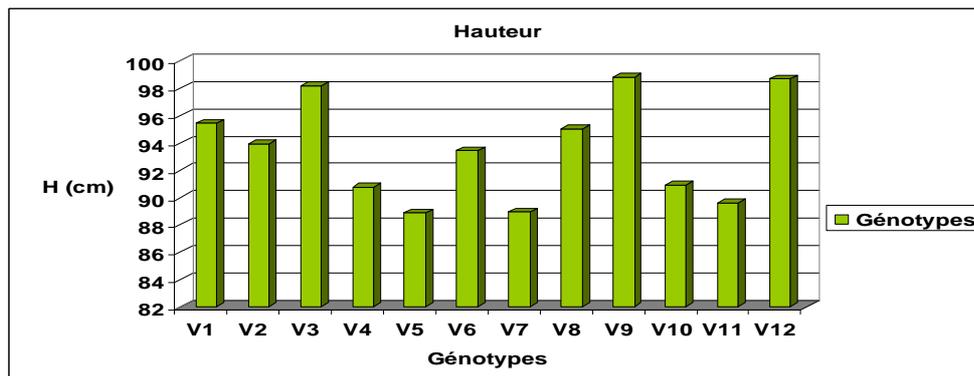


Figure 6.6: Effets du Génotype sur la hauteur des plants à la floraison

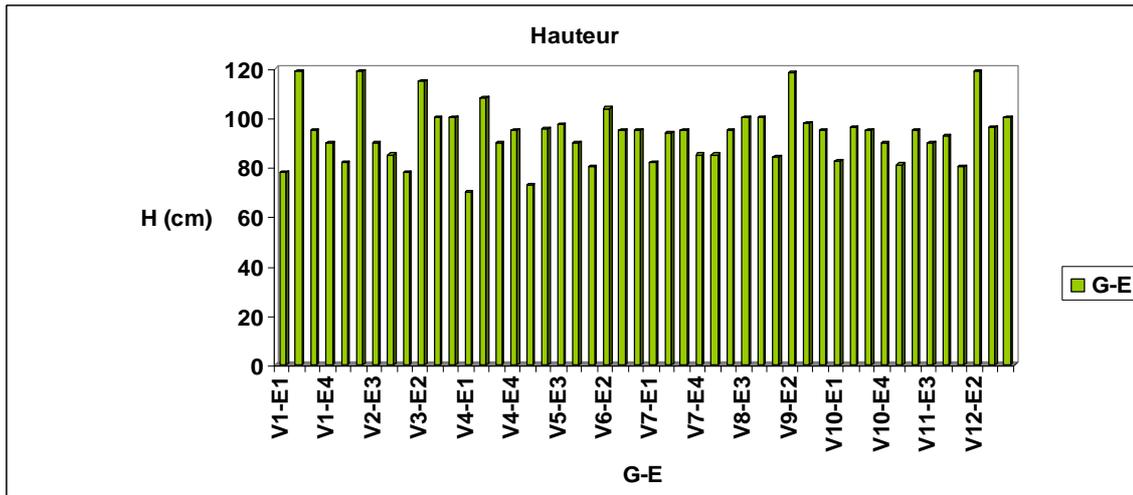


Figure 6.7 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la hauteur des plants à la floraison

L'analyse de la variance du facteur environnement (Appendice C, tableau 1), montre que le test F est très hautement significatif. Le F_o observé étant nettement plus élevé que le F_t théorique pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 0.05$. Ce résultat est révélateur de l'effet sensible de l'environnement sur la hauteur des plants à la floraison.

Le test complémentaire de NEWMAN et KEULS de la PPAS, nous permet de classer les différents groupes homogènes et dévoile les meilleures hauteurs.

La meilleure hauteur a été enregistrée avec une valeur de 106.38 cm au site expérimental de Oued-Smar, suivie des environnements de Khroub et de Sétif avec des chiffres oscillant entre 95.08 cm et 93.13cm et enfin, le site expérimental de Tiaret affichant la plus faible hauteur de 79.63 cm. Ces faits impliquent que les génotypes ne se comportent pas de la même façon dans tous les environnements. Ceci s'expliquerait par le fait que certains gènes s'exprimeraient mieux dans certains milieux et pas dans d'autres. Cela veut dire encore, que leur aptitude à exploiter leur potentiel génétique dépend du degré de leur adaptation au milieu. En somme, l'expression du phénotype (la hauteur) ne se fait qu'à travers le génotype, qui est lui-même sous la gouvernance des effets du milieu.

L'analyse de la variance du facteur génotype (Appendice C, tableau 1), montre une différence significative pour ce caractère, avec une probabilité $\alpha = 0.0000$. Le test de NEWMAN et KEULS présente six groupes homogènes (A, B, C, D et E). La meilleure hauteur a été atteinte chez le témoin GTA X DUR avec une valeur de

98.81 cm, tandis que la plus faible hauteur a été de 88.88 cm chez le témoin BOUSSELAM. Ces chiffres traduisent un effet génotypique qui se reflète sur le phénotype.

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence de hauteur très hautement significative (prob =0.0000).

Le test de NEWMAN et KEULS classe plusieurs groupes homogènes et fait ressortir la meilleure hauteur.

Les différentes hauteurs sont comprises entre 118.75 cm et 70 cm. Les deux génotypes ayant obtenu la même et plus haute paille sont MMB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA et le témoin CIRTA, au site de Oued-Smar. Par contre, la plus faible hauteur a été obtenue avec le génotype OFANTO / WAHA / WAHA, dans l'environnement de Tiaret. Le grand écart de taille observé entre la plus haute et la plus faible hauteur témoigne de l'influence des deux facteurs « environnement et génotype », en interaction sur ce paramètre.

Ces résultats seraient liés aux conditions climatiques qui auraient un impact positif ou négatif sur la croissance et le développement des pailles. En effet, le climat de la région de Oued-Smar (bonne pluviométrie, températures favorables), s'avère le plus adéquat à la culture du blé dur. En revanche, le climat rude des régions semi-arides (en particulier celui de Tiaret) est très contraignant en raison des faibles précipitations, des gelées et des fortes chaleurs. Ces contraintes hydriques et thermiques accentueraient les déficits hydriques qui par conséquent, freineraient la croissance des tiges. Ceci coïncide avec les travaux de MEKLIICHE *et al.* [97], qui ont montré que l'effet du déficit hydrique est très néfaste sur la hauteur des tiges de blé dur. En effet, les besoins en eau d'une culture étant directement liés au climat [98], les effets du stress hydrique affectent la partie aérienne et souterraine des plantes [99] et touchent toutes leurs fonctions [40].

Etant étroitement liée à la résistance à la sécheresse, la hauteur du chaume représente un paramètre d'une importance capitale en sélection. Ainsi, contrairement aux résultats de plusieurs auteurs dont KAUL et CROWLE [100] ; BLUM [101] et GREEN et READ [102], il apparaît que la résistance au manque d'eau des céréales n'est pas associée à un comportement physiologique isolé de la variété mais à une

« stratégie » englobant un ou plusieurs mécanismes de tolérance et (ou) d'évitement de la contrainte hydrique. Ces propos rejoignent ceux de nombreux auteurs dont TURNER [103], qui selon lui, la sécheresse a été associée à plusieurs caractéristiques d'ordre phénologique, morphologique, physiologique et biochimique reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement et tolérance). Ainsi, les variétés de céréales résistantes au déficit hydrique se caractérisent par une stratégie regroupant en même temps, un ensemble des mécanismes d'adaptation [104]. Il en est de même pour d'autres auteurs, qui ont mentionné que la tolérance à la sécheresse est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux mécanismes interagissant entre eux et à déterminisme génétique complexe. Les combinaisons de ces mécanismes définissent des stratégies d'adaptation de la plante vis-à-vis du stress [103] ; [105]. L'aptitude du blé à résister à la contrainte hydrique est ainsi liée à plusieurs mécanismes dont un système racinaire extensif [106] ; [107], une fermeture rapide des stomates durant l'installation d'un déficit hydrique, une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau [102] ; [100], le maintien d'un potentiel de turgescence élevé [108] ; [109], une capacité élevée d'accumulation et de mobilisation des réserves pendant la phase de remplissage des grains [110] ; [111].

Le stress hydrique peut survenir à n'importe quel moment du cycle de la culture [112]; [66]. La réponse de la plante dépend à la fois de la sévérité et de la durée du stress, de la phase de développement et de l'état dans lequel se trouve la plante quand le stress a lieu [98]. En raison de ce caractère imprévisible de la contrainte hydrique, la meilleure « stratégie » serait celle qui permet à la variété de présenter un large spectre d'adaptation [113]. Par ailleurs, GATE *et al.* [114] ont noté qu'une variété à haut potentiel peut présenter une forte aptitude à tolérer la sécheresse.

La relation entre la hauteur de la plante et la sécheresse se traduit selon la stratégie adaptative relative à chaque variété par des modifications morphologiques, telles que le diamètre de la tige [115], l'enroulement des feuilles et le développement système racinaire [99]. En outre, une réduction de la quantité d'eau disponible influe sur le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance et le développement de la plante, ainsi que sur divers processus biochimiques de son fonctionnement [40]. Ces effets se répercutent par la suite sur le rendement et ses

composantes ainsi que sur la qualité [116]. La hauteur de la plante peut contribuer positivement à la biomasse aérienne, qui en zone semi-aride peut permettre l'obtention d'un rendement minimum garanti et stable [41]. Ainsi, les réponses des céréales (le blé) face à ce stress s'expliquent d'une part, par le fait qu'une taille élevée du chaume est souvent associée à un système racinaire profond et donc, à une meilleure aptitude à extraire l'eau du sol [117] ; [118]. En effet, les travaux de HAZMOUNE [5], ont montré que les variétés à haute paille ont un nombre faible de racines adventives mais descendent plus profondément dans le sol (+100) cm en année humide. Cette caractéristique racinaire leur permet ainsi de s'alimenter en eau en cas de sécheresse. Par contre, les variétés à courte paille, ont plus de racines mais progressent horizontalement dans le sol et n'arrivent pas à dépasser (95 cm) de profondeur.

A l'inverse des variétés à paille longue, les variétés à paille courte sont plus sensibles à la sécheresse. En outre elles ne résistent pas à l'envahissement des mauvaises herbes [118]. En revanche, elles ont l'avantage de résister à la verse contrairement aux variétés à paille haute. ALI DIB et MONNEVEUX [119] ont suggéré que les variétés à paille courte possèdent des gènes de nanisme. En Algérie, les génotypes locaux traditionnels sont maintenus depuis leur sélection en culture, beaucoup plus pour leur haute paille que pour leur production en grains. Ces génotypes sont très prisés par les agriculteurs algériens car leur paille est destinée à l'alimentation de leur cheptel.

D'autre part, il a été démontré qu'en cas de déficit hydrique, la capacité de remplissage du grain à partir des assimilats stockés dans la tige est relative à la hauteur de la paille. Par conséquent, une hauteur importante de la tige transfère plus d'assimilats [77]. Ainsi, lorsque les conditions climatiques sont moins contraignantes lors de la phase de remplissage, la plante fait moins appel aux réserves d'assimilats et arrive à assurer le remplissage du grain avec le produit de l'activité de photosynthèse de la post-anthèse. Par contre, lorsque les conditions climatiques durant cette phase sont contraignantes, l'activité photosynthétique est réduite ou devient nulle, la plante fait alors appel aux assimilats stockés dans les tiges, réduit la durée de la phase végétative et accroît son taux de remplissage. Ces caractéristiques sont dépendantes des génotypes [77]. En outre, les travaux de

STEWART *et al.* [120], ont montré que lorsque le stress hydrique devient sévère, la photosynthèse diminue du fait d'une modification du métabolisme. En effet, ces auteurs ont dégagé des relations entre le potentiel hydrique foliaire et la résistance stomatique. D'autres travaux ont également affirmé que la réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse. Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. Ainsi les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau (photosynthèse/ transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie [121]. La tolérance à la sécheresse est un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce à l'ajustement osmotique [83]. Les sucres et la proline (acide aminé) sont les osmorégulateurs les plus importants qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique. KAMELI et LÖSEL. [122] ; SANCHEZ *et al.* [123] considèrent les sucres comme de bons osmorégulateurs. Ces derniers jouent un rôle important dans l'adaptation des plantes à la sécheresse [124]; [125]. Quant à la teneur en proline, elle est plus élevée en cas de déficit hydrique et en particulier, chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse [126]. Selon les auteurs SLAMA *et al.* [127], l'accumulation de proline constitue un véritable mécanisme de tolérance à la sécheresse.

6.2 Rendements

Les résultats relatifs au rendement en grains (Appendice B, tableau 2) sont illustrés par les figures 6.8 et 6.9.

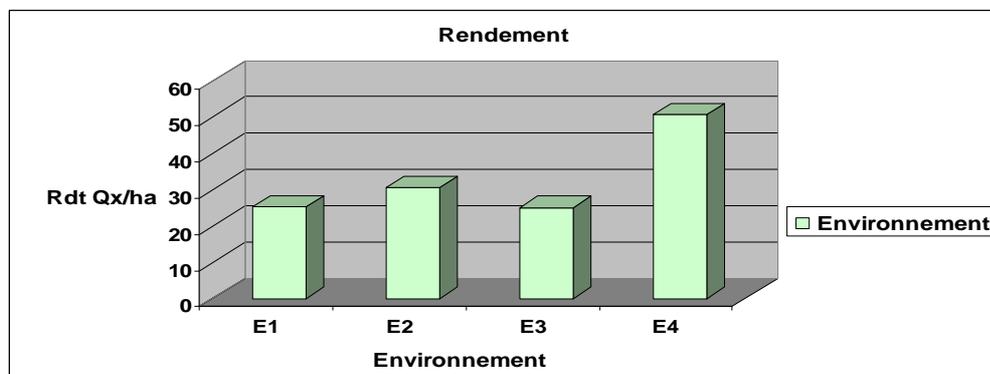


Figure 6.8: Effets de l'Environnement sur le rendement en grains

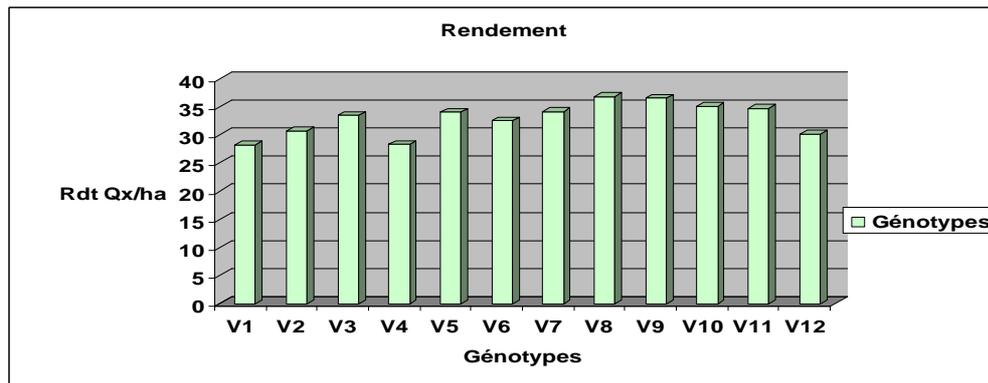


Figure 6.9 : Effets du Génotype sur le rendement en grains

L'analyse de la variance du facteur environnement (Appendice C, tableau 2), montre que le test F est très hautement significatif pour ce caractère. Le F observé étant plus grand que le F théorique, pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 0.05$ %. Ce résultat traduit qu'il existe un effet significatif de l'environnement sur le rendement en grains.

Le test de STUDENT NEWMAN et KEULS indique la présence de trois groupes homogènes A, B et C et détermine le meilleur environnement pour ce caractère (Appendice B, tableau 2).

La figure 6.8, montre que le meilleur rendement a été obtenu à la station expérimentale de Sétif avec (50.62 qx/ha), suivie de la station de Oued-Smar, avec un chiffre de (30.61 qx/ha). Les deux autres stations de Tiaret et Khroub, ont eu des rendements sensiblement proches avec les valeurs respectives de (25.24qx/ha) et (24.97qx/ha). Ces résultats indiquent que l'environnement de Sétif est le plus favorable à l'expression du haut rendement en grains. L'interprétation agronomique qui en ressort est que le cycle de développement des différentes variétés de blé dur de cette zone semi-aride, se serait déroulé dans de bonnes conditions environnementales. Les conditions climatiques ont effectivement eu un impact important en faveur de la culture. D'abord, en début de campagne les mois d'octobre et novembre peu pluvieux (10.1mm), ont permis une bonne préparation du sol. Ensuite, les températures élevées et l'absence de gelées aux mois de « décembre et janvier » ont eu un effet positif sur l'installation et la croissance végétative de la culture. En outre, la pluviométrie des mois de février et mars (126.8mm), ont eu un bon effet sur le tallage. Par conséquent, beaucoup de talles herbacées ont été formées donnant une densité épis très élevée. Cette composante

de rendement maximisée avant l'anthèse a par conséquent favorisé le rendement en grains. D'une part, ceci rejoint les propos de BOUZERZOUR [128], qui rapporte que dans les milieux variables, il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement acceptable et d'autre part, concorde avec la plupart des travaux réalisés en zone semi-aride, qui ont montré que le nombre d'épi / m² constitue une composante importante du rendement grain [129]; [130] ; [131] ; [132]. Chez le blé, ce dernier dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids des grains par épi et du nombre d'épis par m² [99]. Par ailleurs, BENBELKACEM et KELLOU [41], affirment que le rendement est le produit de trois facteurs : le nombre d'épi / m², le nombre de grains par épi et le PMG.

Les travaux de BADRAOUI *et al.* [133], ont mentionné une corrélation significative entre le rendement en grains et ses composantes, que ce soit le nombre de grains par m² ou ses composantes : le nombre d'épis / m² et le nombre de grains / épi, ou bien le PMG. Celles-ci, s'élaborent chez le blé, lors de la phase de croissance du grain qui se déroule de l'anthèse à la maturité. Cette phase conditionne en large partie le rendement final à travers son action sur le poids du grain [132]. JONARD et KOLLER [134], ont conclu que la modification d'un facteur du rendement, sans variation compensatrice des autres, doit provoquer un changement de rendement.

En dépit de la zone favorable à la culture du blé dur, la station de Oued-Smar a enregistré des rendements plus faibles que ceux de la station de Sétif. Ces résultats seraient la conséquence des dernières pluies printanières. En Effet, celles-ci, auraient été favorables au développement des maladies cryptogamiques (septoriose et rouille brune) et des mauvaises herbes entrant en compétition avec la culture.

Les rendements des environnements de Tiaret et de Khroub, représentent moins de la moitié de ceux de Sétif. Cette faiblesse des résultats pourrait s'expliquer par les contraintes climatiques qui auraient fortement affecté les cultures et minimiser les rendements en grains.

A la station de Khroub, le déficit pluviométrique serait le principal facteur de limitation des rendements en début et en fin de cycle. D'une part, il aurait causé les pertes constatées à la levée et d'autre part, accentuée par la sécheresse (sirocco) et coïncidant avec la floraison, cette contrainte abiotique aurait affecté le remplissage des grains. La phase de remplissage du grain étant la continuité du processus de production mis en place dès la levée et dont la finalité est le rendement en grains. Le

rendement est lui-même la résultante de l'exploitation des sites de grains par m² (épi par m² et grains par épi) et de leur remplissage (poids moyen du grain) [77].

En outre, les pluies printanières associées aux conditions humides de la région, auraient favorisé le développement des maladies cryptogamiques (l'oïdium, septoriose, rouille jaune), l'apparition du criocère et la poussée la flore adventice.

Pour ce qui est des résultats obtenus à la station de Tiaret, ils seraient liés aux accidents climatiques survenus au moment de la floraison et du remplissage des grains. Ainsi, les gelées printanières ont provoqué la coulure des fleurs et la sécheresse du mois de mai a abouti à l'échaudage des grains, entraînant ainsi, une perte de poids et une diminution des rendements.

Compte tenu du climat des régions semi-arides, des précipitations à caractère faible et aléatoire, le déficit hydrique demeure le problème majeur de la production du blé dur. Cet environnement hydrique stressant impose une limite à l'expression des aptitudes génétiques des cultivars [135] et explique en partie la stagnation du rendement. Selon BENSEDDIK et BENABDELLI [67], le comportement du blé dur vis-à-vis de la contrainte hydrique est moins plastique que les autres céréales plus rustiques telles que l'orge ou l'avoine. Le blé dur est considéré comme une espèce moyennement résistante à la sécheresse, mais des différences importantes de comportement sont observées selon les cultivars [136]. LARBI *et al.* [137], constatent qu'il existe des niveaux de tolérance qui dépendent de la période où intervient le déficit hydrique. Ainsi étant précoce, ce dernier affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs [138]. A la montaison, il se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des talles et/ou la baisse du nombre de grains par épi (notamment par augmentation du taux d'avortement des épillets et l'induction de stérilité mâle). À la fin de la montaison, 10-15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet [138]. Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement [139].

Dans nos régions, ce manque d'eau peut être menaçant durant tout le cycle biologique de la céréale. En Méditerranée occidentale, et en particulier dans les hautes plaines algériennes, il est systématique en phase de post-floraison [126]. Le rendement dépend alors des effets plus ou moins marqués du stress sur le

fonctionnement des organes photosynthétiques (feuille étandard, col de l'épi, épi) et sur la mobilisation des réserves, principalement stockées dans le col de l'épi et l'avant-dernier entre-nœud [140]. La réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration [141], mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique [142]. L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) de ces différents organes va donc déterminer le rendement final [143].

L'accumulation des sucres pendant la pré-anthèse contribue à raison de 13 à 70 % au rendement en grains. Sous stress hydrique, le pédoncule de l'épi représente un site de stockage des réserves en vue d'un meilleur remplissage des grains [77].

Le rendement en grains, sous environnement contraignant est la résultante de la durée de la vitesse de remplissage et de la capacité de migration des assimilats stockés dans la tige. Sous de telles conditions de production, la durée de remplissage et par conséquent le poids du grain atteignent rarement leurs valeurs maximales, d'où une baisse du rendement en grains [144].

L'analyse de la variance du facteur génotype se révèle non significative pour ce caractère car le test F observé est inférieur au test F théorique, pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 0.05$.

On constate néanmoins, que les rendements les plus satisfaisants ont été obtenus avec les génotypes TOTUS / CARGO // ALTAR 84 /AOS et GTA X DUR (Témoin), affichant des valeurs voisines de (36.74qx / ha) et (36.52qx / ha). Quant au rendement le plus bas, il a été de (28.14qx /ha) avec le génotype TR32225 / GEDIZ // OFANTO.

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement, montre une différence non significative pour le rendement en grains.

Des fluctuations de rendements sont remarquées pour les mêmes génotypes, en passant d'un environnement à un autre. On constate aussi que les génotypes LABDY-37/ BUSCA-3 et le témoin BOUSSELAM ont réalisé les meilleurs rendements, tous les deux avec (54.89 qx/ha), à la station de Sétif, alors que le génotype MBB / OFANTO// RADIOSSO / WAHA a donné le plus bas rendement (19.08 qx/ha) à la station de Tiaret.

La moyenne générale obtenue est de 32.86 qx / ha (Appendice B, tableau 2), l'écart-type de 11.26 % et le coefficient de variation de 34.3 % (Appendice C, tableau 2).

En dépit des résultats de cette analyse, on note une différence de comportement entre les génotypes. Cette différence s'expliquerait par l'influence de l'environnement exercée sur les génotypes. En effet, lorsque les bonnes conditions environnementales sont réunies, les génotypes expriment de meilleurs rendements. Ainsi, les performances des céréales (rendement par unité de surface) sont sous le contrôle des caractéristiques endogènes propres à chaque cultivar et ne peuvent s'exprimer totalement que sous des conditions environnementales optimums [67]. Néanmoins, selon NASRAOUI [145], le premier critère de choix d'une variété est la stabilité du rendement (même moyen) et non un rendement élevé mais hautement dépendant des conditions climatiques d'une année défavorable. Il serait donc, plus judicieux d'orienter notre choix vers des génotypes qui développent des mécanismes d'adaptation à la sécheresse pour réaliser de bons rendements.

6.3 Poids de mille grains

Les résultats se rapportant à la composante de rendement « poids de mille grains » (Appendice B, tableau 3) sont illustrés par les figures 6.10, 6.11 et 6.12.

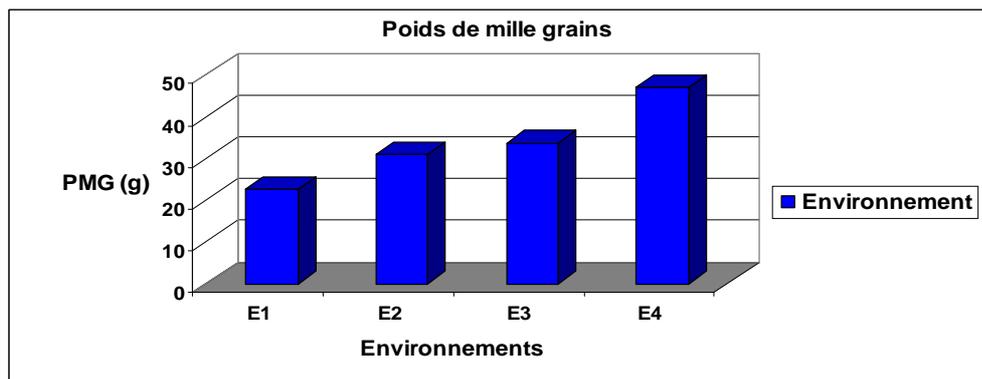


Figure 6.10: Effets de l'Environnement sur le poids de mille grains

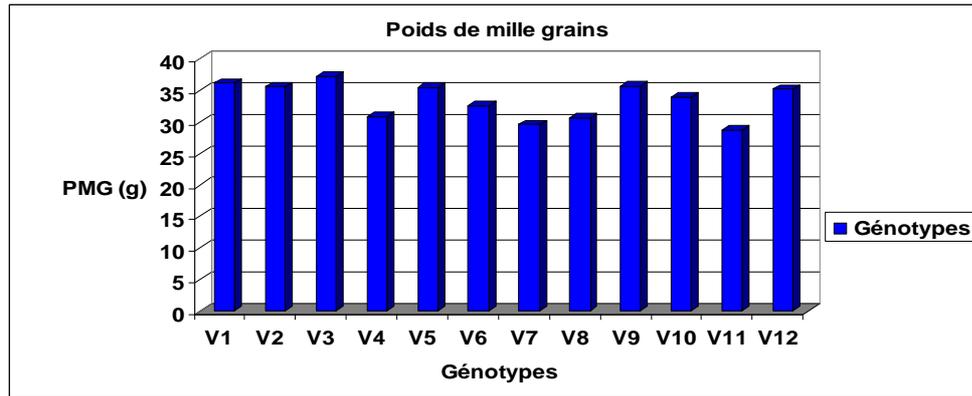


Figure 6.11: Effets du Génotype sur le poids de mille grains

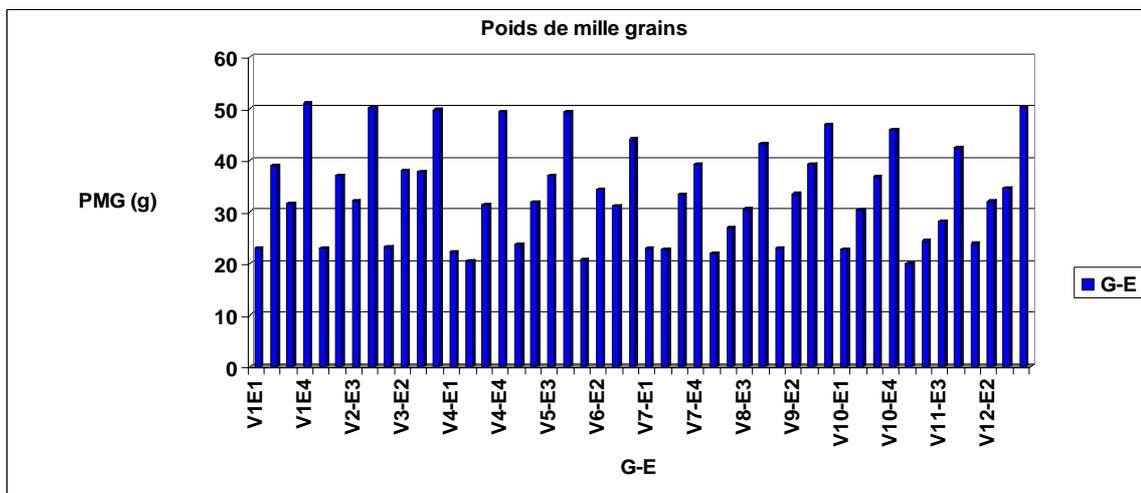


Figure 6.12: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le poids de mille grains

L'analyse statistique de la variance du poids de mille grains indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative (prob = 0.000). Le test F observé étant nettement supérieur au F théorique (Annexe C, tableau 3), prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

Le test de STUDENT NEWMAN et KEULS, montre la présence de plusieurs groupes homogènes et révèle les meilleurs poids de mille grains à la station de Sétif. Le poids le plus élevé a été obtenu chez le génotype TR 32225 / GEDIZ // OFANTO (51g), suivi du génotype témoin CIRTA (50.36g). En revanche, le poids minimum a été observé chez le génotype SHAKE-3 / GREEN -18 (39.20g). La station expérimentale de Khroub a réalisé de meilleurs résultats que celle de Oued-Smar avec des valeurs comprises entre (28.06g) pour LABDY-37 / BUSCA-3 et (39.22g)

pour le témoin GTAX DUR. Quant à la station de Tiaret, elle a obtenu les poids de mille grains les plus bas. La plus petite valeur étant de (20g) pour le génotype LABDY-37 / BUSCA-3 et la plus haute de (23.84g) pour le témoin CIRTA.

Ces différences de fluctuations pourraient provenir d'une part, du caractère variétal du poids de mille grains (PMG) et d'autre part, des conditions environnementales dans les quelles ont évolué les génotypes étudiés. En effet, le PMG est sous l'effet des composantes suivantes : matière sèche, matière fraîche, eau et matières protéiques qui diminuent sous l'effet de l'élévation de la température [146]. En outre, ce caractère (PMG) est peu maîtrisable car fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage des grains. Un manque d'eau après floraison, combiné aux fortes températures, entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ ou de la durée de remplissage, provoquant ainsi l'échaudage des grains [51]; [41]. Ces faits expliqueraient les faibles poids de mille grains obtenus à la station de Tiaret, où l'on a observé des grains de blé dur échaudés. Les cultures de blé de cette région étant exposées à de rudes conditions environnementales en fin de cycle : fortes températures (sirocco) associées au déficit hydrique, auraient pour conséquences la perte du poids des grains ainsi que la chute du rendement des cultures de blé dur.

ERCHIDI *et al.* [132], ont mentionné que la durée et la vitesse de remplissage expliquent 97 % de la variabilité du poids des grains de blé dur et que ces deux composantes sont négativement corrélées. SIMMONS et CROOKSTON [147]; TRIBOI [51], ont démontré que la vitesse de remplissage du grain est positivement corrélée au poids du grain, alors que la durée de remplissage ne présente qu'une corrélation très lâche. Ces résultats rejoignent ceux de WHAN *et al.* [148], qui ont indiqué que la faible contribution de la durée de remplissage dans la détermination du poids du grain serait plus due à l'influence de l'environnement qu'à celle du génotype.

Selon TRIBOI [51], la forte liaison négative entre la vitesse et durée de remplissage indique une compensation entre ces deux composantes, mais reste sans effet sur le poids sec final du grain. BAHLOULI *et al.* [77], ont également montré que la vitesse de remplissage du grain est négativement liée à la durée de remplissage. Par contre, à l'opposé des autres résultats, cette dernière variable est positivement liée au poids de mille grains et à la durée de la phase végétative.

Les travaux menés par SOFIELD *et al.* [149], ont confirmé la dépendance du PMG aux variations de températures qui conditionnent en grande partie la vitesse et la durée de remplissage des grains. Ces derniers, mentionnent que la durée de remplissage est plus longue sous température modérée et que la vitesse est plus élevée sous haute température. Ainsi, une longue durée de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale, par contre une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets de stress hydriques. Sous ces conditions de stress, les assimilats stockés dans les tiges diminuent après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage [77].

Ainsi, sous l'effet d'un environnement contraignant, les différents génotypes étudiés n'exprimeraient pas convenablement leurs capacités intrinsèques, car ils n'arriveraient pas à assurer leur remplissage par le produit de la photosynthèse de la post-anthèse. Les réserves accumulées dans les tiges seraient donc un mécanisme d'adaptation au milieu défavorable. Ces changements de comportement des génotypes interviennent naturellement sur le rendement final. BIDDINGER *et al.* [150], rapportent que la contribution des tiges au rendement variait de 10 à 70 % selon les génotypes et les environnements.

Par ailleurs, la diminution du poids de mille grains pourrait être liée au dessèchement de la dernière feuille (feuille étendard) qui participe en grande partie au remplissage des grains. La vitesse du dessèchement foliaire est modeste au stade épiaison puis devient plus rapide après 10 jours. Le début de la phase active du remplissage du grain correspond au début de la sénescence foliaire [77]. Selon FOKAR *et al.* [151], les génotypes qui se caractérisent par une sénescence foliaire précoce font plus appel aux hydrates de carbone solubles dans l'eau.

Les quantités de réserves acheminées vers le grain dépendent de l'état de fonctionnement des vaisseaux conducteurs, du potentiel du grain et de la capacité du génotype à utiliser ces dernières pour son remplissage suite au déficit de l'activité de photosynthèse de la post-anthèse [152]. Ceci corrobore ce qui est rapporté par TRIBOI *et al.* [153] et par BLUM *et al.* [154], qui mentionnent que le flux des assimilats vers le grain dépend d'une part de la quantité d'assimilats stockés dans les tiges et d'autre part de l'assimilation post-anthèse. La quantité est fonction du

nombre de tiges produites par m^2 , du type de variété, de la hauteur du chaume et des conditions climatiques spécifiques à l'année [154].

Par ailleurs, d'après TRIBOI [51] ; AURIAU *et al.* [155], pour une variété donnée et à partir d'un certain nombre de grains seuil, le PMG est corrélé négativement au nombre de grains / m^2 . Ce résultat est la conséquence d'une compétition qui s'établit entre les grains pour les assimilats, ce qui engendre souvent la chute du PMG.

HALILAT et DOGAR [156], montrent que lorsque les doses d'azote deviennent très importantes, le PMG tend à diminuer. En effet, les fortes doses d'azote apportées pendant la phase végétative favorisent l'élaboration de la matière sèche et donc du nombre de grains / m^2 , ce qui crée une forte compétition pour les assimilats.

Le poids de mille grains contribue au bon rendement semoulier. C'est pourquoi, les industriels recherchent les PMG les plus élevés possible. C'est aussi un bon critère de mesure qui permet d'apprécier la qualité technologique du blé dur, en appréhendant son aptitude à être transformé en semoules.

6.4 Moucheture

Les résultats relatifs au taux de moucheture (Appendice B, tableau 4) sont illustrés par les figures 6.14, 6.15 et 6.16.

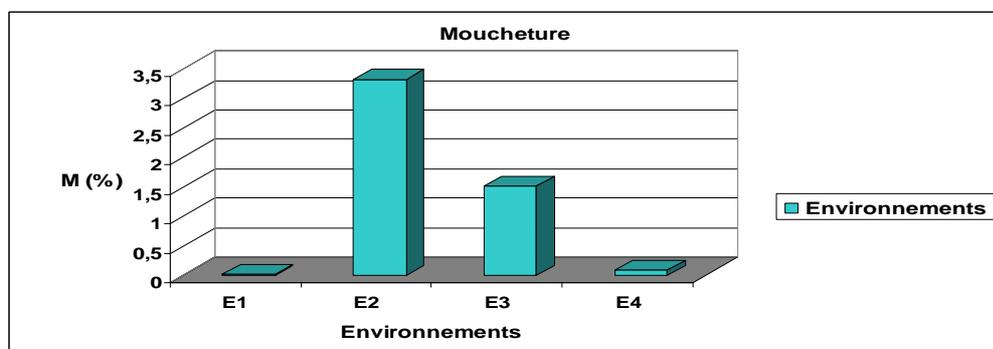


Figure 6.14 : Effets de l'Environnement sur le taux de moucheture

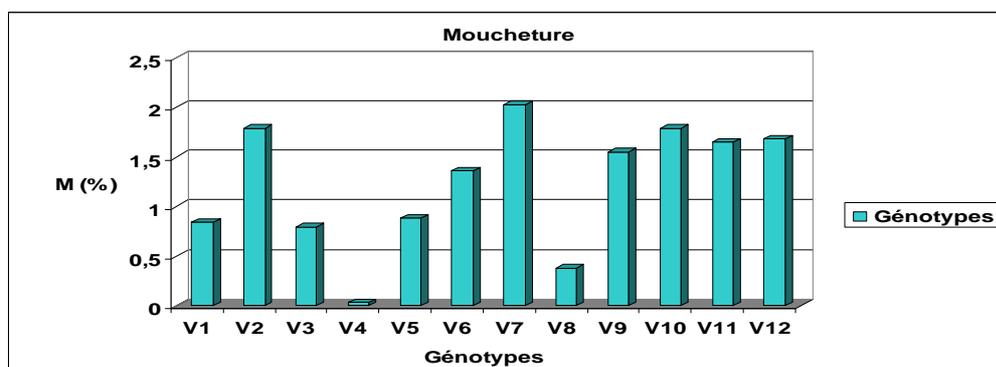


Figure 6.15: Effets du Génotype sur le taux de moucheture

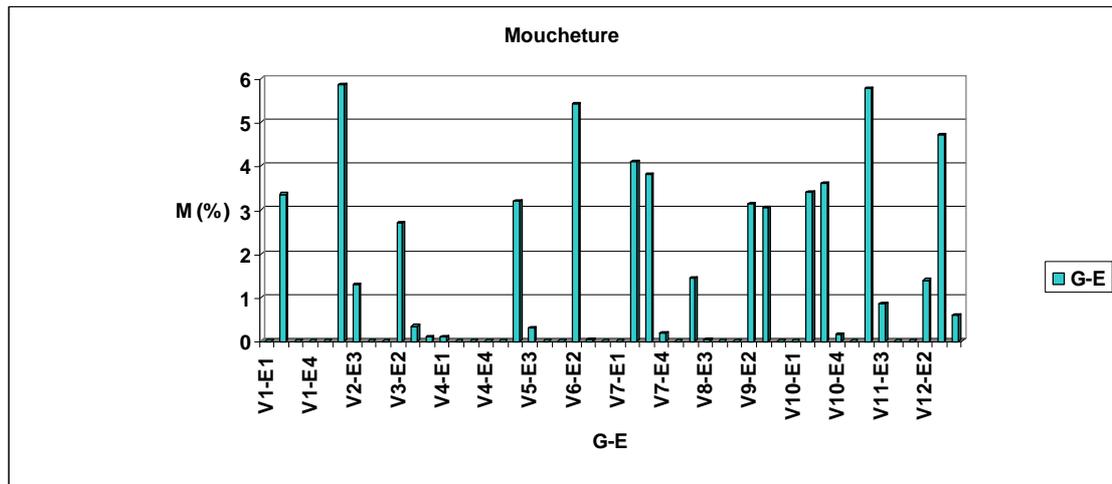


Figure 6.16 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le taux de moucheture

L'analyse de la variance du facteur environnement (Appendice C, tableau 4) nous montre que le test F est hautement significatif. Le F observé étant remarquablement élevé par rapport au F théorique pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 0.05$.

« α étant bien sûr la probabilité qu'il existe un effet environnement alors que c'est faux. » Nous pouvons par conséquent, indubitablement conclure qu'il existe un effet de l'environnement sur le taux de moucheture. Ce résultat est confirmé également par l'analyse des résidus présentant une variance résiduelle ($V_R = 0.01$) nettement faible par rapport à la variance environnementale ($V_E = 115.33$).

Le test de NEWMAN et KEULS, montre la présence de quatre groupes homogènes classés par ordre croissant de sensibilité à la moucheture : A, B, C et D. Cette analyse des résultats nous permet de dégager l'interprétation agronomique suivante : Les effets de l'environnement sur le taux de moucheture s'expliquent principalement par : les différences climatiques des quatre régions étudiées à savoir, la station expérimentale de Tiaret, la station de Oued- Smar, station Khroub de Constantine et celle de sétif. A remarquer que les valeurs en (%) de ce caractère sont élevées notamment à Oued-Smar et à Constantine. Ces taux élevés dans ces deux régions seraient liés au fort taux d'humidité propre au littoral algérien, ce qui favoriserait le développement des champignons. Cette hypothèse est en accord avec les travaux de DESCLAUX *et al.* [157], qui ont récemment confirmé que la moucheture est

provoquée par trois agents : les conditions abiotiques, les insectes et les champignons.

Selon ces chercheurs, les conditions climatiques sont les facteurs causaux les plus favorables à l'apparition de la moucheture. Ils affirment que l'expression de la moucheture varie considérablement selon le seuil de température. Les températures moyennes et l'humidité maximale se révèlent les plus corrélés au taux de moucheture pendant la période épiaison - grain pâteux. Un taux maximal de moucheture (32 %) a été obtenu en chambre de culture à 80 % d'hygrométrie et pour des températures de 16°C. La période de sensibilité peut être relativement courte. Avant le stade gonflement, une augmentation d'hygrométrie n'a pas d'influence sur le taux de moucheture, cependant dès le stade gonflement, une forte hygrométrie provoque l'apparition de plus de 20 % de moucheture [157].

Par ailleurs, ces conditions climatiques contribuent au développement de champignons tels *Microdochium nivale* appartenant à la famille des Fusarium ainsi qu'à la prolifération d'insectes piqueurs tels les Thrips (*Haplothrips tritici*). Ces derniers seraient capables de provoquer la moucheture du blé par la présence des jeunes larves se glissant dans le sillon du grain et piquant le péricarpe au moment où le grain atteint l'état laiteux. La coloration et l'intensité des taches varient selon l'agent causal ; les attaques de thrips provoquant les plus forts taux. Des taches brunes et larges sont essentiellement observées lorsque les grains ont été au contact de *M. nivale*, alors que les thrips provoquent des spots de couleur noire intense. Les larves de Thrips sont capables de causer des taches noires par simple action mécanique de piqûre sans qu'il y ait nécessairement d'inoculation de vecteurs pathogènes à l'intérieur du grain [157].

L'analyse de la variance du facteur génotype (Annexe C tableau 4), nous dévoile que le test F est très hautement significatif. Le F observé est largement plus important que le F théorique pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha=0.05$. Ceci implique qu'il existe un effet significatif du génotype sur le taux de moucheture.

Le test de NEWMAN et KEULS révèle la présence de groupes homogènes et permet de classer les génotypes étudiés par degré de sensibilité au taux de moucheture. Ainsi, il s'avère que la variété la plus résistante est OFANTO/ WAHA / WAHA et que la plus sensible est SHAKE-3 / GREEN -18. Les variétés PLATA-1 / SNM / PLATA-9

et MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA présentent le même degré de sensibilité.

L'ordre croissant de sensibilité à la moucheture est le suivant :

OFANTO/ WAHA / WAHA, TOTUS / CARGO // ALTAR 84 / AOS, BOUSSELLAM / OFANTO, TR 3225 / GEDIZ // OFANTO, BOUSSELLAM, WAHA, GTAXDUR, LABDY-37/ BUSCA-3, CIRTA, PLATA-1 / SNM / PLATA-9 et MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA, SHAKE-3 / GREEN -18.

Les variétés présentent des sensibilités différentes selon les agents causaux [157].

Ainsi, une variété sensible à *M. nivale* pourrait réagir différemment pour les autres agents causaux.

L'analyse de la variance du taux de moucheture indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative (prob = 0.0000).

Le test F est très élevé par rapport au test F théorique pour un risque d'erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 0.05$.

Le test de NEWMAN et KEULS, révèle la présence de plusieurs groupes homogènes classés selon un ordre croissant de résistance à la moucheture et détermine l'interaction qui présente la meilleure résistance vis-à-vis de ce paramètre. Ainsi, les résultats obtenus montrent un taux de moucheture très élevé pour certains groupes, alors qu'il est inexistant pour d'autres, notamment pour le groupe O. Les valeurs sont comprises entre 0.00 % et 5.85 % avec une moyenne générale de 1.23 %. L'écart type est de 0.11 % et le coefficient de variation de 9.1% (Appendice C, tableau 4).

Tous les génotypes de la station de Oued-Smar et 08 génotypes sur 12 de la station Khroub sont fortement atteints de moucheture. Les variétés les plus résistantes au taux de moucheture sont cependant, celles des stations expérimentales de Tiaret et de Sétif. Ces mêmes variétés très résistantes dans ces deux milieux deviennent sensibles dans d'autres environnements. C'est le cas par exemple des variétés BOUSSELLAM / OFANTO, SHAKE-3 / GREEN -18 / PLATA-1 / SNM / PLATA-9, CIRTA (Témoin) qui se comportent différemment d'une zone à l'autre.

Ces faits, montrent l'influence du milieu sur le taux de moucheture des différents génotypes. Par conséquent, ce taux de moucheture est dépendant de la variété et de l'environnement.

Les plages de coloration brune ou noire sur les grains mûrs sont pénalisantes car en les retrouvant dans les semoules et les pâtes alimentaires, elles déprécient leur valeur commerciale. C'est pourquoi, génotypes les plus résistants à la moucheture sont les plus recherchés. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réactions de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5 %.

Sur le plan pratique, il serait intéressant de retenir le génotype OFANTO / WAHA / WAHA qui répond le mieux vis-à-vis de la résistance à la moucheture dans la plupart des environnements. On pourrait également s'intéresser aux génotypes qui correspondent au groupe O dans les milieux les plus défavorables pour ce paramètre.

6.5 Mitadinage

Les résultats relatifs au mitadinage (Appendice B, tableau 5) sont représentés par les figures 6.17, 6.18 et 6.19.

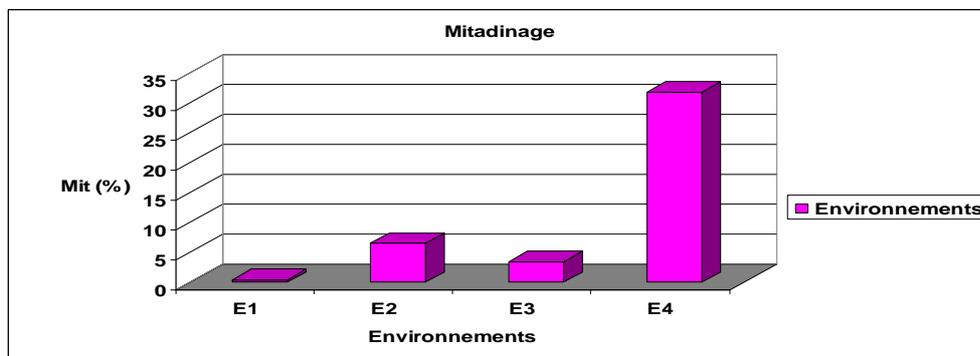


Figure 6.17 : Effets de l'Environnement sur le taux de mitadinage

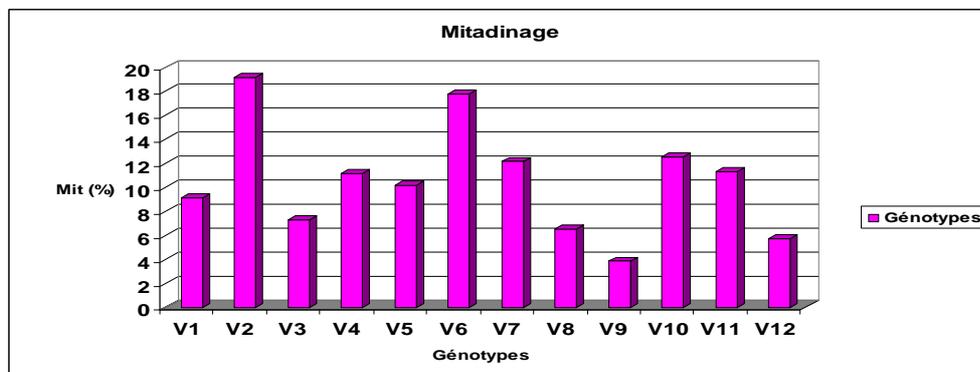


Figure 6.18 : Effets du Génotype sur le taux de mitadinage

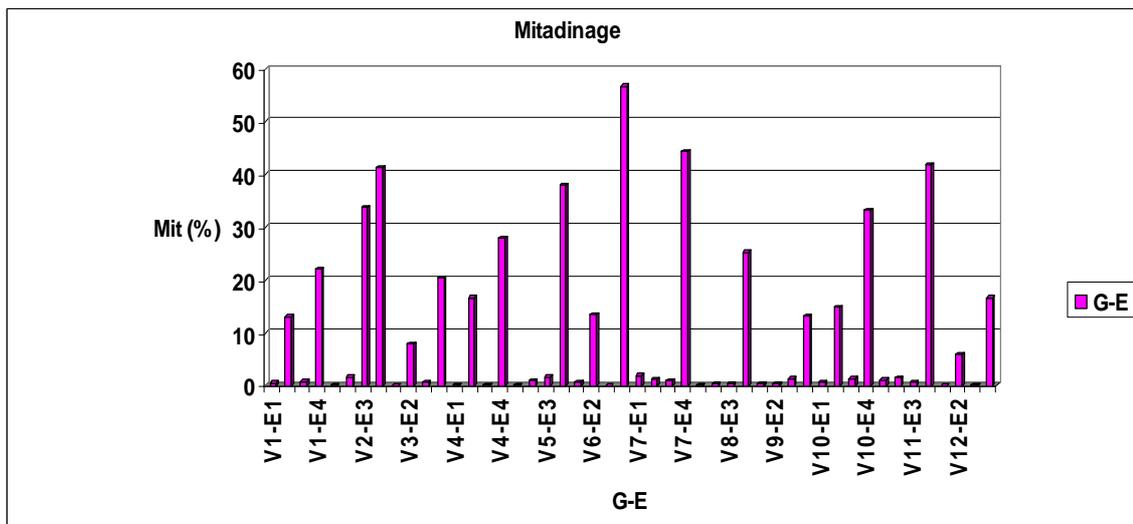


Figure 6.19 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le taux de mitadinage

Un grain mitadiné est un grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse. Le mitadinage est un critère qualitatif industriel pénalisant la valeur semoulière. Si son taux est trop élevé, le rendement semoulier chute. La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains doivent être mitadinés. Ce seuil est la limite en vigueur pour un prix sans réfaction.

L'analyse de la variance du facteur environnement montre un effet significatif sur le taux de mitadinage (prob = 0.0000 %).

Le test de NEWMAN et KEULS révèle la présence de quatre groupes homogènes classés selon un ordre croissant de sensibilité au mitadinage : A, B, C et D.

On constate que le plus faible taux de mitadinage a été enregistré aux stations expérimentales de Tiaret et de Khroub, contrairement aux stations de Oued-Smar et de Sétif. Le taux le plus fort en mitadinage a été enregistré à la station de Sétif avec une valeur de 31.71%. Ce taux dépasse le seuil limite préconisé, il est donc pénalisant pour la valeur semoulière du blé dur. Ces résultats seraient probablement liés aux effets de l'environnement, c'est-à-dire, aux conditions climatiques telles que la pluviométrie et les techniques culturales entre autre, la fertilisation azotée [158]. En effet, le fort taux de mitadinage observé à la station de Sétif s'expliquerait d'une part, par le déficit du cumul pluviométrique, qui était inférieur à la moyenne des 5 dernières campagnes et en parallèle par la mauvaise répartition des pluies durant la

phase critique du remplissage des grains. D'autre part, la mauvaise gestion des techniques culturales (dose et mode de fractionnement de l'azote) pourrait être la cause d'un déséquilibre azoté. L'ensemble de ces facteurs, aurait conduit les grains de blé à une mauvaise assimilation des engrais azotés, d'où le mauvais remplissage des grains entraînant le mitadinage. Selon DESCLAUX *et al.* [157], le mitadin est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- post- floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné (en 3 ou 4) avec dernier apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadin. D'après les travaux de ces auteurs, un fractionnement en 4 apports est encore plus performant.

L'analyse de la variance du facteur génotype se révèle également très significative pour ce caractère. Le test F est très hautement significatif, ce qui signifie qu'il existe un effet génotype sur le taux de mitadinage.

Grâce au test de NEWMAN et KEULS, on découvre la présence plusieurs groupes homogènes qui sont classés selon un ordre croissant de résistance au taux de mitadinage (Appendice B, tableau 5).

On remarque qu'aucune des variétés n'a dépassé le seuil de 20 %. La variété présentant la meilleure résistance est GTA X DUR (témoin) avec un taux de 03.85 %, quant à la plus sensible MBB /OFANTO// RADIOSSO / WAHA affichant un taux de 19.14 %.

La résistance au mitadinage est un caractère qui dépend des facteurs génétiques [159]. Il est directement lié à la teneur en protéines. Si au cours du remplissage du grain, la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux, en revanche, dans le cas d'une carence protéique cela conduirait à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen, lui conférant une apparence opaque ou farineuse [160], qui aboutirait à une diminution du rendement semoulier par accroissement de la production de la farine.

Sur le plan biochimique les lots de blés les moins mitadinés (inférieurs à 20 %) ont plus de gliadines que de gluténines. Il semble que, comme pour le blé tendre, l'augmentation de la teneur en protéines totales en réponse à la fertilisation azotée,

s'accompagne d'une élévation de la teneur en gliadines, qui dans le cas du blé dur modifierait la structure de l'albumen [157].

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement est très hautement significative (prob = 0.0000 %). Ceci implique l'effet significatif des deux facteurs génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

L'analyse des résidus (Appendice C, tableau 5), confirme ces résultats avec une variance résiduelle ($V_R = 0.06$ %) extrêmement faible par rapport à la variance interaction ($V_I = 289.76$).

Le test de NEWMAN et KEULS classe les différents groupes homogènes et révèle des valeurs de taux de mitadinage comprises entre (0.00% et 56.66 %), avec une moyenne générale de 10.56 %, un écart-type de 0.24 % et un coefficient de variance de 2.3 %. Les génotypes les plus intéressants et ayant répondu à un taux de mitadinage de 0.00 % sont BOUSSELAM / OFANTO (6S - 1S - 8S - 1S - 0S) et le témoin CIRTA enregistrés à la station de Tiaret ainsi que WAHA enregistré à la station de Khroub. Toutefois, les génotypes ayant obtenu les plus forts pourcentages en mitadin sont : WAHA, LABDY-37/ BUSCA-3, SHAKE-3 /GREEN-18, CIRTA, MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA et BOUSSELAM, tous enregistrés à la station de Sétif. Il est à remarquer que certains génotypes comme dans le cas de ces derniers, réagissent différemment dans d'autres environnements, passant réciproquement de la sensibilité à la résistance. Ce phénomène ne pourrait s'expliquer que par l'étroite dépendance de l'interaction génotype x environnement, qui impliquerait des gènes de résistance, lesquels seraient inhibés ou activés en fonction des conditions environnementales.

6.6 Teneur en eau des grains et des semoules

Les résultats relatifs aux teneurs en eau des grains et des semoules (Appendice B, tableaux 6 et 7) sont illustrés par les figures 6.19, 6.20.

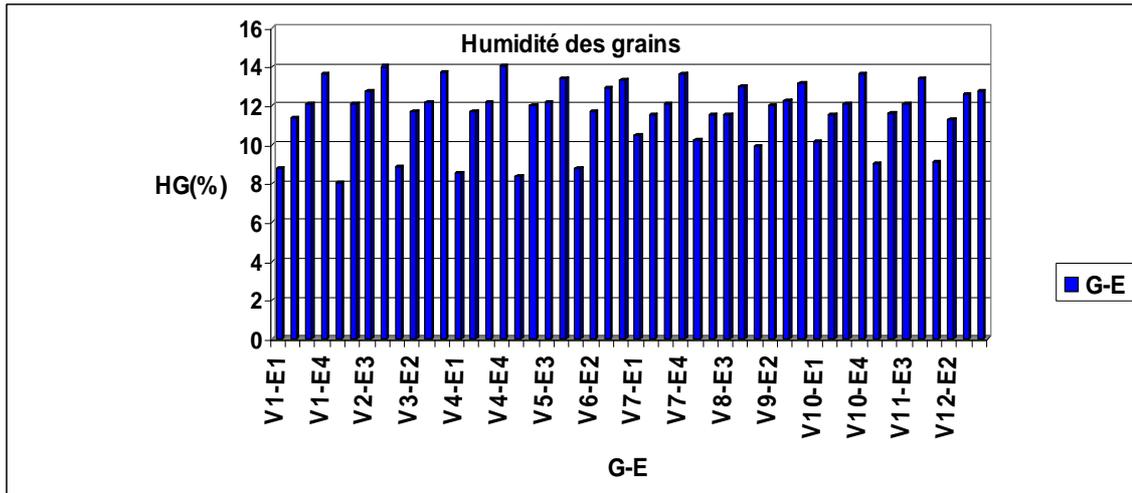


Figure 6.19: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en eau des grains

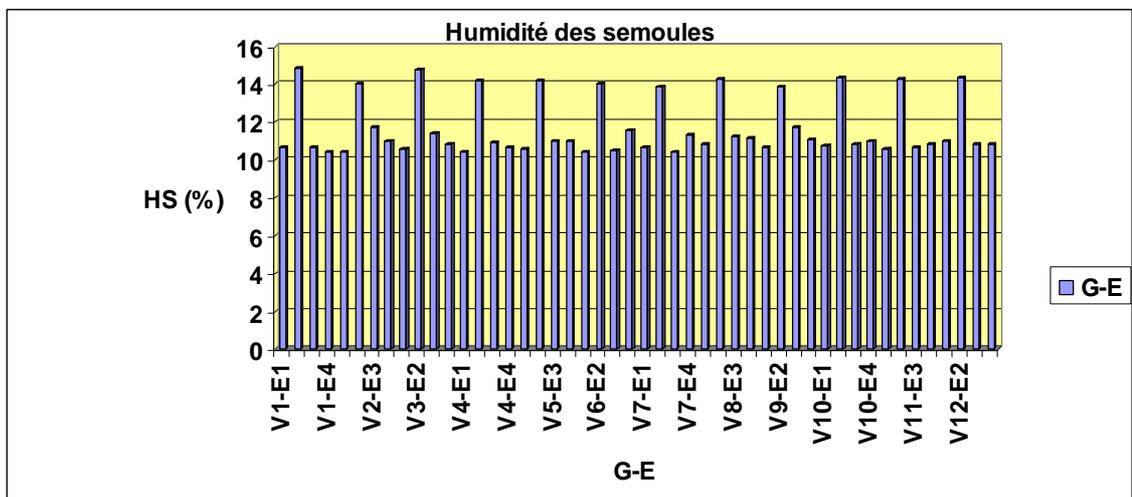


Figure 6.20: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en eau des semoules

La teneur en eau d'un blé ou d'une semoule est définie par FEILLET [9], comme étant la quantité d'eau éliminée après maintien du produit dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est égale à zéro, pendant un temps suffisant pour atteindre un équilibre de poids.

Pour permettre leur conservation correcte, les grains sont naturellement peu hydratés. Leur teneur en eau varie avec l'humidité de l'air. L'équilibre se situe entre 16 et 13 % selon la température et l'humidité ambiantes. Les valeurs courantes sont aux environs de 14% d'eau [20].

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement fait apparaître une différence très hautement significative pour la teneur en eau des grains et des semoules. Ceci traduit l'impact des deux facteurs génotype x environnement en interaction sur l'humidité des grains et celle des semoules.

Le test de NEWMAN et KEULS, révèle un grand nombre de groupes homogènes pour les grains et pour les semoules.

On constate (Appendice B, tableau 6), que les teneurs en eau des grains sont comprises entre 08.80 % et 14.05 %. Le génotype renfermant la plus basse humidité est MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA dans l'environnement de Tiaret, par contre, celui qui présente la meilleure humidité est le génotype OFANTO / WAHA / WAHA dans l'environnement de Sétif. La moyenne générale obtenue est de 11.64 %, l'écart-type de 0.14 et le coefficient de variance de 3.3 % (Appendice C, tableau 6).

Les fluctuations des teneurs en eau des grains remarquées dans les quatre environnements, marquent une différence de potentiels entre les génotypes sensibles aux facteurs du milieu. Mis à part les grains de blé de la région de Sétif, tous les autres présentent des teneurs en eau inférieures à 13 %, mais les teneurs les plus faibles se retrouvent au site de Tiaret.

La sécheresse qui sévit dans cette région, est certainement la cause de ce résultat qui a engendré l'échaudage et la perte de poids de ces grains de blé dur.

Les semoules (Appendice B, tableau 7), renferment des humidités comprises entre 10.40 % et 14.35 %. Les génotypes ayant les plus faibles valeurs sont (MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA) et (SHAKE-3 / GREEN-18), obtenues dans les environnements respectifs de Tiaret et de Khroub tandis que, ceux qui comprennent la meilleure valeur sont le PLATA-1 /SNM // PLATA-9 et CIRTA, tous les deux dans l'environnement de Oued-Smar. La moyenne générale est de 11.71 %, avec un écart-type de 0.27 et un coefficient de variance de 2.3 % (Appendice C, tableau 7).

La variation des teneurs en eau des semoules est due au conditionnement des grains avant leur transformation en semoule. Cette opération permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain.

6.7 Taux d'extraction des semoules

Les résultats de l'analyse se rapportant au taux d'extraction des semoules (Appendice B, tableau 8) sont illustrés par la figure 6.21.

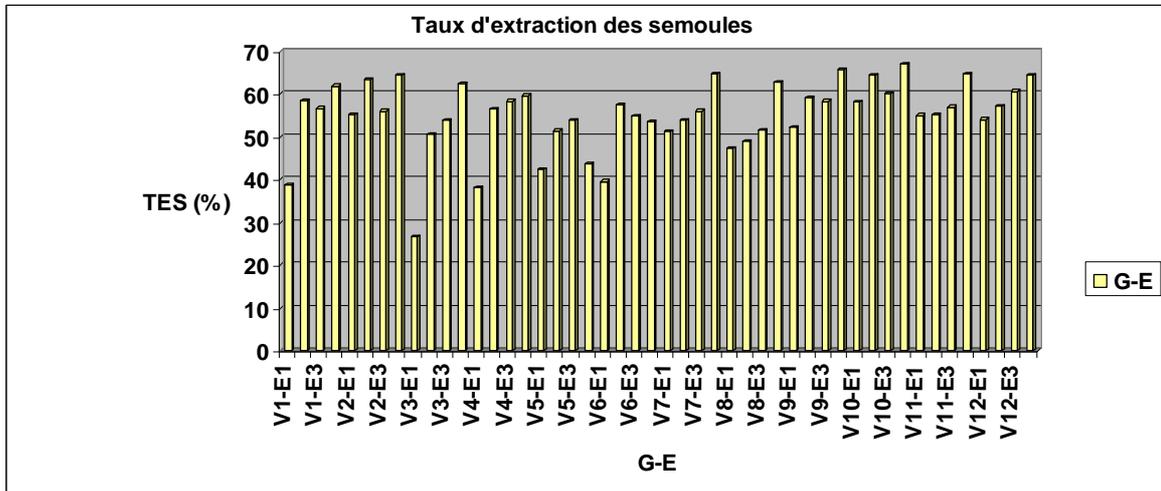


Figure 6.21 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le taux d'extraction des semoules

Le rendement semoulier est un caractère économique important dans la mesure où il permet de mesurer l'aptitude d'un lot de blé dur à la première transformation.

L'analyse statistique des résultats en rapport avec ce caractère montre une différence très significative pour le facteur génotype ainsi que pour le facteur environnement. Ces faits traduisent l'influence de ces deux facteurs « génotype » et « environnement » sur le taux d'extraction de la semoule.

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence très hautement significative (prob = 0.0000) pour l'extraction des semoules. Le test de NEWMAN et KEULS, nous montre la présence d'un grand nombre de groupes homogènes pour ce facteur.

Les valeurs du rendement semoulier basculent entre 26.52 % (génotype BOUSSELAM / OFANTO) et 66.90 % (génotype PLATA-1/ SNM // PLATA-9), avec une moyenne de 55.19 %. L'écart-type est de 3.08 % et le coefficient de variation de 5.6% (Appendice C, tableau 8).

On remarque d'une part, que meilleurs taux d'extraction des semoules ont été réalisés au site de Sétif, tandis que les taux les plus bas ont été observés au site de Tiaret (Appendice B, tableau 8). Ces derniers seraient la conséquence des grains de blé échaudés du site expérimental de Tiaret. D'autre part, on constate que le rendement semoulier le plus bas correspond au PMG le plus bas. Ces résultats sont en accord avec ceux de PORCEDDU [27], qui affirme que les faibles PMG qui résultent des grains échaudés ont un effet négatif sur le rendement semoulier. Par ailleurs, la taille des grains est considérée comme un facteur important de la valeur semoulière des blés durs [161]. Les variétés à gros grains sont généralement préférées aux variétés à petits grains car ceux-ci, donnent toujours des rendements semouliers supérieurs.

Contrairement aux nombreux travaux réalisés sur la qualité pastière des blés, très peu d'études ont été réalisées sur la qualité semoulière [162].

La valeur semoulière d'un blé dur, définie comme l'aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée [163], est appréciée par le taux de mitadinage, le poids de mille grains, la teneur en cendres des grains et l'homogénéité du lot [164]. Le rendement semoulier est une combinaison du calibre, des propriétés intrinsèques et de la teneur en cendres [27].

Le taux d'extraction de la semoule est fonction de trois groupes de facteurs principaux. Certains de ces facteurs sont liés aux conditions de culture et de récolte comme la teneur en eau, le taux d'impuretés ou le taux de grains cassés, d'autres semblent plus influencés par des facteurs variétaux et agronomiques comme le rapport pondéral albumen sur enveloppes, la friabilité de l'albumen, ou encore l'adhérence enveloppes albumen [165].

Sur le plan technologique, les blés durs mitadinés entraînent une baisse du rendement semoulier. Leur amande étant plus friable que celle d'un blé vitreux, ils ont tendance à se désagréger en farine au lieu d'éclater en semoule [91].

La détermination des matières minérales qui sont principalement réparties dans les enveloppes du blé dur, donne une indication sur le taux d'extraction en semoulerie. Ainsi, la répartition inégale des matières minérales dans le grain de blé dur n'est pas sans effet sur le taux d'extraction de la semoule. En effet, les grains de blé riches en éléments minéraux ont un taux d'extraction de semoule plus faible que ceux qui sont pauvres en éléments minéraux [27].

6.8 Taux de cendres des grains et des semoules

Les résultats relatifs aux taux de cendres des grains et des semoules (Appendice B, tableaux 9 et 10) sont illustrés par les figures 6.22 et 6.23.

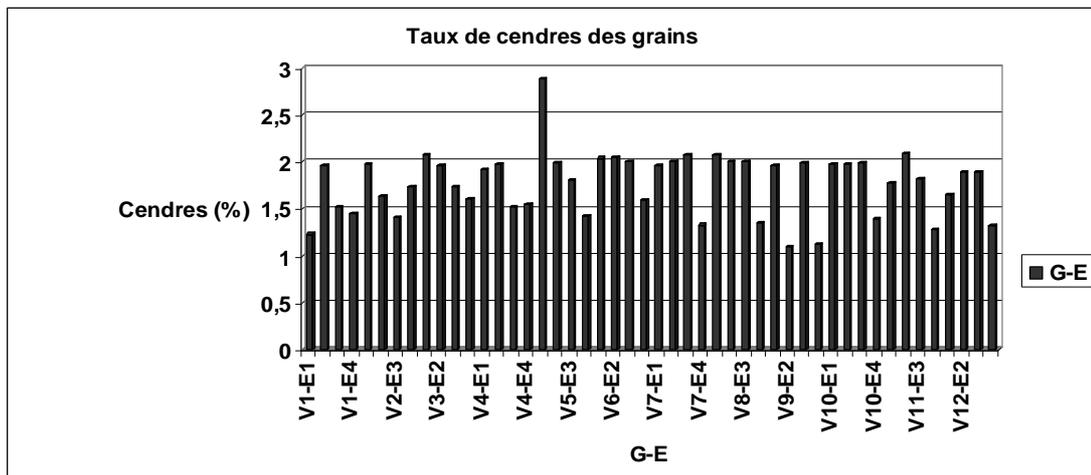


Figure 6. 22 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le taux de cendres des grains

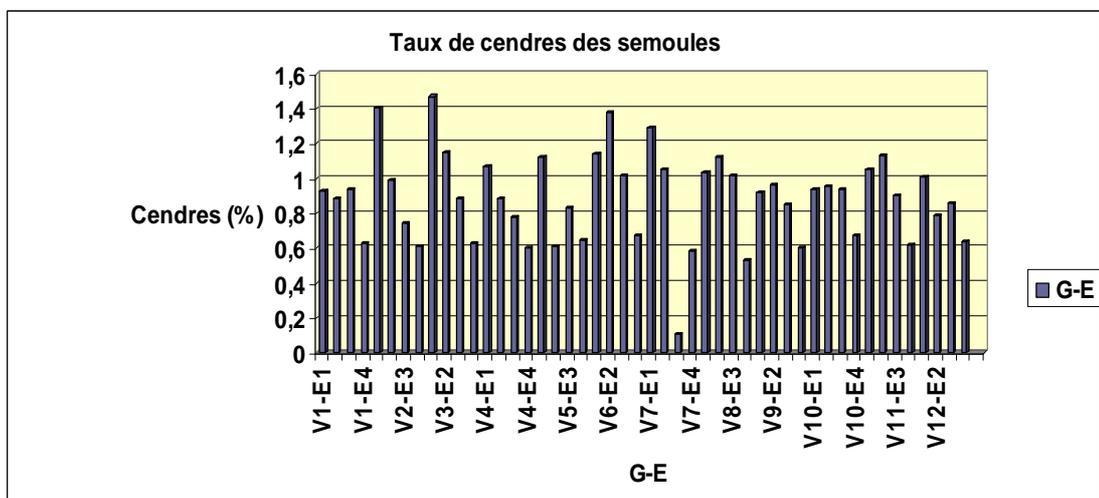


Figure 6.23: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le taux de cendres des semoules

La mesure de la teneur en cendres est le critère principal utilisé pour apprécier la pureté d'une semoule. L'intérêt est de classer les semoules (blé dur) et les farines (blé tendre) de façon réglementaire pour leur usage en industrie alimentaire.

Pour la fabrication des pâtes alimentaires, on admet en général AFNOR [93], qu'une semoule supérieure de blé dur, doit avoir un taux de cendres de 1.10 % (tolérance 10 %), et pour une semoule courante de blé dur, un taux de cendres maximum est 1.30 % (tolérance 20 %).

Les résultats de l'analyse de la variance du taux de cendres des grains et des semoules montrent une différence très hautement significative pour le facteur génotype ainsi que pour le facteur environnement. Ces faits indiquent que le taux de cendres des grains et des semoules est influencé par les génotypes et aussi par les lieux de culture.

L'analyse de la variance de l'interaction de ces deux facteurs génotype x environnement se révèle également très hautement significative, ce qui nous amène à déduire l'effet net de cette interaction sur le taux de cendres des grains et des semoules.

L'analyse de la variance du test de NEWMAN et KEULS, révèle l'existence de plusieurs groupes homogènes et détermine les meilleurs teneurs en cendres. Les teneurs en cendres des grains sont comprises entre 01.09 % et 02.89 %. La variété GTA X DUR (témoin) présente le taux minimal de cendres dans l'environnement de Oued-Smar par contre, la variété BOUSSELAM (témoin) présente le taux maximal de cendres dans l'environnement de Tiaret. La moyenne générale est de 01.77 %, avec un écart-type de 0.09 et un coefficient de variance de 4.9 % (Appendice C, tableau 9).

Les teneurs en cendres des semoules varient entre 0.11% et 01.47 %. Le génotype (SHAKE-3 /GREEN-18) présente la meilleure valeur en cendres au site de Khroub cependant, le Génotype (BOUSSELAM / OFANTO) présente la valeur la moins satisfaisante en cendres au site de Tiaret. La moyenne générale étant de 0.89 %, (Appendice B, tableau 10), l'écart-type de 0.10 et le coefficient de variance de 11.5 % (Appendice C, tableau 10).

On remarque que le taux de cendres des grains est toujours supérieur à celui des semoules. Les écarts observés entre les teneurs en cendres des grains et des semoules, peuvent être induits par des différences de répartition des matières minérales à l'intérieur du grain. Les études menées par ABECASSIS et FEILLET [166], montrent bien que l'influence de la teneur en matières minérales des grains

sur le taux de cendres des produits de mouture est particulièrement importante dans le cas du blé dur. En effet, l'albumen du blé dur contient environ 50 % de la totalité des matières minérales du grain (celui du blé tendre n'en contient que 25 %). Le taux de cendres des semoules dépend donc, non seulement de leur pureté, définie comme étant le taux de contamination des produits venant de l'amande du blé par des produits venant des enveloppes et de la couche à aleurone [91], mais également de la minéralisation des blés mis en œuvre. Selon GODON [167], la teneur en cendres des grains et des semoules ainsi que la répartition des minéraux dans le grain lui-même, peuvent être influencés à la fois par de nombreux facteurs (génétiques, climatiques, pédologiques, et traitements technologiques).

Afin de limiter les facteurs agro-climatiques, la pureté des semoules ne peut être correctement appréciée que par la détermination du rapport R ($R = \text{Taux de cendres des semoules} / \text{Taux de cendres des grains}$) [160]. Selon GHEZLANE [168], ce taux doit être inférieur à 0.50 %. En appliquant ce rapport sur nos résultats, on constate que ce dernier est inférieur à 0.50 % pour la majorité des semoules.

6.9 Test de sédimentation S.D.S

Le test S.D.S de sédimentation est utilisé pour apprécier la qualité des blés en sélection. Les résultats de l'analyse du test S.D.S de sédimentation (Appendice B, tableau 11) sont illustrés par la figure 6.24

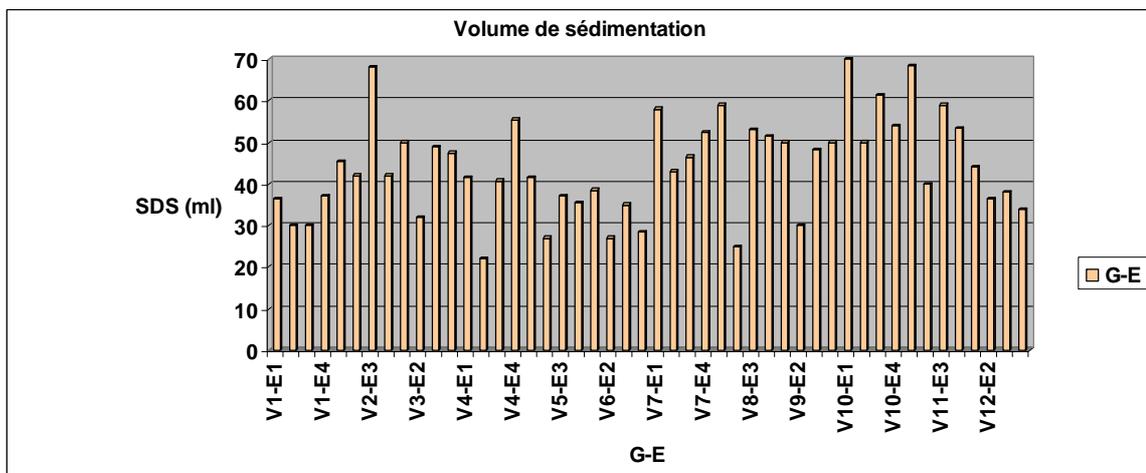


Figure 6.24: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur le volume SDS

L'analyse de la variance du test S.D.S de sédimentation, dévoile que l'interaction génotype x environnement est hautement significative (prob =0.0000). Ceci est révélateur de l'effet important des deux facteurs « génotype et environnement » en interaction sur ce paramètre.

Le test complémentaire de NEWMAN et KEULS, indique la présence de plusieurs groupes homogènes et détermine les meilleurs volumes de sédimentation.

Le génotype PLATA-1 / SNM / PLATA-9, a enregistré le meilleur volume de sédimentation (dépôts en agrégats), qui s'évalue à (70ml), ce au niveau du site expérimental de Tiaret. En revanche, le volume le moins élevé (22ml) a été réalisé avec le génotype OFANTO / WAHA / WAHA, à la station de Oued-Smar. Le volume de sédimentation moyen est de (44.06ml). L'écart-type est de 1.40 % et le coefficient de variance de 1.2 % (Appendice C, tableau 11).

Ces résultats sont globalement satisfaisants pour la plupart des traitements et sont en accord avec ceux de DEXTER *et al.* [169], qui mentionnent que le test de sédimentation est influencé aussi bien par le génotype que par le lieu de culture. D'ailleurs, cette étude nous a permis de constater le caractère instable des génotypes, qui ne répondent pas de la même façon, au niveau des différents environnements (sites expérimentaux).

Les volumes les plus élevés du SDS de sédimentation témoignent de la bonne qualité du gluten du blé dur et par conséquent, de celle de la semoule. La composition du gluten de blé est effectivement un facteur déterminant pour la qualité des produits finis. C'est le constituant le plus explicatif des différentes aptitudes technologiques attribuées à la variété [170].

Ces volumes de sédimentation sont d'une part, corrélés positivement à l'indice de qualité (le gluten), puisqu'ils permettent d'apprécier la force du gluten et de mieux approcher la valeur intrinsèque des génotypes. D'autre part, ils sont corrélés négativement à la teneur en protéines qui reste indépendante de la qualité du gluten [169].

Afin d'estimer la qualité du gluten et celle des semoules des génotypes étudiés, les résultats de l'Indice de sédimentation SDS obtenus, ont été classés dans le tableau 6.14 selon l'échelle établie par WILLIAMS *et al.* [171]. Ce tableau montre

l'incidence positive de l'interaction génotype x environnement sur la qualité des blés, à travers les volumes de sédimentation. Ceux-ci étant effectivement meilleurs en interaction, contribueraient à l'amélioration de la qualité des blés. Ainsi, au site de Tiaret, le génotype V10 (plata-1 / SNM / PLATA-9), s'est avéré le meilleur témoignant d'une très forte force en gluten et d'une bonne qualité de semoule. A la station de Khroub, ce génotype est passé d'un gluten très fort à celui de fort au même titre que les deux génotypes (MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA) du site de Khroub et (LABDY-37 / BUSCA-3 du site de Tiaret. Toutefois, le génotype le moins intéressant du point de vue qualité a été le TR32225 / GEDIZ // RADIOSSO / OFANTO et ce, quelque soit l'environnement.

Tableau 6.14 : Classement des génotypes en fonction de l'indice de sédimentation SDS selon l'échelle de WILLIAMS *et al.* [171]

30-39 Faible	40-49 Proche de faible	50-59 Force moyenne	60-69 Fort	70-79 Très fort	> 80 Exceptionnellement fort
V1-E1	V2-E1	V3-E1	V2-E3	V10-E1	-
V1-E2	V2-E2	V4-E4	V10-E3		
V1-E3	V2-E4	V7-E1	V11-E1		
V1-E4	V3-E3	V7-E4			
V3-E2	V3-E4	V8-E1			
	V4-E1	V8-E3			
	V4-E3	V8-E4			
	V5-E1	V9-E1			
	V7-E2	V9-E4			
	V7-E3	V10-E2			
	V9-E3	V11-E3			
	V11-E2	V11-E4			
	V12-E1				

6.10 Coloration des semoules

Les résultats relatifs aux indices colorimétriques (Appendice B, tableaux 12 et 13) sont représentés par les figures 6.25, 6.26.

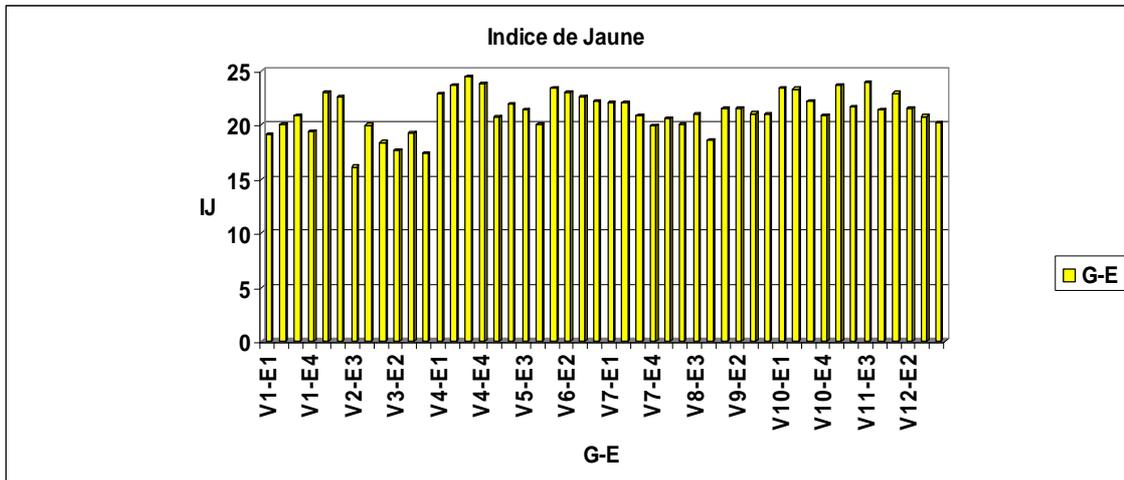


Figure 6.25: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur l'indice de jaune

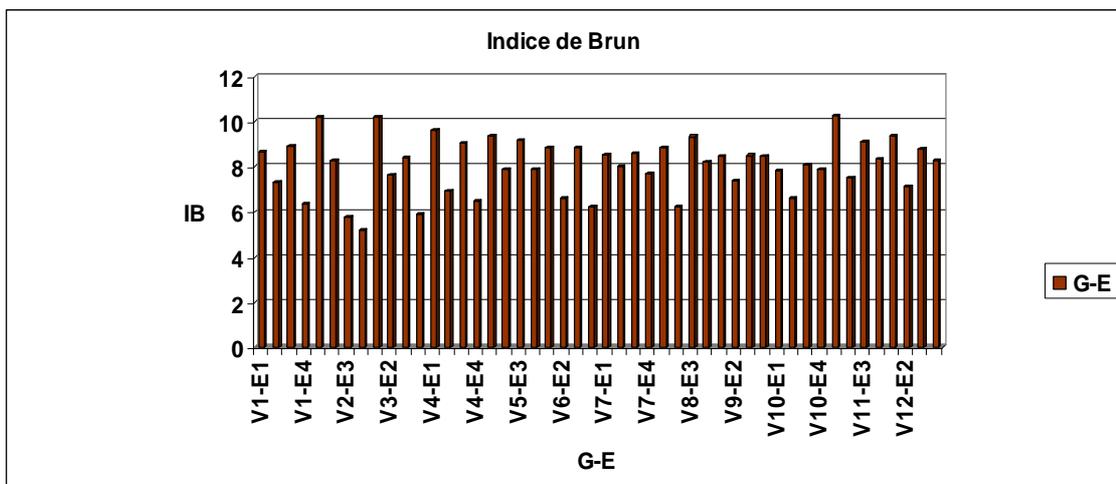


Figure 6.26: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur l'indice de brun

L'évaluation de la couleur est un facteur déterminant de la qualité organoleptique des semoules, c'est pourquoi elle est d'une importance primordiale en industrie alimentaire. La composante jaune est recherchée, alors que la composante brune est indésirable. De ce fait, les variétés les plus jaunes sont les mieux valorisées par le consommateur.

L'analyse de la variance des indices de coloration des semoules (indice de brun et indice de jaune), montre un effet très hautement significatif pour l'interaction génotype x environnement (prob = 0.0000). En conséquence, l'influence des deux facteurs génotype et environnement en interaction sur la coloration des semoules est évidente. En outre, plusieurs groupes homogènes sont déterminés grâce au test de NEWMAN et KEULS.

Il ressort de cette analyse, que valeurs de l'indice de jaune (IJ), oscillent entre 24.42 et 16.11. La meilleure quantité de pigments jaunes a été réalisée dans l'environnement de Khroub, avec le génotype OFANTO / WAHA / WAHA, qui se démarque des autres avec le groupe A, cependant, la plus mauvaise quantité a été obtenu dans le même environnement avec le génotype MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA. On constate que certains génotypes gardent des valeurs stables en changeant de milieu, alors que d'autres fluctuent d'un environnement à l'autre. La moyenne générale est de 21.24 (Appendice B, tableau 12), l'écart-type de 0.37 et le coefficient de variance de 1.8% (Appendice C, tableau 12). Ces résultats rejoignent ceux de TRENTESAUX [28], qui confirme que la quantité de « pigments jaunes » est une caractéristique variétale et que la couleur jaune claire d'une semoule, indépendamment de son taux d'extraction à partir d'un blé, est pour une bonne part une composante influencée par le milieu de culture.

La couleur jaune est une fonction de la teneur en pigments caroténoïdes et de l'activité de la lipoxigénase de l'albumen [172]; [173] ; 1953 ; [174]. L'origine de la couleur jaune des semoules du blé dur provient donc, des carotènes, des Xanthophylles et spécialement des lutéines incluent dans les caroténoïdes [175] ; [35]. La lipoxigénase est une caractéristique héréditaire qui varie considérablement chez les blés durs [176].

En se référant à l'échelle de classement donnée par HOULIAROPOULOS *et al.* [177] et présentée dans le tableau 6.15, on remarque que les valeurs de l'indice de jaune des semoules extraites sont toutes faibles. Les semoules des variétés traditionnellement cultivées en Algérie, sont généralement dotées de plus de pigments jaunes, prisés par les consommateurs.

Tableau 6.15 : Echelle de classement des indices colorimétriques selon
HOULIAROPOULOS *et al.* [177]

Indice de jaune (b)	élevé > 35	moyen 28 - 35	faible < 28
Indice de brun (100-L)	élevé > 21	moyen 18 - 21	faible < 18

Sur le plan technologique, la faible teneur en pigments caroténoïdes est associée à leur destruction au cours du stockage des grains. Cette destruction s'accélère après la transformation du blé en semoule. La teneur élevée en pigments caroténoïdes, associée à de faibles activités lipoxygénasiques est recherchée dans les blés pour fabriquer des pâtes claires possédant une belle couleur ambrée [178]; [179].

D'autre part, les faibles indices de jaunes obtenus pourraient être liés au taux d'extraction des semoules, ou encore au taux de protéines contenues dans ces dernières. En effet, d'après les recherches de TRENTESAUX [28], plus le taux d'extraction d'une semoule est important, plus la quantité des « pigments jaunes » extractibles est élevée et moins bonne sera la clarté de la pâte qui en est issue. Aussi, plus un blé (ou une semoule ou pâte) contient des protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de « pigments jaunes » est élevée. Selon le même auteur, l'aspect d'une semoule est fonction de sa granulométrie. Une semoule grosse paraîtra jaune ; la même broyée finement paraîtra moins jaune et plus claire alors que, bien sûr la quantité de « pigments jaunes » reste invariable.

Les valeurs de l'indice de brun (IB), sont comprises entre 10.21 et 05.21. Ces chiffres ont été respectivement obtenus chez le génotype LABDY-37 / BUSCA-3 dans l'environnement de Tiaret et le génotype MBB/ OFANTO // RADIOSSO / WAHA dans l'environnement de Sétif. La moyenne générale étant de 08.06, l'écart-type de 0.22 et le coefficient de variance de 2.7 %(Appendice C, tableau13).

D'après l'échelle de classement de HOULIAROPOULOS *et al.* [177], les semoules extraites ont de faibles indices de brun. Selon FEILLET [180], la valeur optimale pour cet indice de couleur, ne doit pas dépasser les 12 %. Les valeurs obtenues sont

toutes inférieures à ce seuil limite. Ces résultats sont satisfaisants par rapport à ceux obtenus avec les variétés de blé dur traditionnellement cultivées en Algérie, lesquelles ont tendance à un brunissement relevant d'un indice de brun généralement très élevé dépassant parfois les 20 % [164].

En outre, on voit (Appendice B, tableau 6.13), que certains génotypes tels que (MBB/ OFANTO // RADIOSSO / WAHA et BOUSSELAM / OFANTO) ont obtenu les valeurs les plus intéressantes dans les environnements de Tiaret et de Sétif, à l'inverse des résultats observés aux autres stations expérimentales. Cette différence de comportement traduit que cette composante serait sous la dépendance du génotype et du milieu. Ces résultats sont en accord avec ceux de HOULIAROPOULOS *et al.* [177], qui ont montré que l'indice de jaune est un facteur variétal et que l'indice de brun est beaucoup plus influencé par des facteurs agro-climatiques et par le taux d'extraction.

Les conditions de développement des blés durs sont un facteur très important de l'expression de ce caractère [174]. Les travaux MATSUO et IRVINE [181], ont montré que le brunissement des pâtes était une caractéristique variétale des blés durs et que les variétés de type méditerranéen (Montferrier et Bidi 17 par exemple) possédaient des indices de brun très supérieurs à ceux de variétés d'origine nord-américaine telles que Lakota et Wells [182].

L'origine du brunissement est complexe et ses lipoxygénases, ses fondements physico-chimiques et technologiques font toujours l'objet de controverses [183].

Selon MATSUO et IRVINE [181], le brunissement serait dû à la présence dans l'albumen d'une protéine cuivrique. Toutefois, selon LAIGNELET *et al.* [184], la couleur brune, est attribuée à la peroxydase et à la polyphénoloxydase contenues dans le grain. Mais, selon KOBREHEL *et al.* [185], la principale source de variation de l'indice de brun des variétés de blé dur est l'activité peroxydasique des semoules. Cette dernière, étant principalement contrôlée par l'origine génétique des blés [174].

D'autre part, le degré de purification des semoules, exerce un effet prononcé sur la formation des pigments bruns d'origine enzymatique. En effet, l'activité polyphénoloxydasique des semoules qui est voisine de zéro dans l'albumen du grain mûr [186], le devient également, dans les semoules lorsque celles-ci sont correctement purifiées [174].

Lors de la mouture du blé tendre, l'activité PPO croît avec le niveau de contamination par les enveloppes du grain [187] et on peut penser qu'il en est de même chez les blés durs.

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 [188] ; [177]. Plus la semoule est contaminée par les parties périphériques du grain, plus les pâtes correspondantes sont brunes et ternes [183]. D'ailleurs, l'intensité du brunissement des nouilles chinoises est attribuée au niveau de l'activité PPO des farines utilisées [189]; [190].

Le blé dur possède une activité de polyphénoloxydasique plus faible que chez les autres types de blés [191], la sélection pour une faible activité peroxydasique est par conséquent, recommandée principalement pour réduire la couleur brune.

Par ailleurs, des travaux ont démontré que le brunissement est d'autant plus important que la teneur en protéines du grain est élevée [192] ; [182] ; [193] ; [191]; [194], mais les fondements physico-chimiques de cette relation ne sont pas connus.

6.11 Teneur en gluten sec, en gluten humide et en gluten index

Les résultats en rapport avec les teneurs en gluten (Appendice B, tableaux 14, 15,16 et 17) sont illustrés par les figures 6.27 (gluten sec), 6.28 (gluten humide), 6.29 (capacité d'hydratation) et 6.30 (gluten index).

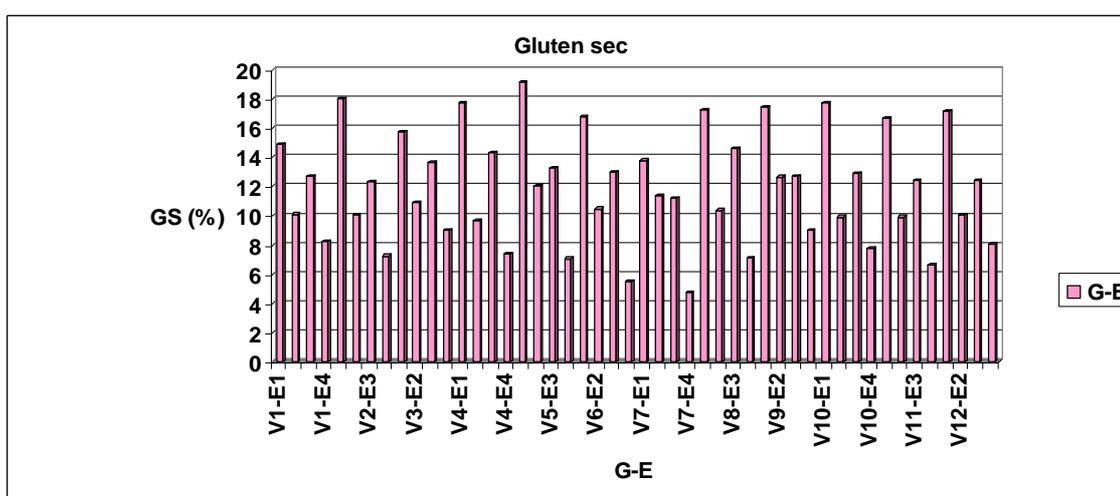


Figure 6.27 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en gluten sec

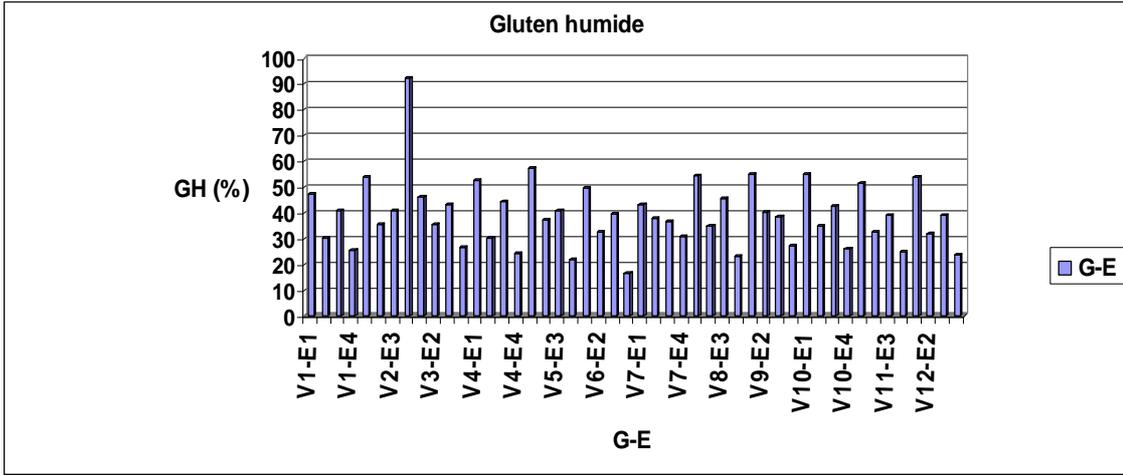


Figure 6.28 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en gluten humide

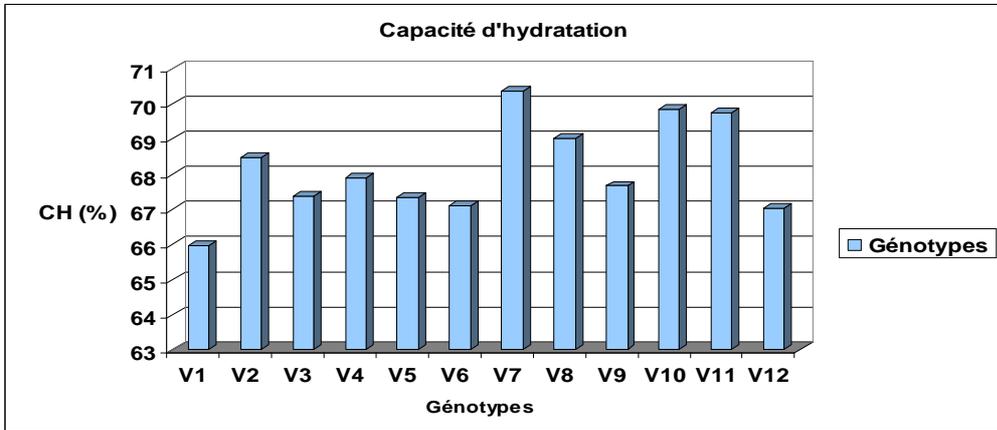


Figure 6.29 : Effets du Génotype sur la capacité d'hydratation

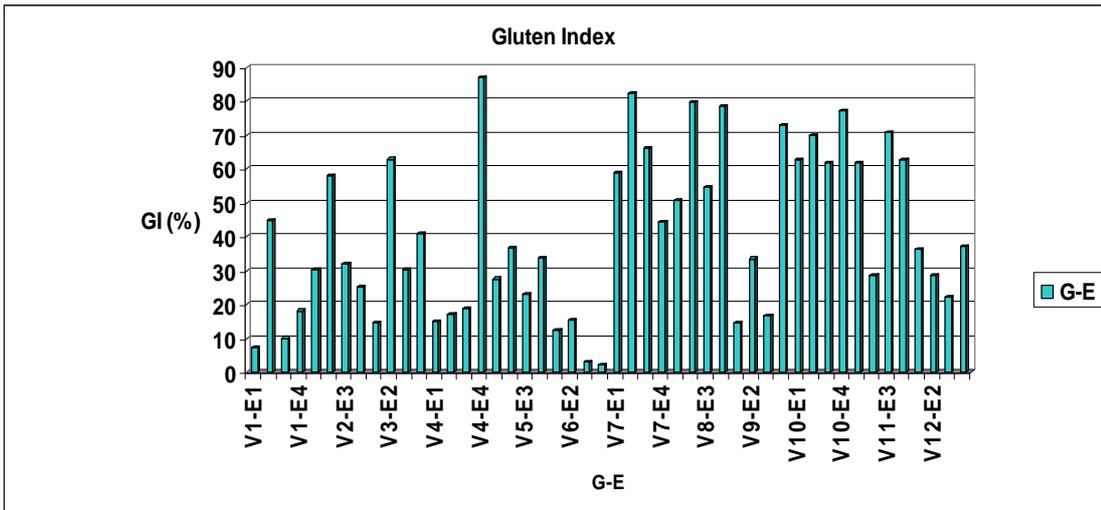


Figure 6.30 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en gluten index

L'étude de l'analyse de la variance du facteur génotype sur le gluten sec, le gluten humide et le gluten index, nous révèle une différence très hautement significative entre les génotypes étudiés, ce qui met en évidence l'effet du génotype sur ce caractère. D'autre part, les résultats de l'analyse de la variance qui correspondent au facteur environnement, indiquent également une différence très hautement significative, confirmant ainsi l'influence du milieu sur la teneur en gluten sec, en gluten humide et en gluten index.

L'analyse de la variance l'interaction génotype x environnement, reflète en conséquence une différence très hautement significative (prob = 0.0000), pour la teneur en gluten sec, humide et index. Ces résultats sont révélateurs de l'effet certain des deux facteurs « génotype » et « environnement » sur le gluten des semoules.

Grâce au test de NEWMAN et KEULS, les groupes homogènes sont classés de façon à indiquer les meilleures teneurs en gluten.

L'examen des valeurs minimales et maximales du gluten sec, montre un grand écart entre certains génotypes. La valeur minimale en gluten sec (04.73 %) a été enregistrée à la station expérimentale de Sétif avec le génotype (SHAKE-3 / GREEN -18), par contre la valeur maximale (19.12 %) a été enregistrée à la station de Tiaret avec la variété témoin (BOUSSELAM). La teneur moyenne en gluten sec est de 11.93 % (Appendice B, tableau 14), avec un écart-type de 0,25 et un coefficient de variance de 2,1% (Appendice C, tableau 14).

De plus, on peut constater des variations de ce caractère au sein d'un même génotype en passant d'un environnement à l'autre. Ainsi, on voit que les teneurs les plus élevées en gluten sec, ont été relevées dans l'environnement de Tiaret et les moins satisfaisantes dans celui de Sétif. Ces résultats montrent que le gluten sec varie en fonction du lieu de culture et sont en accord avec ceux de BOGGINI et POGNA [195], qui affirment que la teneur en gluten représente un facteur phénotypique influencé par l'environnement, la fertilisation et les façons culturales.

En se basant sur l'échelle de classement proposée par MATVEEF [196], et présentée dans le tableau 6.16, nous constatons qu'au site de Tiaret, mis à part les deux génotypes (TR32225 / GEDIZ // OFANTO et SHAKE-3 / GREEN -18), tous les

autres présentent de très bonnes teneurs en gluten sec qui sont supérieures à 15 %. On peut donc déduire, qu'on a affaire à des blés de force et que les semoules obtenues sont aptes à la fabrication du couscous et des pâtes alimentaires.

Nous remarquons aussi qu'au site de khroub, le gluten de tous les génotypes étudiés est de force moyenne, ce qui signifie que les blés sont de bonne valeur pastifiante. Cependant, au site de Oued-Smar, hormis les trois génotypes BOUSSELAM, SHAKE-3 / GREEN -18 et GTA X DUR, qui ont un gluten de force moyenne, tous les autres présentent de faibles valeurs en gluten sec comme ceux du site de Sétif, où tous les blés sont insuffisants.

Tableau 6.16 : Classement des génotypes en fonction des teneurs en gluten selon l'échelle de MATVEEF [196]

Gluten <11% Blés insuffisants	11% < Gluten < 15% Blés de bonne valeur pastière	Gluten > 15% Blés de force
Tous les génotypes du site de Sétif et neuf du site de Oued-Smar.	Les 12 génotypes du site de Khroub et les trois génotypes du site de Oued-Smar : -BOUSSELAM (témoin) - SHAKE-3 / GREEN -18 - GTA X DUR (témoin)	Tous les génotypes du site expérimental de Tiaret sauf : TR32225/GEDIZ//OFANTO et - SHAKE-3 / GREEN -18

Selon cette échelle, la plupart des semoules présentent des glutens satisfaisants excepté celles de l'environnement de Sétif.

En ce qui concerne les valeurs du gluten humide, elles varient entre 16.61 % et 92.14%, avec une moyenne générale de 39.38 %. L'écart-type est de 0.21 et le coefficient de variation de 0.5% (Appendice C, tableau15).

D'après les résultats (Appendice B, tableau 15) la plus grande valeur en gluten humide a été obtenue avec le génotype MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA, dans l'environnement de Sétif, par contre, la plus faible a été donnée avec la variété WAHA dans le même environnement. D'autre part, il ressort de cette étude, que les

semoules à fort gluten ou les blés de force, ont des valeurs en gluten humide supérieures à 49 %. Elles vont de 49.91% à 57.60%. Les blés à bonne valeur pastière, ont un gluten humide supérieur à 36 %, allant de 36.54% à 47.45 %. Pour les blés insuffisants, les valeurs du gluten humide sont trop faibles ou trop élevées comme le cas du témoin WAHA avec un taux de 16.61 % et celui du génotype OFANTO / WAHA / WAHA avec 92.14 %, tous les deux à la station de Sétif. Il y aurait donc, une corrélation entre le gluten sec et le gluten humide des semoules. En effet, on remarque que ces valeurs extrêmes correspondent à de faibles teneurs en gluten sec. Il en résulte une semoule de mauvaise qualité.

Les résultats de l'analyse de la variance concernant l'interaction « génotype x environnement » montrent une différence très hautement significative pour le gluten Index. Ceci met en évidence l'impact de l'interaction « génotype x environnement » sur cet indice de qualité.

Le test de NEWMAN et KEULS, indique la présence de plusieurs groupes homogènes et nous révèle de bons indices de qualité chez certains génotypes.

Les histogrammes nous permettent de voir que les valeurs du gluten index sont très instables d'un génotype à l'autre et d'un environnement à l'autre. Ces dernières sont comprises entre 02.10 % (chez le témoin WAHA) et 87.03 % (chez OFANTO / WAHA / WAHA), dans le même environnement de Sétif. La moyenne générale obtenue est de 40.41%(Appendice B, tableau 17), avec un écart-type de 2.51 et un coefficient de variance de 6.2 % (Appendice C, tableau17). D'après ces résultats, le gluten index traduirait plus une caractéristique intrinsèque influencée par le milieu de culture.

Le gluten Index est un paramètre lié à la force du gluten. En principe, plus le gluten est tenace et élastique, plus le gluten Index est élevé. Il pourrait donc fournir une bonne indication de la valeur d'utilisation d'un génotype.

Selon CUBADDA *et al.* [197], un gluten de force doit avoir un gluten index compris 66% et 85 %. Dans notre cas nous constatons que seulement trois génotypes ont des indices de qualité répondant à cette norme, en l'occurrence SHAKE-3 / GREEN-18 (aux sites de Tiaret, Oued-Smar et Khroub) ; TOTUS / CARGO // ALTAR 84 / AOS (au site de Oued-Smar) et LABDY-37 / BUSCA-3 (au site de Khroub).

Les résultats de l'analyse de la variance en rapport avec la capacité d'hydratation s'avèrent significatifs uniquement pour le facteur génotype. Ceci traduit l'influence du génotype sur ce caractère.

L'analyse de la variance selon le test de NEWMAN et KEULS, détecte deux groupes homogènes (A et B).

Les valeurs de la capacité de rétention de l'eau par le gluten sont comprises entre 65.98 % et 70.36 %. La plus grande capacité d'hydratation est attribuée au génotype (SHAKE-3 / GREEN-18), par contre, la plus faible au génotype (TR32225 / GEDIZ // OFANTO).

A travers ces résultats, on constate que la fixation de l'eau par le gluten des semoules se fait en fonction du génotype et il semblerait que les blés de force ont une meilleure capacité d'hydratation que les blés insuffisants. FEILLET [9], mentionne que le gluten d'une semoule de mauvaise qualité s'hydrate plus facilement et se révèle plus visqueux et moins élastique que celui extrait d'une semoule de bonne qualité.

Le gluten est un complexe viscoélastique hétérogène, principalement composé de protéines de réserve (75 % à 85 % ms), il contient de l'amidon (8 % à 10 % ms), des sucres réducteurs (1 à 2 % ms), des lipides (5 % à 10 % ms), des pentosanes (2% ms) et des matières minérales (1 % ms) [9]. Ces divers constituants se lient entre eux pour former un réseau glutineux très serré, tenace et possédant une grande élasticité.

La majeure partie des propriétés technologiques de la pâte est associée au gluten formé principalement de gliadines et gluténines, qui sont essentiellement localisés dans l'albumen amylicé [91]. En effet, de part leurs propriétés plastifiantes, les gliadines contribuent à la viscosité et à l'extensibilité du gluten. Quant aux gluténines, elles sont responsables de l'élasticité et de ténacité de la pâte à cause de leurs propriétés agrégatives [198] ; [9]. La teneur en ces protéines du gluten influence considérablement l'hydratation de la pâte et ses propriétés rhéologiques [91]. Les pentosanes représentent une caractéristique variétale qui joue également un rôle essentiel dans la structure du gluten. Elles sont connues pour leur aptitude à piéger l'eau en quantité relativement importante, modifiant ainsi la viscosité de la pâte faite à un taux d'hydratation donnée [9]. Toutes ces propriétés rhéologiques sont

conditionnées de façon importante par la teneur en eau, la durée du temps de repos et la température [20].

6.12 Teneur en Protéines des grains et des semoule

Les résultats relatifs aux teneurs en protéines des grains et des semoules (Appendice B, tableaux 18 et 19) sont illustrés par les figures 6.31, 6.32.

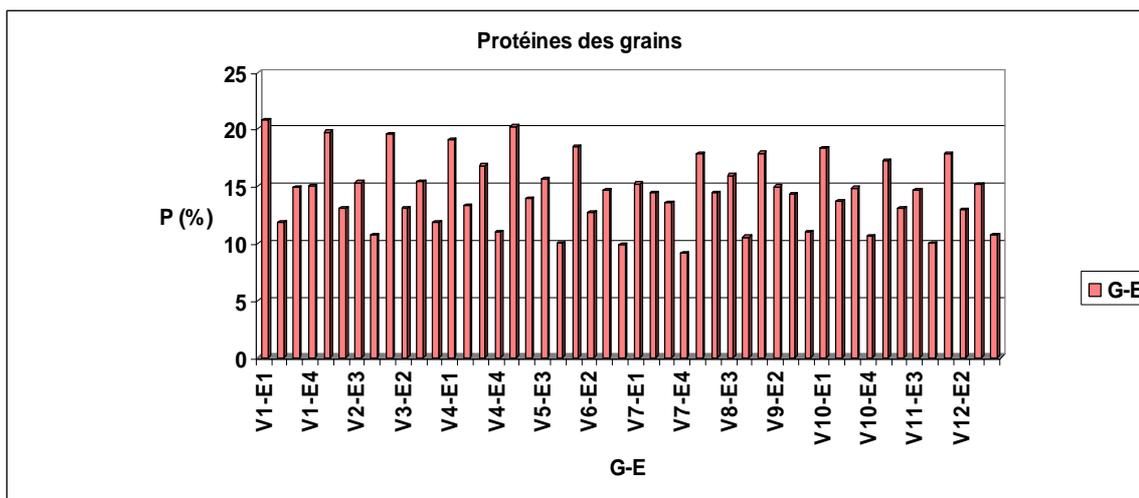


Figure 6.31: Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en protéines des grains

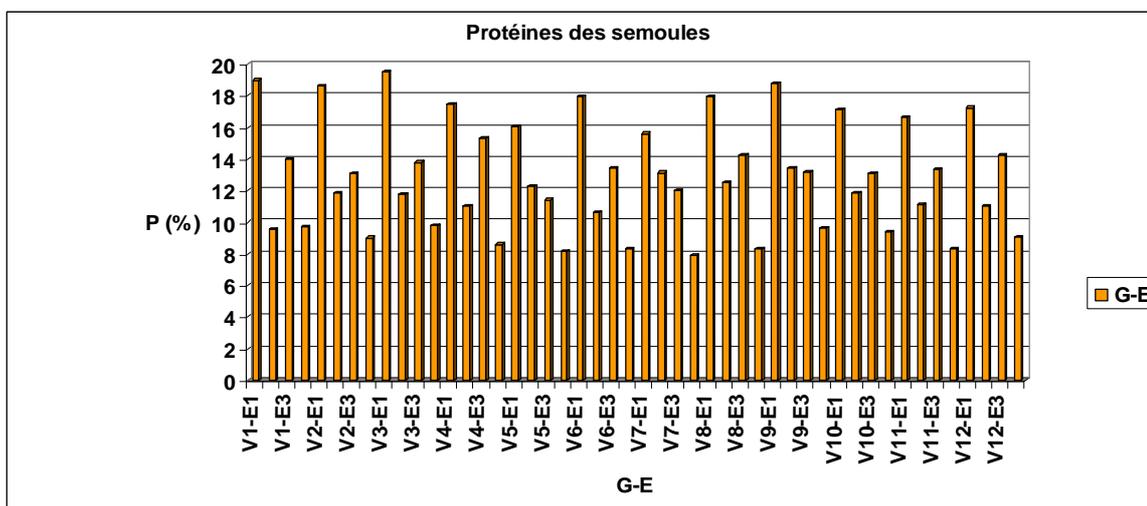


Figure 6.32 : Effets de l'interaction Génotype x Environnement sur la teneur en protéines des semoules

La teneur en protéines des grains est un critère important de la qualité. Il est retenu pour l'inscription des blés au catalogue et utilisé dans les transactions

commerciales. La valeur d'utilisation d'un blé dans les industries de panification croît avec la teneur en protéines [91].

L'analyse de la variance se rapportant à la teneur en protéines des grains et des semoules se révèle très hautement significative pour les deux facteurs « génotype » et « environnement » pris séparément. Ces résultats prouvent l'influence du génotype et du lieu de culture sur ces teneurs en protéines.

L'analyse de la variance de l'interaction « génotype x environnement », se montre également très hautement significative (prob = 0.0000), affirmant ainsi, l'impact simultané deux facteurs « génotype » et « environnement » sur ce caractère. L'analyse de la variance selon le test de NEWMAN et KEULS, dévoile les meilleures teneurs en protéines des grains et des semoules grâce au classement des groupes homogènes.

Les valeurs des protéines des grains oscillent entre 09.10 % (SHAKE-3 / GREEN-18) et 20.76 % (TR32225 /GEDIZ // OFANTO) et la moyenne générale est de 14.39 %. L'écart-type est de 0.36 et le coefficient de variation de 2.5 % (Appendice C, tableau18).

On remarque que les meilleures teneurs en protéines des grains sont enregistrées au site de Tiaret, cependant les plus faibles sont obtenues à celui de Sétif. L'échelle proposée par WILLIAMS *et al.* [171], nous a permis de classer les grains de blé en fonction de leurs teneurs en protéines et de confirmer ces résultats (Tableau 6.17).

Pour ce qui est des teneurs en protéines des semoules, elles varient entre 07.90 % (SHAKE-3 / GREEN-18), et 19.50 % (BOUSSELAM / OFANTO). Comme pour les grains, les teneurs en protéines des semoules les plus faibles sont celles de l'environnement de Sétif et les plus satisfaisantes, celles de Tiaret. La moyenne générale étant de 12.90 %, l'écart-type de 0.58 et le coefficient de variance de 4.5 %. On s'aperçoit aussi, que les teneurs en protéines des semoules sont légèrement plus faibles que celles des grains. D'après NACHIT *et al.* [35], la teneur en protéines des semoules est généralement plus faible que celle des grains d'au moins de un pour cent. Ceci s'explique par le fait que les différentes protéines ne sont pas uniformément réparties dans le grain de blé et leur localisation dépend de leur nature et de leur fonction [20]. Ainsi, on retrouve dans ces semoules uniquement les

protéines de réserve accumulées dans l'albumen amylicé, qui en est relativement riche par rapport à l'ensemble du grain. En outre, on note d'une part, que la variation des teneurs en protéines des semoules suit étroitement celle des grains et d'autre part, que cette variation est bien marquée dans les grains comme dans les semoules des différents génotypes étudiés. L'ampleur de cette variation en protéines, implique que les performances des génotypes diffèrent d'un environnement à l'autre. Nous pouvons déduire qu'il y a un double effet génotypique et environnemental sur la teneur en protéines des grains et des semoules. Ces résultats corroborent ce qui est rapporté par de nombreux auteurs dont NACHIT *et al.* [35], qui affirment que la teneur en protéines du blé dur est contrôlée par la fertilisation, l'environnement et l'hérédité. Selon eux, il s'agit d'un caractère héréditaire qui varie avec l'environnement. De même, d'après CHEFTEL *et al.* [198], la teneur en protéines est un caractère génétiquement transmissible, mais les variations liées à l'hérédité sont de l'ordre de 5 %. Les conditions de culture, en particulier la fertilité du sol, influencent fortement la teneur en protéines des grains ainsi que le rendement en grains. GODON et LOISEL [91], rejoignent ces auteurs en mentionnant que la teneur en protéines du grain varie fortement en fonction des conditions agro-climatiques (précédent cultural, fumure azotée, échaudage) et dans une moindre importance, selon les variétés.

Au cours du développement de la plante, l'accroissement de la teneur en protéines de l'albumen résulte à la fois d'une meilleure assimilation de l'azote par la plante et d'un transfert plus efficace de l'azote des parties végétatives de la plante vers le grain [9]. Selon SGRULETTA *et al.* [199], la fertilisation tardive favorise l'accumulation des protéines et améliore la qualité des grains. Par ailleurs, BOGGINI et POGNA [195], affirment que la teneur en protéines des grains est hautement dépendante du milieu, du climat durant les phases critiques de développement du végétal, de la fertilisation, des pratiques culturales, des maladies et autres facteurs. Le stress hydrique serait l'un des facteurs qui engendrerait une augmentation de l'accumulation des protéines. Certes, il a été démontré que l'accumulation de proline constitue un véritable mécanisme de tolérance à la sécheresse [127]. En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et en particulier chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse [126]. Ces derniers accumulent plus de

proline au niveau de leurs organes et en particulier au niveau de la barbe et de la feuille drapeau. En conséquence, ils présentent une capacité de remplissage plus importante et donnent des rendements plus élevés que les génotypes les moins résistants. De même, BAIK *et al.* [200], mentionnent que les blés cultivés en faible pluviosité sont plus riches en protéines.

D'après DEBBOUZ *et al.* [201], la sécheresse peut être responsable d'une teneur élevée en protéines et peut même affecter les propriétés des produits de mouture avec un taux d'extraction faible et un taux de cendres élevé. Les faits similaires sont observés avec les résultats obtenus. En effet, on constate que les fortes teneurs en protéines enregistrées au niveau du site de Tiaret sont accompagnées par de faibles taux d'extraction de semoules et par des taux élevés en cendres. Les faits inverses sont cependant observés pour les faibles teneurs en protéines du site de Sétif.

Une corrélation négative entre le rendement en grains et la teneur en protéines des grains a été observée. Selon CHEFTEL *et al.* [198], cette corrélation serait vraisemblablement due au fait que le besoin énergétique pour la synthèse protéique est nettement supérieur à celui de la synthèse des glucides.

Sur le plan économique, le maintien d'un rendement élevé en grains est plus important que l'obtention d'un rendement accrue en protéines dans les pays sous développés. D'ailleurs, une étude effectuée sur un grand nombre de variétés de blé, a montré que lorsque la teneur en protéines du grain augmente, la qualité nutritionnelle des protéines de blé tend à s'abaisser pour la simple raison que la proportion en protéines de réserve (surtout les gliadines très pauvres en lysine) augmente par rapport aux autres protéines métaboliques ou structurales du grain [200].

Tableau 6.17 : Classement des génotypes en fonction des teneurs en protéines
selon l'échelle de WILLIAMS *et al.* [171]

Faible <11.6 % MS	Moyen 11.6% -13.50% MS	Elevé 13.6 % -15.5% MS	Très élevé 15.6% -17.5% MS	Extra élevé > 17 % MS
Tous les génotypes du site de Sétif, excepté V3-E4	Sept génotypes du site de Oued-Smar V1-E2 V2-E2 V3-E2 V4-E2 V6-E2 V11-E2 V12-E2 Un génotype du site de Sétif V3-E4	Un génotype de Tiaret : V7-E1 Cinq de Oued-Smar : V5-E2 V7-E2 V8-E2 V9-E2 V10-E2 Neuf génotypes de Khroub : V1-E3 V2- E3 V3- E3 V6- E3 V7- E3 V9- E3 V10- E3 V11- E3 V12- E3	Deux génotypes du site de Khroub : V4-E3 V5-E3	Tous les génotypes du site de Tiaret, sauf V7-E1

6.13 Synthèse des résultats

Afin de pouvoir faire un choix judicieux et de recommander les variétés appropriées à chaque région, il a fallu en plus des résultats de l'analyse de la variance et de la PPAS, utiliser un indice synthétique qui a permis de tenir compte de l'ensemble des paramètres agronomiques et technologiques pour la sélection (Tableau 6.18).

L'indice synthétique est une méthode basée sur une note (référence) attribuée à chaque paramètre, en fonction de son degré d'importance. Les meilleures variétés seront celles qui se rapprocheront du total (Appendice D).

Cette étude nous a permis de sélectionner pour chaque région les variétés suivantes:

Tiaret

- 1- V10: PLATA-1 / SNM // PLATA-9
- 2- V8: TOTUS / CARGO // ALTAR84 / AOS
- 3- V9: GTA X DUR TEMOIN
- 4- V11: LABDY-37 / BUSCA-3

Oued-Smar

- 1- V5 : BOUSSALEM TEMOIN
- 2 - V9 : GTA X DUR TEMOIN
- 3 - V7 : SHAKE-3 / GREEN-18
- 4- V2: MBB/ OFANTO // RADIOSSO / WA et
V10: PLATA-1 / SNM // PLATA-9

Khroub

- 1- V10: PLATA-1 / SNM // PLATA-9 et
V8: TOTUS / CARGO // ALTAR84 / AOS
- 2- V4: OFANTO / WAH / WAHA
- 3- V1 :TR 32225 / GEDIZ// OFANTO
- 4- V11: LABDY-37 / BUSCA-3

Sétif

- 1- V8 : TOTUS / CARGO // ALTAR84 / AOS
- 2- V9 : GTA X DUR TEMOIN
- 3- V2 : MBB/ OFANTO // RADIOSSO / WAHA
- 4- V4 : OFANTO / WAHA / WAHA et V12 : CIRTA TEMOIN

Tableau 6.18 : Résultats des paramètres agronomiques et technologiques des variétés de blé dur expérimentées

1-Tiaret	Référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paramètres agronomiques (1)													
Hauteur plants floraison	50	40	40	40	40	40	40	40	40	50	40	40	40
Rendement	100	10	10	10	10	40	40	80	80	80	40	80	40
Poids de 1000 grains	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taux moucheture	80	80	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80
Taux Mitadinage	60	50	50	60	50	50	50	20	50	50	50	20	20
Paramètres technologiques													
Humidité grains	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Humidité semoule	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Taux extraction semoule	100	20	80	10	20	80	20	80	80	80	80	80	80
Taux de cendres grains	50	20	30	0	0	0	20	0	20	20	20	20	20
Taux de cendres semoule	50	30	0	0	30	0	0	0	30	30	30	30	30
Test sédimentation SDS	80	10	30	50	30	30	30	50	50	50	80	80	30
Indice de jaune	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Indice de brun	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Taux de gluten sec	80	40	80	80	80	80	80	40	80	80	80	80	80
Taux gluten humide	80	80	40	80	40	40	80	80	40	40	40	40	40
Capacité d'hydratation	80	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Gluten Index	80	10	30	10	10	10	10	60	60	10	60	60	30
Taux protéine grains	100	100	100	100	100	100	100	80	80	80	100	40	80
Taux protéine semoule	100	100	100	100	80	80	80	80	80	100	80	80	80
Total	1430	810	890	800	750	850	850	910	990	970	1000	950	870

2-0ued/Smar	Référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paramètres agronomiques (1)													
Hauteur plants floraison	50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	40
Rendement	100	40	80	80	10	80	80	40	40	80	80	40	40
Poids de 1000 grains	80	40	10	40	40	10	10	40	40	10	40	40	40
Taux moucheture	80	30	0	30	80	30	0	0	30	30	30	0	30
Taux Mitadinage	60	20	20	20	0	50	20	20	50	50	20	20	20
Paramètres technologiques													
Humidité grains	50	20	50	20	20	50	20	20	20	50	20	20	20
Humidité semoule	50	50	50	50	50	50	50	20	50	20	50	50	50
Taux extraction semoule	100	80	100	80	80	80	80	80	80	80	100	80	80
Taux de cendres grains	50	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Taux de cendres semoule	50	30	30	0	30	30	0	30	0	30	30	0	30
Test sédimentation SDS	80	10	30	10	10	10	10	30	10	10	50	30	10
Indice de jaune	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Indice de brun	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Taux de gluten sec	80	10	10	10	10	40	10	40	10	40	10	10	10
Taux de gluten humide	80	10	10	10	10	80	10	80	10	40	10	10	10
Capacité d'hydratation	80	80	80	80	80	80	80	80	10	80	10	80	80
Gluten Index	80	60	60	60	10	30	10	80	80	30	80	10	10
Taux protéine grains	100	40	40	40	40	40	40	80	80	80	40	40	40
Taux protéine semoule	100	10	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total	1430	660	740	700	640	830	590	810	680	820	740	610	640

3-Khroub	Référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paramètres agronomiques (1)													
Hauteur plants floraison	50	50	40	50	40	50	50	50	50	50	50	40	50
Rendement	100	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Poids de 1000 grains	80	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	10	40
Taux moucheture	80	80	30	40	80	40	40	30	40	30	30	40	30
Taux Mitadinage	60	50	0	50	50	20	60	50	50	20	20	50	50
Paramètres technologiques													
Humidité grains	50	50	50	50	50	50	50	50	20	50	50	50	50
Humidité semoule	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Taux extraction semoule	100	80	80	80	80	80	80	80	80	80	100	80	100
Taux de cendres grains	50	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taux de cendres semoule	50	30	30	30	30	30	30	50	30	30	30	30	30
Test sédimentation SDS	80	10	80	30	30	10	10	30	50	50	80	50	10
Indice de jaune	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Indice de brun	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Taux de gluten sec	80	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Taux de gluten humide	80	80	80	80	80	80	80	10	80	80	80	80	80
Capacité d'hydratation	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	40
Gluten Index	80	10	30	30	10	10	10	80	60	10	60	80	10
Taux protéine grains	100	80	80	80	80	80	80	40	80	80	80	80	0
Taux protéine semoule	100	80	40	40	80	40	40	40	80	40	40	40	80
Total	1430	910	870	870	920	800	840	820	930	830	930	900	760

4-Sétif	Référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paramètres agronomiques (1)													
Hauteur plants floraison	50	40	40	50	50	40	50	40	50	50	40	50	50
Rendement	100	80	80	80	100	100	80	100	100	80	80	100	80
Poids de 1000 grains	80	80	80	40	40	40	40	40	40	40	40	40	80
Taux moucheture	80	80	80	40	80	80	80	40	80	80	40	80	40
Taux Mitadinage	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paramètres technologiques													
Humidité grains	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Humidité semoule	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Taux extraction semoule	100	100	100	100	80	80	80	100	100	100	100	100	100
Taux de cendres grains	50	20	0	0	0	20	0	20	20	20	20	20	20
Taux de cendres semoule	50	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Test sédimentation SDS	80	10	30	30	50	10	10	50	50	50	50	50	10
Indice de jaune	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Indice de brun	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Taux de gluten sec	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taux de gluten humide	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Capacité d'hydratation	80	40	80	80	80	80	80	10	80	80	10	10	80
Gluten Index	80	10	10	60	10	30	10	60	80	80	80	60	30
Taux protéine grains	100	40	40	40	40	40	10	10	40	40	40	10	40
Taux protéine semoule	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Total	1430	720	760	740	750	740	660	690	860	840	720	740	750

(1) On notera que le "poids de 1000 grains, le taux de moucheture et le taux de mitadinage sont à la fois des paramètres agronomiques et technologiques.

CONCLUSION

Le choix raisonné des stations et l'élaboration d'un protocole expérimental adéquat ont conduit à l'obtention de résultats très satisfaisants. Les principaux objectifs de notre étude notamment l'étude de l'interaction Génotype x Environnement, l'amélioration de la qualité et du rendement de douze variétés de blé dur en fonction de la zone ont été atteints.

L'emplacement stratégique des quatre essais dans les différentes zones à étages bioclimatiques variées a permis de faire une analyse approfondie de l'interaction Génotype x Environnement et d'aboutir aux résultats escomptés c'est-à-dire sélectionner les meilleures variétés et déterminer le zonage optimal propre à chacune d'elles. Les méthodes d'analyses statistiques adoptées ont donné des résultats hautement significatifs tant sur les paramètres agronomiques que technologiques observés.

Le facteur environnement a un effet hautement significatif sur la hauteur des plants à la floraison. La meilleure hauteur enregistrée est de 106.38 cm à la station de Oued-Smar, puis dans l'ordre les stations de Khroub, Sétif, Tiaret avec 95.08 cm, 93.13cm et 79.63 cm.

Les génotypes ne se comportent pas de la même façon dans tous les environnements. Certains gènes s'expriment mieux dans certains milieux et leur adaptabilité est meilleure. Le facteur génotype montre une différence significative pour ce caractère. La meilleure hauteur se retrouve chez le témoin GTA X DUR avec une valeur de 98.81 cm.

L'interaction génotype x environnement a révélé une différence de hauteur très hautement significative. Les différentes hauteurs sont comprises entre 118.75 cm et 70 cm. Les deux génotypes ayant obtenu la même et plus haute paille sont MMB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA et le témoin CIRTA, au site de Oued-Smar. La plus

faible hauteur a été obtenue chez le génotype OFANTO / WAHA / WAHA, dans l'environnement de Tiaret.

Il existe un effet significatif de l'environnement sur le rendement en grains.

Le meilleur rendement a été obtenu à la station expérimentale de Sétif avec (50.62 qx/ha), suivie des la station de Oued-Smar, avec un chiffre de (30.61 qx/ha). Les deux autres stations de Tiaret et Khroub, ont eu des rendements sensiblement proches avec les valeurs respectives de 25.24qx/ha et 24.97qx/ha.

Le poids de mille grains indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative. L'influence simultanée des deux facteurs explique le fait qu'à une variété spécifique correspond un environnement qui lui est propre.

Le poids le plus élevé a été obtenu à la station de Sétif chez les variétés TR 32225 / GEDIZ // OFANTO (51g) et du témoin CIRTA (50.36g). Le poids minimum est observé chez le génotype SHAKE-3 / GREEN -18 (39.20g). La station expérimentale de Khroub réalise de meilleurs résultats que celle de Oued-Smar avec des valeurs comprises entre (28.06g) pour LABDY-37 / BUSCA-3 et (39.22g) pour le témoin GTAX DUR. La station de Tiaret enregistre les poids de mille grains les plus bas compris entre 20g pour LABDY-37 / BUSCA-3 et 23.84g pour le témoin CIRTA.

Les effets de l'environnement sur le taux de moucheture sont élevés notamment à Oued-Smar et à Constantine. Il existe un effet significatif du génotype sur le taux de moucheture. Les résultats expérimentaux présentent un ordre croissant de sensibilité à la moucheture pour les différentes variétés de blé dur:

OFANTO/ WAHA / WAHA, TOTUS / CARGO // ALTAR 84 / AOS, BOUSSELLAM / OFANTO, TR 3225 / GEDIZ // OFANTO, BOUSSELLAM, WAHA, GTAXDUR, LABDY-37/ BUSCA-3, CIRTA, PLATA-1 / SNM / PLATA-9 et MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA, SHAKE-3 / GREEN -18.

Le taux le plus fort en mitadinage a été enregistré à la station de Sétif avec une valeur de 31.71%. Les plus faibles taux de mitadinage ont été enregistrés aux stations expérimentales de Tiaret et de Khroub. Le génotype se révèle avoir également un effet hautement significatif sur le taux de mitadinage. La variété présentant la meilleure résistance est GTA X DUR (témoin) ; la plus sensible est MBB /OFANTO// RADIOSSO / WAHA.

Les effets de l'interaction génotype x environnement sont très hautement significatifs. Les génotypes les plus intéressants ayant répondu à un taux de mitadinage de 0.00

% sont BOUSSELLAM / OFANTO (6S - 1S - 8S - 1S - 0S) et CIRTA enregistrés à la station de Tiaret ainsi que WAHA enregistré à la station de Khroub. Toutefois, les génotypes ayant obtenu les plus forts pourcentages en mitadin sont : WAHA, LABDY-37/ BUSCA-3, SHAKE-3 /GREEN-18, CIRTA, MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA et BOUSSELAM, tous enregistrés à la station de Sétif. Il est à conclure donc que la résistance au mitadinage dépend des facteurs génétiques.

La variabilité de la teneur en eau d'un blé ou d'une semoule est significativement très élevée sous l'effet de l'interaction génotype x environnement. Le génotype renfermant la plus basse humidité est MBB / OFANTO // RADIOSSO / WAHA dans l'environnement de Tiaret ; celui qui présente la meilleure humidité est le génotype OFANTO / WAHA / WAHA dans l'environnement de Sétif. Il a été observé que mis à part les grains de blé de la région de Sétif, tous les autres présentent des teneurs en eau inférieures à 13 % ; les teneurs les plus faibles se retrouvent à la station de Tiaret se situant dans un étage bioclimatique plus aride. La sécheresse est certainement la cause de ce résultat qui a engendré l'échaudage et la perte de poids de ces grains de blé dur.

Les semoules renferment des humidités comprises entre 10.40 % et 14.35 %. La variation des teneurs en eau des semoules résulte bien sûr du conditionnement des grains.

Les valeurs du rendement semoulier basculent entre 26.52 % (génotype BOUSSELAM / OFANTO) et 66.90 % (génotype PLATA-1/ SNM / / PLATA-9, avec une moyenne de 55.19 %. Les meilleurs taux d'extraction des semoules ont été réalisés au site de Sétif ; les plus bas ont été observés à Tiaret.

L'interaction des facteurs génotype x environnement a une influence très hautement significative sur le taux de cendres des grains et des semoules. La pureté des semoules ne peut être correctement appréciée que par la détermination du

Taux de cendres des semoules

rapport $R = \frac{\text{Taux de cendres des semoules}}{\text{Taux de cendres des grains}}$. Ce taux doit être inférieur à

0.50 % et c'est le cas de la majorité des semoules analysées.

L'effet de l'interaction génotype x environnement sur la variabilité du test S.D.S de sédimentation est hautement significatif. Les volumes les plus élevés du SDS de sédimentation témoignent de la bonne qualité du gluten du blé dur et par conséquent,

de celle de la semoule. La composition du gluten de blé est effectivement un facteur déterminant pour la qualité des produits finis. Le génotype le plus intéressant est PLATA-1/SNM/ PLATA-9 enregistrant un volume de 70ml à la station de Tiaret.

La même interaction a montré un effet très hautement significatif sur les indices de coloration des semoules (indice de brun et indice de jaune). Les valeurs de l'indice de jaune oscillent entre 24.42 et 16.11. La meilleure quantité de pigments jaunes se retrouve dans l'environnement de Khroub avec le génotype OFANTO/WAHA / WAHA. Les blés étudiés ont de bons indices de brun. Les valeurs obtenues sont toutes inférieures au seuil limite de 12 %. Le meilleur indice de brun est obtenu avec le génotype MBB/ OFANTO// RADIOSSO/ WAHA dans l'environnement de Sétif.

L'effet de l'interaction génotype x environnement est très hautement significative pour la teneur en gluten sec, humide et index. L'examen des valeurs minimales et maximales du gluten sec, montre un grand écart entre certains génotypes.

Au site de Tiaret, mis à part les deux génotypes (TR32225 / GEDIZ // OFANTO et SHAKE-3 / GREEN -18), tous les autres présentent de très bonnes teneurs en gluten sec qui sont supérieures à 15 %. La teneur la plus élevée 19.12 g est observée pour le témoin BOUSSELAM. On a donc affaire à des blés de force et les semoules obtenues sont aptes à la fabrication du couscous et des pâtes alimentaires.

Au site de khroub, le gluten de tous les génotypes étudiés est de force moyenne, ce qui signifie que les blés sont de bonne valeur pastifiante.

Au site de Oued-Smar, seulement trois génotypes BOUSSELAM, SHAKE-3 / GREEN -18 et GTA X DUR, ont un gluten de force moyenne. Tous les autres présentent de faibles valeurs en gluten sec comme ceux du site de Sétif, où tous les blés sont insuffisants.

Les semoules à fort gluten ou les blés de force, ont des valeurs en gluten humide comprises entre 49.91% à 57.60%. Les blés à bonne valeur pastière, ont un gluten humide supérieur à 36 %, allant de 36.54% à 47.45 %. Les blés insuffisants ont des valeurs trop faibles ou trop élevées comme dans le cas des variétés WAHA et OFANTO / WAHA / WAHA.

Les valeurs du gluten index sont très instables d'un génotype à l'autre et d'un environnement à l'autre. Un gluten de force doit avoir un gluten index compris 66% et 85 %. Or, les résultats obtenus ne sont pas tous conformes à cette norme. Nous

constatons que seulement trois génotypes ont de bons indices de qualité en l'occurrence SHAKE-3 / GREEN-18 (aux sites de Tiaret, Oued-Smar et Khroub) ; TOTUS / CARGO // ALTAR 84 / AOS (au site de Oued-Smar) et LABDY-37 / BUSCA-3 (au site de Khroub).

Les valeurs de la capacité de rétention de l'eau par le gluten sont comprises entre 65.98 % et 70.36 %. La plus grande capacité d'hydratation est attribuée au génotype (SHAKE-3 / GREEN-18), par contre, la plus faible au génotype (TR32225 / GEDIZ // OFANTO). A travers ces résultats, on constate que la fixation de l'eau par le gluten des semoules se fait en fonction du génotype et il semblerait que les blés de force ont une meilleure capacité d'hydratation que les blés insuffisants.

Pour la teneur en protéines, l'analyse de la variance de l'interaction « génotypes x environnements », se montre également très hautement significative.

Les valeurs des protéines des grains oscillent entre 09.10 % (SHAKE-3 / GREEN-18) et 20.76 % (TR32225 /GEDIZ // OFANTO). Celles des semoules, varient entre 07.90 % (SHAKE-3 / GREEN-18) et 18.98 % (TR32225 / GEDIZ // OFANTO).

Comme pour les grains, les teneurs en protéines des semoules les plus satisfaisantes sont celles de Tiaret et les plus faibles sont celles de l'environnement de Sétif. L'ampleur de cette variation en protéines, implique que les performances des génotypes diffèrent d'un environnement à l'autre. Nous pouvons déduire qu'il y a un double effet génotypique et environnemental sur la teneur en protéines des grains et des semoules.

Compte tenu de l'importance de la céréaliculture, de son impact politique, économique et social en Algérie et dans le monde, cette étude de sélection, d'identification du comportement et d'adaptation variétale à l'environnement reste parmi les études de recherche les plus prioritaires en Agriculture. Les résultats de ce travail ont été obtenus grâce aux moyens mis à ma disposition par le département d'agronomie et de l'ITGC, grâce aussi aux efforts de tous les professeurs et à deux années d'expérimentation sur différentes stations expérimentales et laboratoires. Néanmoins cela reste encore un début car il est à souligner qu'une étude scientifique de cette ampleur doit être poursuivie car elle nécessite du temps et de la matière. C'est pour toutes ces raisons qu'une orientation à court et long terme vers un projet de recherche agronomique intégrant la génétique, la biologie et l'environnement serait à recommander.

APPENDICE A
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

mm : millimètre

°C: degré Celsius

cm: centimètre

m: mètre

g: gramme

g/l :gramme/litre

kg : kilogramme

ha: hectare

T: tonne

Mt : millions de tonnes

Mha : millions d'hectares

ml : millilitre

ml/l: millilitre/litre

mn : Minute

S.A.U : surface agricole utile

BAC : Bloc aléatoire complet

C.V : Coefficient de variation

Var : variance

SCE : Somme des carrés des écarts

DDL : Degré de liberté

Test F: Test de Fisher

ET : Ecart-type

Prob : Probabilité

H : Hauteur

Rdt : Rendement

PMG : Poids de mille grains

M : Moucheture

Mit : Mitadinage

HG : Humidité des grains

HS : Humidité des semoules

TES : Taux d'extraction des semoules

GS: Gluten sec

GH: Gluten humide

GI: Gluten Index

CH: Capacité d'hydratation

P : Protéines

ITGC : Institut technique des Grandes Cultures

CIE : Commission Internationale d'éclaircissement

CIC : Conseil International des Céréales

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

(Centre International de la recherche agricole en zones arides)

CIMMYT: Centre International d'amélioration du maïs et du blé

CREAD : Centre de recherche en économie appliquée pour le développement.

AACC: American Association of Cereal Chemists (AACC methods), saint-Paul,
Minnesota, U.S.A.

BIPEA : Bureau Interprofessionnel d'études Analytiques (Recueil des méthodes
d'analyse des communautés européennes)

ISO/AFNOR : Association Internationale de Normalisation / Association française
de Normalisation

NF : Normes françaises

APPENDICE B
TABLEAUX DES RESULTATS DES PARAMETRES MESURES

Tableau 1 : Hauteur des plants à la floraison

Facteurs	Moyenne (cm)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (cm)
Environnements			0.0000		93.55
E1	79.63	1.42		D	
E2	106.38	0.43		A	
E3	95.08	0.94		B	
E4	93.13	1.25		C	
Génotypes			0.0000		
V1	95.44	1.15		B	
V2	93.94	1.38		C	
V3	98.19	0.20		A	
V4	90.75	1.15		D	
V5	88.88	1.93		E	
V6	93.44	0.39		C	
V7	88.94	1.12		E	
V8	95.00	0.72		B	
V9	98.81	0.36		A	
V10	90.94	1.34		D	
V11	89.63	1.53		E	
V12	98.69	0.24		A	
Interactions			0.0000		
V1- E1	78.00	0.55		M	
V1- E2	118.75	0.50		A	
V1- E3	95.00	0.72		FGH	
V1- E4	90.00	2.35		I	
V2- E1	82.00	0.12		KL	
V2- E2	118.75	0.50		A	
V2- E3	90.00	1.65		I	
V2- E4	85.00	2.56		J	
V3- E1	78.00	0.12		M	
V3- E2	114.75	0.39		B	
V3- E3	100.00	0.12		E	
V3- E4	100.00	0.12		E	
V4- E1	70.00	0.12		O	
V4- E2	108.00	0.72		C	
V4- E3	90.00	2.46		I	
V4- E4	95.00	0.12		FGH	

V5- E1	73.00	4.18		N
V5- E2	95.50	0.64		FG
V5- E3	97.00	0.83		F
V5- E4	90.00	0.12		I
V6- E1	80.00	0.12		LM
V6- E2	103.75	0.50		D
V6- E3	95.00	0.69		FGH
V6- E4	95.00	0.12		FGH
V7- E1	82.00	0.07		KL
V7- E2	93.75	0.50		GH
V7- E3	95.00	1.63		FGH
V7- E4	85.00	0.92		J
V8- E1	85.00	0.04		J
V8- E2	95.00	0.12		FGH
V8- E3	100.00	0.12		E
V8- E4	100.00	0.12		E
V9- E1	84.00	0.29		JK
V9- E2	118.25	0.46		A
V9- E3	98.00	0.12		EF
V9- E4	95.00	0.64		FGH
V10- E1	82.50	0.94		KL
V10- E2	96.25	0.53		FG
V10- E3	95.00	0.12		FGH
V10- E4	90.00	0.12		I
V11- E1	81.00	0.53		KL
V11- E2	95.00	0.07		FGH
V11- E3	90.00	0.83		I
V11- E4	92.50	3.30		HI
V12- E1	80.00	0.02		LM
V12- E2	118.75	0.31		A
V12- E3	96.00	0.12		FG
V12- E4	100.00	0.1		E

Tableau 2 : Rendements en grains

Facteurs étudiés	Moyenne (Qx/ha)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (Qx/ha)
Environnements			0.0000		32.86
E1	25.24	05.80		C	
E2	30.61	09.28		B	
E3	24.97	06.11		C	
E4	50.62	14.94		A	
Génotypes			0.3656		
V1	28.14	11.81			
V2	30.66	08.79			
V3	33.42	06.69			
V4	28.29	09.68			
V5	34.02	12.40			
V6	32.50	06.32			
V7	34.12	09.66			
V8	36.74	13.01			
V9	36.52	09.54			
V10	35.05	06.55			
V11	34.74	12.83			
V12	30.09	09.02			
Interactions			0.8158		
V1-E1	19.51	05.73			
V1-E2	23.33	20.12			
V1-E3	26.15	07.23			
V1-E4	43.56	14.41			
V2-E1	19.08	04.25			
V2-E2	30.00	08.63			
V2-E3	24.03	05.71			
V2-E4	49.53	16.17			
V3-E1	19.49	04.46			
V3-E2	38.75	06.24			
V3-E3	25.79	01.69			
V3-E4	49.64	12.72			
V4-E1	19.12	04.91			
V4-E2	19.16	11.89			
V4-E3	20.42	08.37			
V4-E4	54.45	15.27			
V5-E1	21.15	06.17			
V5-E2	38.75	11.22			
V5-E3	21.30	11.23			
V5-E4	54.89	21.89			
V6-E1	20.50	04.41			
V6-E2	36.67	03.34			
V6-E3	24.66	03.28			
V6-E4	48.16	12.59			

V7-E1	30.43	07.27			
V7-E2	24.16	07.99			
V7-E3	27.65	10.22			
V7-E4	54.24	14.59			
V8-E1	34.62	04.20			
V8-E2	34.92	05.99			
V8-E3	23.30	03.82			
V8-E4	54.11	27.15			
V9-E1	32.87	04.61			
V9-E2	37.50	13.70			
V9-E3	26.25	04.90			
V9-E4	49.47	13.65			
V10-E1	29.67	05.90			
V10-E2	34.58	05.29			
V10-E3	28.54	05.41			
V10-E4	47.42	10.64			
V11-E1	30.79	08.42			
V11-E2	27.08	06.14			
V11-E3	26.20	06.00			
V11-E4	54.89	24.35			
V12-E1	25.58	02.42			
V12-E2	22.44	04.86			
V12-E3	25.30	09.06			
V12-E4	47.04	12.33			

Tableau 3 : Poids de mille grains

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		33.47
E1	22.53	0.39		D	
E2	30.88	1.18		C	
E3	33.63	0.30		B	
E4	46.84	0.38		A	
Génotypes			0.0000		
V1	36.16	0.51		B	
V2	35.57	0.17		B C	
V3	37.20	0.35		A	
V4	30.83	0.28		F	
V5	35.49	0.39		B C	
V6	32.59	0.23		E	
V7	29.59	0.21		G	
V8	30.66	0.44		F	
V9	35.63	0.57		B C	
V10	33.98	2.06		D	
V11	28.73	0.26		H	
V12	35.2	0.22		C	

Interactions			0.0000		
V1-E1	23.00	0.79		MNO	
V1-E2	39.00	0.79		F	
V1-E3	31.65	0.22		IJ	
V1-E4	51.00	0.11		A	
V2-E1	23.00	0.11		MNO	
V2-E2	37.00	0.11		G	
V2-E3	32.02	0.11		I	
V2-E4	50.28	0.35		AB	
V3-E1	23.24	0.54		MNO	
V3-E2	38.12	0.16		FG	
V3-E3	37.70	0.40		G	
V3-E4	49.74	0.37		AB	
V4-E1	22.20	0.11		NO	
V4-E2	20.43	0.18		P	
V4-E3	31.30	0.56		I	
V4-E4	49.40	0.20		B	
V5-E1	23.65	0.16		MNO	
V5-E2	31.86	0.22		IJ	
V5-E3	37.11	0.20		G	
V5-E4	49.33	0.79		B	
V6-E1	20.80	0.48		P	
V6-E2	34.34	0.09		H	
V6-E3	31.10	0.11		IJ	
V6-E4	44.12	0.07		D	
V7-E1	23.00	0.04		MNO	
V7-E2	22.76	0.22		MNO	
V7-E3	33.38	0.23		H	
V7-E4	39.20	0.33		F	
V8-E1	21.90	0.02		O	
V8-E2	26.95	0.37		L	
V8-E3	30.49	0.65		IJ	
V8-E4	43.30	0.15		DE	
V9-E1	23.00	0.13		MNO	
V9-E2	33.44	0.10		H	
V9-E3	39.22	0.21		F	
V9-E4	46.84	0.92		C	
V10-E1	22.74	0.13		MNO	
V10-E2	30.30	4.58		J	
V10-E3	36.88	0.41		G	
V10-E4	46.00	0.11		C	
V11-E1	20.00	0.19		P	
V11-E2	24.35	0.06		M	
V11-E3	28.06	0.11		K	
V11-E4	42.52	0.54		E	
V12-E1	23.84	0.01		MN	
V12-E2	32.00	0.11		I	
V12-E3	34.60	0.36		H	
V12-E4	50.36	0.15		AB	

Tableau 4 : Taux de moucheture des grains

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		1,23
E1	0.01	0.01		D	
E2	3.31	0.15		A	
E3	1.50	0.12		B	
E4	0.09	0.04		C	
Génotypes			0.0000		
V1	0.84	0.03		F	
V2	1.79	0.09		B	
V3	0.79	0.06		F	
V4	0.03	0.01		H	
V5	0.88	0.05		F	
V6	1.36	0.03		E	
V7	2.03	0.17		A	
V8	0.38	0.12		G	
V9	1.55	0.06		D	
V10	1.79	0.17		B	
V11	1.65	0.14		C	
V12	1.68	0.07			
Interactions			0.0000		
V1-E1	0.00	0.01		O	
V1-E2	3.35	0.07		G H	
V1-E3	0.00	0.01		O	
V1-E4	0.00	0.01		O	
V2-E1	0.00	0.01		O	
V2-E2	5.85	0.19		A	
V2-E3	1.30	0.08		K	
V2-E4	0.00	0.01		O	
V3-E1	0.00	0.01		O	
V3-E2	2.70	0.12		J	
V3-E3	0.35	0.05		N	
V3-E4	0.10	0.01		O	
V4-E1	0.10	0.01		O	
V4-E2	0.00	0.01		O	
V4-E3	0.00	0.01		O	
V4-E4	0.00	0.01		O	
V5-E1	0.00	0.01		O	
V5-E2	3.20	0.07		H I	
V5-E3	0.30	0.08		N O	
V5-E4	0.00	0.01		O	
V6-E1	0.00	0.01		O	
V6-E2	5.40	0.07		B	
V6-E3	0.05	0.01		O	
V6-E4	0.00	0.01		O	

V7-E1	0.00	0.01		O	
V7-E2	4.10	0.12		D	
V7-E3	3.80	0.35		E	
V7-E4	0.20	0.07		N	
V8-E1	0.00	0.00		O	
V8-E2	1.45	0.27		K	
V8-E3	0.05	0.01		O	
V8-E4	0.00	0.01		O	
V9-E1	0.00	0.07		O	
V9-E2	3.14	0.13		I	
V9-E3	3.05	0.05		I	
V9-E4	0.00	0.01		O	
V10-E1	0.00	0.20		O	
V10-E2	3.40	0.28		G	
V10-E3	3.60	0.27		F	
V10-E4	0.15	0.04		N	
V11-E1	0.00	0.04		O	
V11-E2	5.76	0.02		A	
V11-E3	0.85	0.01		L	
V11-E4	0.00	0.01		O	
V12-E1	0.00	0.00		O	
V12-E2	1.40	0.02		K	
V12-E3	4.70	0.01		C	
V12-E4	0.60	0.12		M	

Tableau 5 : Taux de mitadinage

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		
E1	00.49	0.11		D	10.56
E2	06.54	0.31		B	
E3	03.49	0.07		C	
E4	31.71	0.26			

Génotypes				
V1	09.11	0.32	0.0000	G
V2	19.14	0.22		A
V3	07.27	0.38		H
V4	11.16	0.22		E
V5	10.20	0.05		F
V6	17.73	0.28		B
V7	12.14	0.18		D
V8	06.54	0.14		I
V9	03.85	0.12		K
V10	12.54	0.13		C
V11	11.31	0.15		E
V12	05.69	0.19		J
Interactions			0.0000	
V1-E1	0.53	0.10		V W X Y
V1-E2	13.08	0.18		O
V1-E3	0.83	0.05		U V W
V1-E4	22.00	0.68		J
V2-E1	0.08	0.04		Y
V2-E2	1.66	0.44		R S
V2-E3	33.66	0.19		F
V2-E4	41.16	0.07		D
V3-E1	0.00	0.04		Y
V3-E2	8.00	0.80		P
V3-E3	0.66	0.13		U V W X
V3-E4	20.41	0.24		K
V4-E1	0.08	0.04		Y
V4-E2	16.66	0.42		L
V4-E3	0.08	0.04		Y
V4-E4	27.83	0.26		H
V5-E1	0.16	0.04		X Y
V5-E2	1.00	0.04		T U V
V5-E3	1.66	0.09		R S
V5-E4	38.00	0.04		E
V6-E1	0.75	0.30		U V W
V6-E2	13.50	0.43		N
V6-E3	0.00	0.04		Y
V6-E4	56.66	0.32		A
V7-E1	1.91	0.19		R
V7-E2	1.33	0.26		S T
V7-E3	1.00	0.04		T U V
V7-E4	44.33	0.26		B
V8-E1	0.08	0.11		Y
V8-E2	0.50	0.04		V W X Y
V8-E3	0.33	0.08		W X Y
V8-E4	25.25	0.30		I
V9-E1	0.41	0.15		W X Y
V9-E2	0.41	0.12		W X Y
V9-E3	1.41	0.04		S T

V9-E4	13.16	0.18		NO
V10-E1	0.75	0.03		U V W
V10-E2	14.83	0.24		M
V10-E3	1.41	0.05		ST
V10-E4	33.16	0.07		G
V11-E1	1.08	0.15		TU
V11-E2	1.50	0.04		RST
V11-E3	0.75	0.02		U V W
V11-E4	41.91	0.33		C
V12-E1	0.00	0.06		Y
V12-E2	6.00	0.09		Q
V12-E3	0.08	0.04		Y
V12-E4	16.66	0.19		L

Tableau 6 : Teneur en eau des grains

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		11.64
E1	09.19	0.38		D	
E2	11.66	0.38		C	
E3	12.24	0.25		B	
E4	13.47	0.31		A	
Génotypes			0.0018		
V1	11.46	0.27		B	
V2	11.73	0.36		AB	
V3	11.62	0.27		AB	
V4	11.61	0.35		AB	
V5	11.50	0.53		AB	
V6	11.68	0.20		AB	
V7	11.94	0.30		A	
V8	11.55	0.37		AB	
V9	11.83	0.31		AB	
V10	11.85	0.38		AB	
V11	11.54	0.38		AB	
V12	11.42	0.25		B	
Interactions			0.0000		
V1-E1	8.80	0.37		LM	
V1-E2	11.35	0.22		IJ	
V1-E3	12.10	0.08		FGHIJ	
V1-E4	13.60	0.42		ABCD	
V2-E1	8.08	0.74		M	
V2-E2	12.10	0.19		FGHIJ	
V2-E3	12.75	0.23		DEFG	

V2-E4	14.00	0.05		AB
V3-E1	8.88	0.43		L
V3-E2	11.70	0.20		HIJ
V3-E3	12.15	0.18		FGHIJ
V3-E4	13.75	0.33		ABC
V4-E1	8.55	0.55		LM
V4-E2	11.70	0.07		HIJ
V4-E3	12.15	0.10		FGHIJ
V4-E4	14.05	0.53		A
V5-E1	8.40	0.58		LM
V5-E2	12.00	0.89		GHIJ
V5-E3	12.20	0.20		FGHIJ
V5-E4	13.40	0.50		ABCDE
V6-E1	8.80	0.22		LM
V6-E2	11.70	0.05		HIJ
V6-E3	12.90	0.26		CDEFG
V6-E4	13.30	0.29		ABCDE
V7-E1	10.50	0.17		K
V7-E2	11.50	0.42		IJ
V7-E3	12.10	0.30		FGHIJ
V7-E4	13.65	0.19		ABC
V8-E1	10.20	0.10		K
V8-E2	11.50	0.54		IJ
V8-E3	11.50	0.54		IJ
V8-E4	13.00	0.05		CDEF
V9-E1	9.90	0.24		K
V9-E2	12.00	0.43		GHIJ
V9-E3	12.25	0.25		FGHI
V9-E4	13.15	0.26		BCDE
V10-E1	10.15	0.17		K
V10-E2	11.55	0.56		IJ
V10-E3	12.10	0.08		FGHIJ
V10-E4	13.60	0.46		ABCD
V11-E1	9.05	0.11		L
V11-E2	11.60	0.27		IJ
V11-E3	12.10	0.38		FGHIJ
V11-E4	13.40	0.46		ABCDE
V12-E1	9.06	0.06		L
V12-E2	11.25	0.06		J
V12-E3	12.60	0.37		EFGH
V12-E4	12.75	0.24		DEFG

Tableau 7 : Teneur en eau des semoules

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		11.71
E1	10.64	0.15			
E2	14.25	0.24		C	
E3	10.99	0.20		A	
E4	10.98	0.30		B	
Génotypes			0.0010		
V1	11.65	0.33		A B	
V2	11.80	0.30		A B	
V3	11.90	0.22		A	
V4	11.56	0.25		B	
V5	11.70	0.09		A B	
V6	11.64	0.24		A B	
V7	11.56	0.21		B	
V8	11.87	0.13		A	
V9	11.82	0.22		A B	
V10	11.73	0.29		A B	
V11	11.60	0.26		A B	
V12	11.74	0.13		A B	
Interactions			0.0000		
V1-E1	10.65	0.23		HIJK	
V1-E2	14.80	0.39		A	
V1-E3	10.70	0.32		HIJK	
V1-E4	10.45	0.49		JK	
V2-E1	10.40	0.26		K	
V2-E2	14.05	0.13		C	
V2-E3	11.75	0.30		D	
V2-E4	11.00	0.54		FGHIJK	
V3-E1	10.60	0.18		HIJK	
V3-E2	14.75	0.20		AB	
V3-E3	11.40	0.25		DEFG	
V3-E4	10.85	0.33		GHIJK	
V4-E1	10.45	0.32		JK	
V4-E2	14.20	0.27		AC	
V4-E3	10.90	0.18		GHIJK	
V4-E4	10.70	0.32		HIJK	
V5-E1	10.60	0.07		HIJK	
V5-E2	14.20	0.19		BC	
V5-E3	11.00	0.04		FGHIJK	
V5-E4	11.00	0.04		FGHIJK	
V6-E1	10.45	0.28		JK	
V6-E2	14.05	0.07		C	
V6-E3	10.50	0.43		IJK	

V6-E4	11.55	0.16		DEF
V7-E1	10.70	0.09		HIJK
V7-E2	13.85	0.40		C
V7-E3	10.40	0.08		K
V7-E4	11.30	0.21		DEFGH
V8-E1	10.85	0.05		GHIJK
V8-E2	14.30	0.23		ABC
V8-E3	11.20	0.13		EFGHI
V8-E4	11.14	0.09		FGHIJ
V9-E1	10.65	0.23		HIJK
V9-E2	13.85	0.47		C
V9-E3	11.70	0.05		DE
V9-E4	11.10	0.07		FGHIJK
V10-E1	10.75	0.05		GHIJK
V10-E2	14.35	0.10		ABC
V10-E3	10.80	0.21		GHIJK
V10-E4	11.00	0.62		FGHIJK
V11-E1	10.60	0.12		HIJK
V11-E2	14.25	0.36		BC
V11-E3	10.70	0.31		HIJK
V11-E4	10.85	0.39		GHIJK
V12-E1	11.00	0.03		FGHIJK
V12-E2	14.35	0.07		ABC
V12-E3	10.80	0.10		GHIJK
V12-E4	10.80	0.10		GHIJK

Tableau 8: Taux d'extraction des semoules

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moy Générale (%)
Environnements			0.0000		
E1	46.59	3.73		C	55.19
E2	56.41	3.68		B	
E3	56.47	0.57		B	
E4	61.27	0.82		A	

Génotypes			0.0000	
V1	53.98	6.55		D
V2	59.79	0.57		B
V3	48.38	6.46		E
V4	53.15	0.55		D
V5	47.88	0.52		E
V6	51.44	0.61		D
V7	56.54	0.58		C
V8	52.66	0.91		D
V9	58.84	0.52		BC
V10	62.45	0.67		A
V11	58.05	0.78		BC
V12	59.10	0.82		BC
Interactions			0.0000	
V1-E1	38.83	14.58		O
V1-E2	58.50	0.52		BCDEFGHIJK
V1-E3	56.66	0.62		DEFGHIJKL
V1-E4	61.93	1.24		ABCDEF
V2-E1	55.50	0.44		EFGHIJKL
V2-E2	63.28	0.52		ABCD
V2-E3	56.00	0.52		DEFGHIJKL
V2-E4	64.37	0.94		ABC
V3-E1	26.52	0.51		P
V3-E2	50.61	14.43		KLM
V3-E3	54.00	0.52		FGHIJKLM
V3-E4	62.40	0.48		ABCDE
V4-E1	38.22	0.52		O
V4-E2	56.42	0.60		DEFGHIJKL
V4-E3	58.33	0.48		BCDEFGHIJK
V4-E4	59.62	0.81		ABCDEFGHI
V5-E1	42.43	0.52		NO
V5-E2	51.42	0.46		JKLM
V5-E3	54.00	0.52		FGHIJKLM
V5-E4	43.66	0.77		NO
V6-E1	39.58	0.85		O
V6-E2	57.50	0.52		CDEFGHIJK
V6-E3	55.00	0.52		EFGHIJKL
V6-E4	53.66	0.77		GHIJKLM
V7-E1	51.33	0.45		JKLM
V7-E2	53.99	0.49		FGHIJKLM
V7-E3	56.00	0.52		DEFGHIJKL
V7-E4	64.83	0.99		ABC
V8-E1	47.33	0.26		MN
V8-E2	48.85	1.31		LM
V8-E3	51.60	0.54		IJKLM
V8-E4	62.85	1.31		ABCDE
V9-E1	52.24	0.28		HIJKLM
V9-E2	59.10	0.58		BCDEFGHIJ
V9-E3	58.30	0.52		BCDEFGHIJK
V9-E4	65.70	0.74		AB

V10-E1	58.20	0.30		BCDEFGHIJK
V10-E2	64.50	0.52		ABC
V10-E3	60.20	0.47		ABCDEFGH
V10-E4	66.90	1.27		A
V11-E1	55.06	0.57		EFGHIJKL
V11-E2	55.32	0.73		EFGHIJKL
V11-E3	57.00	0.52		CDEFGHIJK
V11-E4	64.82	0.70		ABC
V12-E1	54.04	0.15		FGHIJKLM
V12-E2	57.25	0.33		CDEFGHIJK
V12-E3	60.60	1.45		ABCDEFG
V12-E4	64.52	0.91		ABC

Tableau 9 : Taux de cendres des grains

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		01.77
E1	01.96	0.05			
E2	01.89	0.03			
E3	01.81	0.11			
E4	01.43	0.09			
Génotypes			0.0000		
V1	01.54	0.05		E	
V2	01.69	0.11		D	
V3	01.85	0.05		C	
V4	01.74	0.06		D	
V5	02.03	0.12		A	
V6	01.92	0.08		B	
V7	01.84	0.09		C	
V8	01.86	0.06		C	
V9	01.54	0.03		E	
V10	01.83	0.08		C	
V11	01.74	0.09		D	
V12	01.69	0.03		D	
Interactions			0.0000		
V1-E1	01.23	0.01		PQ	
V1-E2	01.96	0.05		BCDE	
V1-E3	01.52	0.09		JKLMN	
V1-E4	01.45	0.06		KLMNO	
V2-E1	01.97	0.08		BCDE	
V2-E2	01.64	0.05		GHIJ	
V2-E3	01.41	0.17		LMNOP	
V2-E4	01.73	0.17		FGHI	
V3-E1	02.08	0.03		B	
V3-E2	01.96	0.05		BCDE	

V3-E3	01.74	0.06		FGHI	
V3-E4	01.61	0.09		HIJK	
V4-E1	01.92	0.04		BCDEF	
V4-E2	01.98	0.04		BCDE	
V4-E3	01.52	0.09		JKLMN	
V4-E4	01.55	0.10		JKLM	
V5-E1	02.89	0.02		A	
V5-E2	01.99	0.02		BCDE	
V5-E3	01.81	0.24		DEFG	
V5-E4	01.42	0.13		LMNOP	
V6-E1	02.04	0.08		BC	
V6-E2	02.05	0.06		B	
V6-E3	02.01	0.01		BCD	
V6-E4	01.59	0.16		IJKL	
V7-E1	01.96	0.09		BCDE	
V7-E2	2.00	0.02		BCDE	
V7-E3	2.07	0.13		B	
V7-E4	01.33	0.12		NOP	
V8-E1	02.08	0.05		B	
V8-E2	02.01	0.01		BCD	
V8-E3	02.00	0.03		BCDE	
V8-E4	01.35	0.13		NOP	
V9-E1	01.96	0.01		BCDE	
V9-E2	01.09	0.02		Q	
V9-E3	01.99	0.02		BCDE	
V9-E4	01.13	0.04		Q	
V10-E1	01.98	0.07		BCDE	
V10-E2	01.97	0.05		BCDE	
V10-E3	01.99	0.14		BCDE	
V10-E4	01.39	0.03		MNOP	
V11-E1	01.78	0.07		EFGH	
V11-E2	02.09	0.01		B	
V11-E3	01.82	0.18		CDEFG	
V11-E4	01.28	0.06		OP	
V12-E1	01.65	0.03		GHIJ	
V12-E2	01.89	0.04		BCDEF	
V12-E3	01.89	0.03		BCDEF	
V12-E4	01.32	0.03		O	

Tableau 10: Taux de cendres des semoules

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements E1 E2 E3 E4	1.11 0.99 0.82 0.62	0.05 0.10 0.13 0.05	0.0000	A B C D	0.89
Génotypes V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10 V11 V12	0.84 0.93 1.03 0.83 0.80 1.05 0.76 0.92 0.83 0.87 0.93 0.82	0.08 0.06 0.09 0.13 0.12 0.05 0.03 0.03 0.11 0.07 0.09 0.13	0.0000	BCD B A BCD CD A D B BCD BC B BCD	
Interactions V1-E1 V1-E2 V1-E3 V1-E4 V2-E1 V2-E2 V2-E3 V2-E4 V3-E1 V3-E2 V3-E3 V3-E4 V4-E1 V4-E2 V4-E3 V4-E4 V5-E1 V5-E2 V5-E3 V5-E4 V6-E1	0.93 0.88 0.94 0.63 1.40 0.99 0.74 0.61 1.47 1.15 0.88 0.63 1.07 0.88 0.78 0.60 1.12 0.61 0.83 0.65 1.14	0.02 0.14 0.10 0.04 0.09 0.02 0.07 0.06 0.11 0.06 0.14 0.04 0.03 0.14 0.25 0.01 0.12 0.07 0.22 0.09 0.04	0.0000	CDEFGHI DEFGHIJK CDEFGHI LMNO A CDEFGH IJKLMNOP MNO A BC DEFGHIJK LMNO CDEF DEFGHIJK HIJKLMN MNO BCDE MNO FGHIJKLMN KLMNO BCD	

V6-E2	1.38	0.10		A	
V6-E3	1.02	0.02		CDEFGH	
V6-E4	0.67	0.05		JKLMNO	
V7-E1	1.29	0.03		AB	
V7-E2	1.05	0.06		CDEFG	
V7-E3	0.11	0.01		P	
V7-E4	0.58	0.03		NO	
V8-E1	1.03	0.02		CDEFGH	
V8-E2	1.12	0.03		BCDE	
V8-E3	1.02	0.03		CDEFGH	
V8-E4	0.53	0.04		O	
V9-E1	0.92	0.03		CDEFGHI	
V9-E2	0.96	0.05		CDEFGH	
V9-E3	0.85	0.23		F GHIJKLM	
V9-E4	0.60	0.07		MNO	
V10-E1	0.94	0.01		CDEFGHI	
V10-E2	0.95	0.06		CDEFGHI	
V10-E3	0.94	0.10		CDEFGHI	
V10-E4	0.67	0.10		JKLMNO	
V11-E1	1.05	0.02		CDEFG	
V11-E2	1.13	0.06		BCD	
V11-E3	0.90	0.15		CDEFGHIJ	
V11-E4	0.62	0.03		LMNO	
V12-E1	1.01	0.01		CDEFGH	
V12-E2	0.79	0.01		GHIJKLMN	
V12-E3	0.86	0.16		EFGHIJKL	
V12-E4	0.64	0.07		KLMNO	

Tableau 11 : Volume de sédimentation SDS

Facteurs étudiés	Moyenne (ml)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (ml)
Environnements			0.0000		
E1	50.25	1.60		A	
E2	33.71	1.00		D	
E3	47.17	1.13		B	
E4	45.13	1.02		C	

Génotypes			0.0000	
V1	33.38	0.44		I
V2	49.38	1.21		C
V3	44.63	0.94		E
V4	39.94	1.14		F
V5	35.25	1.42		H
V6	32.25	0.96		J
V7	50.00	2.21		C
V8	47.13	1.25		D
V9	44.56	1.52		E
V10	58.88	1.20		A
V11	55.25	0.91		B
V12	38.13	0.78		G
Interactions			0.0000	
V1-E1	36.50	0.24		QRST
V1-E2	30.00	0.34		UV
V1-E3	30.00	0.34		UV
V1-E4	37.00	0.82		QRS
V2-E1	45.50	2.07		JK
V2-E2	42.00	1.49		LMN
V2-E3	68.00	0.34		A
V2-E4	42.00	0.82		LMN
V3-E1	50.00	0.34		FGH
V3-E2	32.00	1.49		U
V3-E3	49.00	0.34		GHI
V3-E4	47.50	1.40		HIJ
V4-E1	41.50	0.91		LMN
V4-E2	22.00	0.34		Y
V4-E3	40.75	1.11		MNO
V4-E4	55.50	2.07		D
V5-E1	41.50	0.24		LMN
V5-E2	27.00	1.49		WX
V5-E3	37.00	2.65		QRS
V5-E4	35.50	0.91		RST
V6-E1	38.50	0.24		OPQ
V6-E2	27.00	0.34		WX
V6-E3	35.00	0.34		ST
V6-E4	28.50	2.07		VW
V7-E1	58.00	1.19		C
V7-E2	43.00	0.82		LM
V7-E3	46.50	0.91		IJ
V7-E4	52.50	1.40		EF
V8-E1	59.00	0.69		C
V8-E2	25.00	0.34		X
V8-E3	53.00	0.82		DE
V8-E4	51.50	0.24		EFG
V9-E1	50.00	0.47		FGH
V9-E2	30.00	1.97		UV

V9-E3	48.25	1.78		HI	
V9-E4	50.00	0.82		FGH	
V10-E1	70.00	0.53		A	
V10-E2	50.00	1.97		FGH	
V10-E3	61.50	1.40		B	
V10-E4	54.00	0.82		DE	
V11-E1	68.50	0.81		A	
V11-E2	40.00	0.47		NOP	
V11-E3	59.00	1.97		C	
V11-E4	53.50	0.24		DE	
V12-E1	44.00	0.40		KL	
V12-E2	36.50	0.47		QRST	
V12-E3	38.00	0.82		PQR	
V12-E4	34.00	0.34		T	

Tableau 12 : Indice de jaune

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		
E1	21.79	0.21		A	21.24
E2	21.58	0.51		B	
E3	21.21	0.32		C	
E4	20.39	0.13		D	
Génotypes			0.0000		
V1	19.84	0.44		F	
V2	20.43	0.24		E	
V3	18.18	0.32		G	
V4	23.70	0.25		A	
V5	21.02	0.11		D	
V6	22.79	0.24		B	
V7	21.22	0.29		D	
V8	20.04	0.29		F	
V9	21.28	0.23		D	
V10	22.43	0.24		C	
V11	22.66	0.70		BC	
V12	21.34	0.23		D	
Interactions			0.0000		
V1-E1	19.12	0.15		ST	
V1-E2	20.00	0.82		PQR	
V1-E3	20.86	0.50		KLMNO	
V1-E4	19.36	0.12		RS	

V2-E1	23.01	0.07		CDEF	
V2-E2	22.61	0.52		FGH	
V2-E3	16.11	0.07		W	
V2-E4	19.98	0.07		PQR	
V3-E1	18.38	0.40		U	
V3-E2	17.63	0.31		V	
V3-E3	19.28	0.49		RS	
V3-E4	17.43	0.10		V	
V4-E1	22.86	0.47		EFG	
V4-E2	23.70	0.09		BCD	
V4-E3	24.42	0.24		A	
V4-E4	23.80	0.19		ABC	
V5-E1	20.69	0.14		LMNOP	
V5-E2	21.87	0.13		HIJ	
V5-E3	21.43	0.14		IJKL	
V5-E4	20.07	0.07		OPQR	
V6-E1	23.38	0.29		BCDEF	
V6-E2	23.04	0.07		CDEF	
V6-E3	22.58	0.44		FGH	
V6-E4	22.17	0.10		GHIJ	
V7-E1	22.05	0.06		HIJ	
V7-E2	22.04	0.07		HIJ	
V7-E3	20.90	0.64		KLMN	
V7-E4	19.87	0.10		QR	
V8-E1	20.56	0.03		MNOPQ	
V8-E2	20.05	0.16		OPQR	
V8-E3	20.94	0.60		KLMN	
V8-E4	18.61	0.18		TU	
V9-E1	21.51	0.04		IJKL	
V9-E2	21.53	0.50		IJKL	
V9-E3	21.04	0.07		KLMN	
V9-E4	21.02	0.08		KLMN	
V10-E1	23.37	0.37		BCDEF	
V10-E2	23.31	0.46		BCDEF	
V10-E3	22.24	0.16		GHI	
V10-E4	20.81	0.17		LMNOP	
V11-E1	23.66	0.06		BCDE	
V11-E2	21.70	0.10		IJK	
V11-E3	23.94	0.03		AB	
V11-E4	21.33	0.15		JKLM	
V12-E1	22.91	0.02		DEFG	
V12-E2	21.49	0.03		IJKL	
V12-E3	20.78	0.20		LMNOP	
V12-E4	20.19	0.27		NOPQ	

Tableau 13 : Indice de brun

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		08.06
E1	09.18	0.20		A	
E2	07.28	0.21		C	
E3	08.55	0.16		B	
E4	07.24	0.18		C	
Génotypes			0.0000		
V1	07.81	0.26		E	
V2	07.37	0.18		G	
V3	08.02	0.18		D	
V4	08.03	0.12		D	
V5	08.57	0.15		B	
V6	07.64	0.23		F	
V7	08.21	0.21		D	
V8	08.16	0.16		D	
V9	08.19	0.20		D	
V10	07.60	0.23		F	
V11	08.81	0.18		A	
V12	08.38	0.17		C	
Interactions			0.0000		
V1-E1	08.67	0.40		EFGHI	
V1-E2	07.32	0.21		OP	
V1-E3	08.91	0.14		DEFG	
V1-E4	06.35	0.31		S	
V2-E1	10.21	0.09		A	
V2-E2	08.28	0.16		IJKL	
V2-E3	05.79	0.15		U	
V2-E4	05.21	0.32		V	
V3-E1	10.17	0.29		A	
V3-E2	07.64	0.17		MNO	
V3-E3	08.39	0.22		HIJK	
V3-E4	05.89	0.08		TU	
V4-E1	09.62	0.11		B	
V4-E2	06.92	0.19		QR	
V4-E3	09.05	0.10		CDEF	
V4-E4	06.51	0.09		S	
V5-E1	09.39	0.21		BC	
V5-E2	07.87	0.13		LMN	
V5-E3	09.15	0.18		CDE	
V5-E4	07.86	0.15		LMN	
V6-E1	08.87	0.33		EFGH	
V6-E2	06.62	0.34		RS	

V6-E3	08.83	0.16		EFGH	
V6-E4	06.22	0.12		ST	
V7-E1	08.53	0.07		GHIJ	
V7-E2	08.00	0.10		KLM	
V7-E3	08.62	0.34		FGHI	
V7-E4	07.69	0.26		MNO	
V8-E1	08.86	0.04		EFGH	
V8-E2	06.23	0.03		ST	
V8-E3	09.33	0.10		BCD	
V8-E4	08.21	0.24		IJKL	
V9-E1	08.44	0.06		GHIJK	
V9-E2	07.35	0.40		OP	
V9-E3	08.50	0.10		GHIJ	
V9-E4	08.48	0.14		GHIJK	
V10-E1	07.81	0.20		LMN	
V10-E2	06.59	0.47		RS	
V10-E3	08.10	0.02		JKLM	
V10-E4	07.89	0.16		LMN	
V11-E1	10.27	0.15		A	
V11-E2	07.48	0.09		NOP	
V11-E3	09.12	0.27		CDE	
V11-E4	08.36	0.19		HIJK	
V12-E1	09.35	0.02		BCD	
V12-E2	07.11	0.09		PQ	
V12-E3	08.80	0.16		EFGH	
V12-E4	08.26	0.18		IJKL	

Tableau 14: Gluten sec

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		
E1	16.86	0.20		A	11.93
E2	10.62	0.24		C	
E3	12.95	0.18		B	
E4	07.31	0.25		D	

Génotypes			0.0000	
V1	11.49	0.19		D
V2	11.90	0.21		C
V3	12.32	0.34		B
V4	12.27	0.12		B
V5	12.86	0.14		A
V6	11.44	0.31		D
V7	10.27	0.21		E
V8	12.35	0.07		B
V9	12.94	0.26		A
V10	12.06	0.30		C
V11	11.39	0.27		D
V12	11.93	0.06		C
Interactions			0.0000	
V1-E1	14.88	0.30		G
V1-E2	10.09	0.08		Q R S
V1-E3	12.72	0.14		K L M
V1-E4	08.26	0.24		U
V2-E1	17.96	0.24		B
V2-E2	10.07	0.11		Q R S
V2-E3	12.31	0.16		M N
V2-E4	07.25	0.36		W
V3-E1	15.76	0.45		F
V3-E2	10.90	0.42		P
V3-E3	13.65	0.15		I
V3-E4	08.97	0.43		T
V4-E1	17.75	0.22		B C
V4-E2	09.67	0.10		S
V4-E3	14.27	0.06		H
V4-E4	07.39	0.06		W
V5-E1	19.12	0.15		A
V5-E2	12.00	0.07		N
V5-E3	13.25	0.22		J
V5-E4	07.07	0.11		W
V6-E1	16.75	0.36		E
V6-E2	10.47	0.44		Q
V6-E3	12.99	0.36		J K
V6-E4	05.53	0.12		Y
V7-E1	13.79	0.07		I
V7-E2	11.37	0.22		O
V7-E3	11.21	0.09		O P
V7-E4	04.73	0.39		Z
V8-E1	17.27	0.04		D
V8-E2	10.38	0.08		Q R
V8-E3	14.63	0.12		G
V8-E4	07.11	0.07		W
V9-E1	17.45	0.13		C D
V9-E2	12.65	0.07		K L M

V9-E3	12.66	0.29		K L M	
V9-E4	08.99	0.50		T	
V10-E1	17.70	0.05		B C	
V10-E2	09.91	0.39		R S	
V10-E3	12.89	0.40		J K L	
V10-E4	07.75	0.36		V	
V11-E1	16.66	0.23		E	
V11-E2	09.91	0.21		R S	
V11-E3	12.38	0.08		L M N	
V11-E4	06.61	0.17		X	
V12-E1	17.19	0.02		D	
V12-E2	10.04	0.13		Q R S	
V12-E3	12.43	0.02		L M N	
V12-E4	08.07	0.11		U V	

Tableau 15 : Gluten humide

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		39.38
E1	51.75	0.14		A	
E2	34.51	0.09		C	
E3	40.99	0.18		B	
E4	30.26	0.27		D	
Génotypes			0.0000		
V1	36.04	0.08		H	
V2	55.63	0.12		A	
V3	37.85	0.23		E	
V4	37.90	0.18		E	
V5	39.31	0.21		D	
V6	34.78	0.23		I	
V7	37.08	0.09		G	
V8	39.62	0.24		C	
V9	40.41	0.15		B	
V10	39.64	0.16		C	
V11	37.04	0.10		G	
V12	37.23	0.29		F	
Interactions			0.0000		
V1-E1	47.45	0.02		A	
V1-E2	30.51	0.07		S	
V1-E3	40.98	0.03		F	
V1-E4	25.23	0.16		W	
V2-E1	54.12	0.07		D	
V2-E2	35.60	0.08		N	

V2-E3	40.67	0.05		F G	
V2-E4	92.14	0.23		A	
V3-E1	45.94	0.48		B	
V3-E2	35.42	0.05		N	
V3-E3	43.11	0.13		D	
V3-E4	26.92	0.15		U	
V4-E1	52.70	0.11		F	
V4-E2	30.06	0.14		T	
V4-E3	44.66	0.19		C	
V4-E4	24.18	0.29		X	
V5-E1	57.60	0.05		B	
V5-E2	37.17	0.07		L	
V5-E3	40.78	0.43		F G	
V5-E4	21.68	0.16		Z	
V6-E1	49.91	0.10		H	
V6-E2	32.80	0.16		P	
V6-E3	39.79	0.27		H	
V6-E4	16.61	0.38		O	
V7-E1	43.40	0.22		D	
V7-E2	37.72	0.19		K	
V7-E3	36.54	0.02		M	
V7-E4	30.66	0.07		S	
V8-E1	54.40	0.13		D	
V8-E2	35.00	0.07		O	
V8-E3	45.72	0.24		B	
V8-E4	23.36	0.48		Y	
V9-E1	55.30	0.11		C	
V9-E2	40.51	0.08		G	
V9-E3	38.73	0.21		J	
V9-E4	27.10	0.19		U	
V10-E1	55.12	0.01		C	
V10-E2	34.88	0.09		O	
V10-E3	42.48	0.25		E	
V10-E4	26.10	0.19		V	
V11-E1	51.45	0.04		G	
V11-E2	32.41	0.11		Q	
V11-E3	39.19	0.03		I	
V11-E4	25.12	0.21		W	
V12-E1	53.59	0.07		E	
V12-E2	32.10	0.02		R	
V12-E3	39.23	0.04		I	
V12-E4	23.99	0.65		X	

Tableau 16 : Capacité d'hydratation

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne générale
Environnements E1 E2 E3 E4	67.26 69.03 68.05 68.29	1.04 0.62 0.65 5.79	0.0950		68.16
Génotypes V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10 V11 V12	65.98 68.49 67.39 67.90 67.35 67.10 70.36 69.04 67.67 69.85 69.75 67.04	6.51 0.72 0.59 0.58 0.66 0.63 8.02 0.73 0.69 0.75 0.68 0.60	0.0082	B A B A B A B A B A B A A B A B A B A B A B	
Interactions V1-E1 V1-E2 V1-E3 V1-E4 V2-E1 V2-E2 V2-E3 V2-E4 V3-E1 V3-E2 V3-E3 V3-E4 V4-E1 V4-E2 V4-E3 V4-E4 V5-E1 V5-E2 V5-E3 V5-E4 V6-E1 V6-E2 V6-E3	68.64 66.92 68.59 59.76 66.81 69.94 69.73 67.50 65.37 69.22 68.33 66.65 66.31 67.83 68.02 69.43 66.80 67.71 67.50 67.38 66.43 68.07 67.51	0.77 0.68 0.68 14.49 0.82 0.72 0.97 0.67 0.63 0.67 0.81 0.46 0.61 0.54 0.66 0.78 0.89 0.57 0.67 0.79 0.72 0.63 0.67	0.0614		

V6-E4	66.38	0.79		
V7-E1	66.72	0.46		
V7-E2	69.85	0.79		
V7-E3	69.32	0.62		
V7-E4	75.57	17.59		
V8-E1	68.25	0.26		
V8-E2	70.34	0.56		
V8-E3	68.00	0.67		
V8-E4	69.56	1.06		
V9-E1	68.44	0.46		
V9-E2	68.77	0.86		
V9-E3	66.66	0.60		
V9-E4	66.82	0.87		
V10-E1	67.88	0.36		
V10-E2	71.58	1.04		
V10-E3	69.55	1.06		
V10-E4	70.38	0.54		
V11-E1	67.61	10.16		
V11-E2	69.42	0.31		
V11-E3	68.28	0.74		
V11-E4	73.68	0.94		
V12-E1	67.92	0.15		
V12-E2	68.72	5.86		
V12-E3	65.15	0.59		
V12-E4	66.36	0.67		

Tableau 17 : Gluten index

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		
E1	32.67	0.36		D	40.41
E2	46.47	0.43		B	
E3	34.15	0.41		C	
E4	48.35	4.29		A	

Génotypes			0.0000	
V1	20.09	0.39		H
V2	36.42	0.41		E F
V3	37.15	0.37		E
V4	34.48	0.36		F
V5	30.25	0.41		G
V6	08.23	0.36		I
V7	63.01	0.64		C
V8	65.82	0.47		B
V9	34.44	0.37		F
V10	68.00	0.33		A
V11	55.92	7.56		D
V12	31.10	0.51		G
Interactions			0.0000	
V1-E1	07.31	0.43		T
V1-E2	44.92	0.51		I
V1-E3	10.00	0.43		ST
V1-E4	18.14	0.39		PQ
V2-E1	30.28	0.49		LMN
V2-E2	58.16	0.56		F
V2-E3	32.00	0.43		KLM
V2-E4	25.24	0.34		NO
V3-E1	14.39	0.34		QRS
V3-E2	62.91	0.25		E F
V3-E3	30.36	0.33		LMN
V3-E4	40.96	0.63		I
V4-E1	15.04	0.47		QR
V4-E2	17.01	0.43		QR
V4-E3	18.84	0.11		PQ
V4-E4	87.03	0.49		A
V5-E1	27.52	0.26		MN
V5-E2	36.67	0.31		JK
V5-E3	23.14	0.35		O
V5-E4	33.67	0.73		JKL
V6-E1	12.52	0.47		RS
V6-E2	15.24	0.27		QR
V6-E3	03.04	0.43		U
V6-E4	02.10	0.43		U
V7-E1	58.90	0.25		F
V7-E2	82.46	0.81		B
V7-E3	66.25	0.70		E
V7-E4	44.43	0.89		I
V8-E1	50.72	0.14		H
V8-E2	79.66	0.36		BC
V8-E3	54.43	0.53		G
V8-E4	78.48	0.77		BC
V9-E1	14.57	0.47		QRS
V9-E2	33.52	0.56		JKL

V9-E3	16.66	0.13		QR	
V9-E4	73.02	0.47		D	
V10-E1	62.80	0.40		E F	
V10-E2	69.94	0.33		D	
V10-E3	62.00	0.56		E F	
V10-E4	77.25	0.33		C	
V11-E1	61.73	0.51		E F	
V11-E2	28.41	0.19		LMN	
V11-E3	70.80	0.78		D	
V11-E4	62.74	16.87		E F	
V12-E1	36.26	0.08		JK	
V12-E2	28.72	0.30		LMN	
V12-E3	22.28	0.40		OP	
V12-E4	37.16	0.51		J	

Tableau 18 : Protéines des grains

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Proba	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		14.39
E1	18.51	0.29		A	
E2	13.43	0.37		C	
E3	15.09	0.39		B	
E4	10.52	0.11		D	
Génotypes			0.0000		
V1	14.62	0.08		B C D	
V2	14.71	0.17		A B C	
V3	14.96	0.49		A B	
V4	15.02	0.31		A	
V5	14.92	0.15		A B	
V6	13.92	0.43		F G	
V7	13.07	0.42		H	
V8	14.66	0.47		B C D	
V9	14.51	0.07		C D	
V10	14.35	0.44		D E	
V11	13.73	0.19		G	
V12	14.16	0.15		E F	
Interactions			0.0000		
V1-E1	20.76	0.04		A	
V1-E2	11.81	0.08		P	
V1-E3	14.92	0.12		H I J K	
V1-E4	10.98	0.07		Q	
V2-E1	19.74	0.12		B C	
V2-E2	13.06	0.34		N O	

V2-E3	15.31	0.09		GHI	
V2-E4	10.75	0.04		Q	
V3-E1	19.59	0.38		C	
V3-E2	13.09	0.23		NO	
V3-E3	15.34	1.00		GHI	
V3-E4	11.80	0.02		P	
V4-E1	19.06	0.12		D	
V4-E2	13.25	0.53		MNO	
V4-E3	16.78	0.41		F	
V4-E4	10.99	0.13		Q	
V5-E1	20.22	0.24		B	
V5-E2	13.88	0.20		LM	
V5-E3	15.58	0.13		GH	
V5-E4	10.01	0.07		R	
V6-E1	18.49	0.03		E	
V6-E2	12.68	0.04		O	
V6-E3	14.62	0.95		IJK	
V6-E4	09.91	0.04		R	
V7-E1	15.19	0.02		GHIJ	
V7-E2	14.40	0.89		JKL	
V7-E3	13.58	0.28		MN	
V7-E4	09.10	0.04		S	
V8-E1	17.80	0.01		E	
V8-E2	14.40	0.89		JKL	
V8-E3	15.92	0.09		G	
V8-E4	10.53	0.36		QR	
V9-E1	17.90	0.51		E	
V9-E2	14.94	0.07		HIJK	
V9-E3	14.29	0.09		KL	
V9-E4	10.93	0.04		Q	
V10-E1	18.31	0.16		E	
V10-E2	13.67	0.17		MN	
V10-E3	14.82	0.41		HIJK	
V10-E4	10.60	0.18		QR	
V11-E1	17.19	0.02		F	
V11-E2	13.08	0.10		NO	
V11-E3	14.69	0.23		IJK	
V11-E4	09.97	0.03		R	
V12-E1	17.82	0.01		E	
V12-E2	12.93	0.01		NO	
V12-E3	15.18	0.03		GHIJ	
V12-E4	10.69	0.07		Q	

Tableau 19 : Protéines des semoules

Facteurs étudiés	Moyenne (%)	Ecart-type	Probab	Groupe homogène	Moyenne Générale (%)
Environnements			0.0000		12.90
E1	17.66	0.91		A	
E2	11.68	0.21		C	
E3	13.43	0.24		B	
E4	08.85	0.27		D	
Génotypes			0.0000		
V1	13.06	0.19		B C	
V2	13.14	0.27		B C	
V3	13.70	0.14		A	
V4	13.09	0.25		B C	
V5	11.96	1.60		E	
V6	12.57	0.12		C D	
V7	12.17	0.22		D E	
V8	13.26	0.29		A B	
V9	13.75	0.19		A	
V10	12.87	0.37		B C	
V11	12.35	0.18		D E	
V12	12.89	0.23		D C	
Interactions			0.0000		
V1-E1	18.98	0.21		A B	
V1-E2	09.56	0.35		N O P	
V1-E3	14.00	0.05		G	
V1-E4	09.72	0.13		N O	
V2-E1	18.60	0.44		A B	
V2-E2	11.85	0.10		K L M	
V2-E3	13.11	0.15		G H I J	
V2-E4	09.01	0.36		O P Q R	
V3-E1	19.50	0.21		A	
V3-E2	11.75	0.09		K L M	
V3-E3	13.78	0.20		G H	
V3-E4	09.77	0.01		N O	
V4-E1	17.45	0.15		C D	
V4-E2	11.01	0.23		L M	
V4-E3	15.31	0.37		F	
V4-E4	08.61	0.31		O P Q R	
V5-E1	16.05	3.54		E F	
V5-E2	12.25	0.32		I J K L	
V5-E3	11.39	0.15		K L M	
V5-E4	08.16	0.32		Q R	
V6-E1	17.95	0.20		B C	
V6-E2	10.61	0.09		M N	
V6-E3	13.42	0.15		G H I	
V6-E4	08.31	0.07		P Q R	

V7-E1	15.60	0.04		F	
V7-E2	13.13	0.12		GHIJ	
V7-E3	12.04	0.36		JKL	
V7-E4	07.90	0.20		R	
V8-E1	17.95	0.02		BC	
V8-E2	12.54	0.13		HIJK	
V8-E3	14.22	0.63		G	
V8-E4	08.34	0.10		PQR	
V9-E1	18.75	0.07		AB	
V9-E2	13.42	0.12		GHI	
V9-E3	13.19	0.31		GHIJ	
V9-E4	09.62	0.22		NO	
V10-E1	17.15	0.21		CD	
V10-E2	11.85	0.26		KLM	
V10-E3	13.10	0.05		GHIJ	
V10-E4	09.38	0.78		OPQ	
V11-E1	16.65	0.12		DE	
V11-E2	11.11	0.45		LM	
V11-E3	13.32	0.11		GHI	
V11-E4	08.32	0.10		PQR	
V12-E1	17.25	0.01		CD	
V12-E2	11.03	0.07		LM	
V12-E3	14.24	0.10		G	
V12-E4	09.04	0.22		OPQR	

APPENDICE C

TABLEAUX DE L'ANALYSE DE LA VARIANCE DES PARAMETRES ETUDIES

1. Hauteur des plants à la floraison

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Probabilité	E.T	C.V
Var. Totale	25478.49	191	133.40				
Var. Facteur 1	17324.07	3	5774.69	3738.69	0.0000		
Var. Facteur 2	2473.98	11	224.91	145.61	0.0000		
Var. Inter F1. 2	5460.43	33	165.47	107.13	0.0000		
Var. Blocs	2.21	3	0.74	0.48	0.7021		
Var. Résiduelle 1	217.79	141	1.54			1.24	1.3%

2. Rendements

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	45098.24	191	236.12				
Var. Facteur 1	21159.24	3	7053.08	55.64	0.0000		
Var. Facteur 2	1533.68	11	139.43	1.10	0.3656		
Var. Inter F1. 2	3194.02	33	96.79	0.76	0.8158		
Var. Blocs	1338.23	3	446.08	3.52	0.0167		
Var. Résiduelle 1	17873.08	141	126.76			11.26	34.3%

3. Poids de mille grains

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Probabilité	E.T	C.V
Var. Totale	17596.37	191	92.13				
Var. Facteur 1	14648.69	3	4882.90	8181.08	0.0000		
Var. Facteur 2	1451.59	11	131.96	221.10	0.0000		
Var. Inter F1. 2	1410.35	33	42.74	71.61	0.0000		
Var. Blocs	1.59	3	0.53	0.89	0.4523		
Var. Résiduelle 1		141	0.60			0.77	2.3 %

4. Moucheture

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Probabilité	E.T	C.V
Var. Totale	630.03	191	3.30				
Var. Facteur 1	346.00	3	115.33	9247.37	0.0000		
Var. Facteur 2	70.51	11	6.41	513.97	0.0000		
Var. Inter F1. 2	211.75	33	6.42	514.49	0.0000		
Var. Blocs	0.01	3	0.00	0.39	0.7604		
Var. Résiduelle 1	1.76	141	0.01			0.11	9.1%

5. Mitadinage

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Probabilité	E.T	C.V
Var. Totale	42776.79	191	223.96				
Var. Facteur 1	29519.87	3	9839.96	165509.38	0.0000		
Var. Facteur 2	3686.05	11	335.10	5636.36	0.0000		
Var. Inter F1. 2	9562.20	33	289.76	4873.86	0.0000		
Var. Blocs	0.27	3	0.09	1.53	0.2071		
Var. Résiduelle 1	8.38	141	0.06			0.24	2.3%

6. Humidité des grains

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Prob	E.T	C.V
Var. Totale	529.94	191	2.77				
Var. Facteur 1	465.34	3	155.11	1042.35	0.0000		
Var. Facteur 2	4.75	11	0.43	2.90	0.0018		
Var. Inter F1. 2	38.48	33	1.17	7.84	0.0000		
Var. Blocs	0.40	3	0.13	0.89	0.4494		
Var. Résiduelle 1	20.98	141	0.15			0.139	3.3 %

7. Humidité des semoules

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	442.67	191	2.32				
Var. Facteur 1	415.21	3	138.40	1968.25	0.0000		
Var. Facteur 2	2.39	11	0.22	3.09	0.0010		
Var. Inter F1. 2	14.93	33	0.45	6.43	0.0000		
Var. Blocs	0.23	3	0.08	1.11	0.3472		
Var. Résiduelle 1	9.91	141	0.07			0.27	2.3 %

8. Taux d'extraction des semoules

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	14023.35	191	73.42				
Var. Facteur 1	5477.68	3	1825.89	192.48	0.0000		
Var. Facteur 2	3814.28	11	346.75	36.55	0.0000		
Var. Inter F1. 2	3354.90	33	101.66	10.72	0.0000		
Var. Blocs	38.94	3	12.98	1.37	0.2540		
Var. Résiduelle 1	1337.55	141	9.49			3.08	5.6%

9. Taux de cendres des grains

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	22.14	191	0.12				
Var. Facteur 1	8.08	3	2.69	353.99	0.0000		
Var. Facteur 2	3.71	11	0.34	44.41	0.0000		
Var. Inter F1. 2	9.27	33	0.28	36.93	0.0000		
Var. Blocs	0.01	3	0.00	0.34	0.7985		
Var. Résiduelle 1	1.07	141	0.01			0.09	4.9 %

10. Taux de cendres des semoules

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	13.97	191	0.07				
Var. Facteur 1	6.66	3	2.22	214.77	0.0000		
Var. Facteur 2	1.42	11	0.13	12.48	0.0000		
Var. Inter F1. 2	4.41	33	0.13	12.94	0.0000		
Var. Blocs	0.03	3	0.01	0.84	0.4789		
Var. Résiduelle 1	1.46	141	0.01			0.10	11.5%

11. Taux de sédimentation (S.D.S)

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	26362.24	191	138.02				
Var. Facteur 1	7500.41	3	2500.14	1277.21	0.0000		
Var. Facteur 2	12826.87	11	1166.08	595.70	0.0000		
Var. Inter F1. 2	5742.46	33	174.01	88.90	0.0000		
Var. Blocs	16.49	3	5.50	2.81	0.0412		
Var. Résiduelle 1	276.01	141	1.96			1.40	3.2%

12. Indice de Jaune

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	660.71	191	3.46				
Var. Facteur 1	55.18	3	18.39	131.13	0.0000		
Var. Facteur 2	405.91	11	36.90	263.07	0.0000		
Var. Inter F1. 2	179.22	33	5.43	38.72	0.0000		
Var. Blocs	0.62	3	0.21	1.47	0.2226		
Var. Résiduelle 1	19.78	141	0.14			0.37	1.8%

13. Indice de Brun

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	279.89	191	1.47				
Var. Facteur 1	132.75	3	44.25	935.25	0.0000		
Var. Facteur 2	30.39	11	2.76	58.40	0.0000		
Var. Inter F1. 2	108.72	33	3.29	69.63	0.0000		
Var. Blocs	1.36	3	0.45	9.57	0.0000		
Var. Résiduelle 1	6.67	141	0.05			0.22	2.7%

14. Gluten sec

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	2569.35	191	13.45				
Var. Facteur 1	2320.98	3	773.66	11985.75	0.0000		
Var. Facteur 2	93.01	11	8.46	130.99	0.0000		
Var. Inter F1. 2	145.54	33	4.41	68.32	0.0000		
Var. Blocs	0.73	3	0.24	3.76	0.0124		
Var. Résiduelle 1	9.10	141	0.06			0.25	2.1%

15. Gluten humide

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	31340.61	191	164.09				
Var. Facteur 1	12597.64	3	4199.21	96176.92	0.0000		
Var. Facteur 2	5081.38	11	461.94	10580.15	0.0000		
Var. Inter F1. 2	13654.64	33	413.78	9476.96	0.0000		
Var. Blocs	0.79	3	0.26	5.99	0.0008		
Var. Résiduelle 1	6.16	141	0.04			0.21	0.5%

16. Capacité d'hydratation

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	2700.09	191	14.14				
Var. Facteur 1	76.19	3	25.40	2.15	0.0950		
Var. Facteur 2	317.03	11	28.82	2.44	0.0082		
Var. Inter F1. 2	576.80	33	17.48	1.48	0.0614		
Var. Blocs	65.22	3	21.74	1.84	0.1407		
Var. Résiduelle 1	1664.85	141	11.81			3.44	5.0%

17. Gluten Index

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	110150.18	191	576.70				
Var. Facteur 1	9546.15	3	3182.05	505.40	0.0000		
Var. Facteur 2	62303.88	11	5663.99	899.61	0.0000		
Var. Inter F1. 2	37386.08	33	1132.91	179.94	0.0000		
Var. Blocs	26.33	3	8.78	1.39	0.2461		
Var. Résiduelle 1	887.74	141	6.30			2.51	6.2%

18. Protéines des grains

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	1801.84	191	9.43				
Var. Facteur 1	1598.87	3	532.96	4098.04	0.0000		
Var. Facteur 2	59.23	11	5.38	41.41	0.0000		
Var. Inter F1. 2	124.66	33	3.78	29.05	0.0000		
Var. Blocs	0.75	3	0.25	1.92	0.1273		
Var. Résiduelle 1	18.34	141	0.13			0.36	2.5%

19. Protéines des semoules

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba	E.T	C.V
Var. Totale	2191.02	191	11.47				
Var. Facteur 1	1959.29	3	653.10	1943.56	0.0000		
Var. Facteur 2	55.11	11	5.01	14.91	0.0000		
Var. Inter F1. 2	125.96	33	3.82	11.36	0.0000		
Var. Blocs	3.28	3	1.09	3.25	0.0235		
Var. Résiduelle 1	47.38	141	0.34			0.58	4.5%

APPENDICE D

TABLEAUX DE LA SYNTHÈSE DES RESULTATS

1- Hauteur des plants à la floraison

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	78,00	82,00	78,00	70,00	73,00	80,00	82,00	85,00	95,00	90,00	81,00	80,00
Oued-Smar	118.75	118.75	114.75	108.00	95.50	103.75	93.75	95.00	118.25	96.25	95.00	118.75
Khroub	95.00	90.00	100.00	90.00	97.00	95.00	95.00	100.00	98.00	95.00	90.00	96.00
Sétif	90.00	85.00	100.00	95.00	90.00	95.00	85.00	100.00	95.00	90.00	92.50	100.00

Indice synthétique

Norme	>95	70-95	<70
Note	40	50	20

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Oued-Smar	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	40
Khroub	50	50	40	50	40	50	50	40	40	50	50	40
Sétif	50	50	40	50	50	50	50	40	50	50	50	40

2- Rendement

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	19,51	19,08	19.49	19.12	21.15	20.50	30.43	34,62	32,87	29,67	30,79	25,58
Oued-Smar	23.33	30.00	38.75	19.16	38.75	36.67	24.16	34.92	37.50	34.58	27.08	22.44
Khroub	26.15	24.03	25.79	20.42	21.30	24.66	27.65	23.30	26.25	28.54	26.20	25.30
Sétif	43.56	49.53	49.64	54.45	54.89	48.16	54.24	54.11	49.47	47.42	54.89	47.04

4- Moucheture

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
Oued-Smar	3.35	5.85	2.70	0.00	3.20	5.40	4.10	1.45	3.14	3.40	5.76	1.40
Khroub	0.00	1.30	0.35	0.00	0.30	0.05	3.80	0.05	3.05	3.60	0.85	4.70
Sétif	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.15	0.00	0.60

Indice synthétique

Norme	0	0- 1	>1 et < 4	> 5
Note	80	40	30	0

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	80	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80
Oued-Smar	30	0	30	80	30	0	0	30	30	30	0	30
Khroub	80	30	40	80	40	40	30	40	30	30	40	30
Sétif	80	80	40	80	80	80	40	80	80	40	80	40

5- Mitadinage

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	0,53	0,08	0	0,08	0,16	0,75	1,91	0,08	0,41	0,75	1,08	0
Oued-Smar	13.08	1.66	8.00	16.66	1.00	13.50	1.33	0.50	0.41	14.83	1.50	6.00
Khroub	0.83	33.66	0.66	0.08	1.66	0.00	1.00	0.33	1.41	1.41	0.75	0.08
Sétif	22.00	41.16	20.41	27.83	38.00	56.66	44.33	25.25	13.16	33.16	41.91	16.66

7- Humidité des semoules

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	10.65	10.40	10.60	10.45	10.60	10.45	10.70	10.85	10.65	10.75	10.60	11.00
Oued-Smar	14.80	14.05	14.75	14.20	14.20	14.05	13.85	14.30	13.85	14.35	14.25	14.35
Khroub	10.70	11.75	11.40	10.90	11.00	10.50	10.40	11.20	11.70	10.80	10.70	10.80
Sétif	10.45	11.00	10.85	10.70	11.00	11.55	11.30	11.14	11.10	11.00	10.85	10.80

Norme	14,0-17	<14	>17
Note	50	20	0

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Oued-Smar	50	50	50	50	50	50	20	50	20	50	50	50
Khroub	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Sétif	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Indice synthétique

8- Taux d'extraction de la semoule

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	38.83	55.50	26.52	38.22	42.43	39.58	51.33	47.33	52.24	58.20	55.06	54.04
Oued-Smar	58.50	63.28	50.61	56.42	51.42	57.50	53.99	48.85	59.10	64.50	55.32	57.25
Khroub	56.66	56.00	54.00	58.33	54.00	55.00	56.00	51.60	58.30	60.20	57.00	60.60

Sétif	61.93	64.37	62.40	59.62	43.66	53.66	64.83	62.85	65.70	66.90	64.82	64.52
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Indice synthétique

Norme	>60	40-60	30-40	<30
Note	100	80	20	10

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	20	80	10	20	80	20	80	80	80	80	80	80
Oued-Smar	80	100	80	80	80	80	80	80	80	100	80	80
Khroub	80	80	80	80	80	80	80	80	80	100	80	100
Sétif	100	100	100	80	80	80	100	100	100	100	100	100

9- Cendres des grains

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	01.23	01.97	02.08	01.92	01.55	01.42	01.59	01.33	01.35	01.13	01.39	01.28
Oued-Smar	01.96	01.64	01.96	01.98	01.99	02.05	2.00	02.01	01.09	01.97	02.09	01.89
Khroub	01.52	01.41	01.74	01.52	01.81	02.01	2.07	02.00	01.99	01.99	01.82	01.89
Sétif	01.45	01.73	01.61	01.55	01.42	01.59	01.33	01.35	01.13	01.39	01.28	01.32

Norme	0 - 0,5	0,5 - 1	1- 1,5	1,5 et +
Note	50	30	20	0

Indice synthétique

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	20	30	0	0	0	20	0	20	20	20	20	20
Oued-Smar	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Khroub	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sétif	20	0	0	0	20	0	20	20	20	20	20	20

10- Cendres des semoules

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	0.93	1.40	1.47	1.07	1.12	1.14	1.29	1.03	0.92	0.94	1.05	1.01
Oued-Smar	0.88	0.99	1.15	0.88	0.61	1.38	1.05	1.12	0.96	0.95	1.13	0.79
Khroub	0.94	0.74	0.88	0.78	0.83	1.02	0.11	1.02	0.85	0.94	0.90	0.86
Sétif	0.63	0.61	0.63	0.60	0.65	0.67	0.58	0.53	0.60	0.67	0.62	0.64

Indice synthétique

Norme	0 à 0,5	>0,5 et <1,10	>1,10
Note	50	30	0

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	30	0	0	30	0	0	0	30	30	30	30	30
Oued-Smar	30	30	0	30	30	0,00	30	0	30	30	0	30
Khroub	30	30	30	30	30	30	50	30	30	30	30	30
Sétif	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

11- Volume de sédimentation SDS

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	36.50	45.50	50.00	41.50	41.50	38.50	58.00	59.00	50.00	70.00	68.50	44.00
Oued-Smar	30.00	42.00	32.00	22.00	27.00	27.00	43.00	25.00	30.00	50.00	40.00	36.50
Khroub	30.00	68.00	49.00	40.75	37.00	35.00	46.50	53.00	48.25	61.50	59.00	38.00
Sétif	37.00	42.00	47.50	55.50	35.50	28.50	52.50	51.50	50.00	54.00	53.50	34.00

13- Indice de brun

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	08.67	10.21	10.17	05.89	09.39	08.87	08.53	08.86	08.44	07.81	10.27	09.35
Oued-Smar	07.32	08.28	07.64	06.92	07.87	06.62	08.00	06.23	07.35	06.59	07.48	07.11
Khroub	08.91	05.79	08.39	09.05	09.15	08.83	08.62	09.33	08.50	08.10	09.12	08.80
Sétif	06.35	05.21	05.89	06.51	07.86	06.22	07.69	08.21	08.48	07.89	08.36	08.26

Indice synthétique

Norme	< 18	18- 21	> 21
Note	80	40	10

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Oued-Smar	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Khroub	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Sétif	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

14- Gluten sec

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	14.88	17.96	15.76	17.75	19.12	16.75	13.79	17.27	17.45	17.70	16.66	17.19
Oued-Smar	10.09	10.07	10.90	09.67	12.00	10.47	11.37	10.38	12.65	09.91	09.91	10.04
Khroub	12.72	12.31	13.65	14.27	13.25	12.99	11.21	14.63	12.66	12.89	12.38	12.43
Sétif	08.26	07.25	08.97	07.39	07.07	05.53	04.73	07.11	08.99	07.75	06.61	08.07

16- Capacité d'hydratation

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	68.64	66.81	65.37	66.31	66.80	66.43	66.72	68.25	68.44	67.88	67.61	67.92
Oued-Smar	66.92	69.94	69.22	67.83	67.71	68.07	69.85	70.34	68.77	71.58	69.42	68.72
Khroub	68.59	69.73	68.33	68.02	67.50	67.51	69.32	68.00	66.66	69.55	68.28	65.15
Sétif	59.76	67.50	68.33	69.43	67.38	66.38	75.57	69.56	66.82	70.38	73.68	66.36

Norme	66- 69	50 - 65	<65 et >69
Note	80	40	10

Indice synthétique

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Oued-Smar	80	80	80	80	80	80	80	10	80	10	80	80
Khroub	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	40
Sétif	40	80	80	80	80	80	10	80	80	10	10	80

17- Gluten index

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	07.31	30.28	14.39	15.04	27.52	12.52	58.90	50.72	14.57	62.80	61.73	36.26
Oued-Smar	44.92	58.16	62.91	17.01	36.67	15.24	82.46	79.66	33.52	69.94	28.41	28.72
Khroub	10.00	32.00	30.36	18.84	23.14	03.04	66.25	54.43	16.66	62.00	70.80	22.28
Sétif	18.14	25.24	40.96	87.03	33.67	02.10	44.43	78.48	73.02	77.25	62.74	37.16

Indice synthétique	Norme				66 à 85				40- 65				30 - 39				>85 et <30								
	Note				80				60				30				10								
Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tiaret	10	30	10	10	10	10	60	60	10	60	60	30	60	60	60	10	30	10,00	80	80	30	80	10	10	
Oued-Smar	10	30	30	10	10	10	80	60	10	60	80	10	10	30	30	10	10	10	80	60	10	60	80	10	
Khroub	10	10	60	10	30	10	60	80	80	80	80	60	30	10	10	60	10	30	10	60	80	80	80	60	30
Sétif																									

18- Protéines des grains

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	20,76	19,74	19.59	19,06	20,22	18,49	15,19	17,8	17,8	18,31	13,08	17,82
Oued-Smar	11.81	13.06	13.09	13.25	13.88	12.68	14.40	14.40	14.94	13.67	13.08	12.93
Khroub	14.92	15.31	15.34	16.78	15.58	14.62	13.58	15.92	14.29	14.82	14.69	15.18
Sétif	10.98	10.75	11.80	10.99	10.01	09.91	09.10	10.53	10.93	10.60	09.97	10.69

Norme	>18	14 à 17,99	10 à 13,99	<10
Note	100	80	40	10

Indice synthétique

Variétés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiaret	100	100	100	100	100	100	80	80	80	100	40	80
Oued-Smar	40	40	40	40	40	40,00	80	80	80	40	40	40
Khroub	80	80	80	80	80	80	40	80	80	80	80	80
Sétif	40	40	40	40	40	10	10	40	40	40	10	40

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Jouve A.M., Belghazi S., Kheffache Y., « Filière des céréales dans les pays du Maghreb : constante des enjeux politiques. Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000 », Options Méditerranéennes, série B / N° 14, 1995, pp : 169-192.
2. Malki M. et Redjel N., « Produire du blé dur et / ou conserver l'écosystème ? Standardisation des politiques, comportement des agriculteurs et dégradation de l'écosystème », Symposium Blé 2000 : Enjeux et stratégies. Alger 7-9 février, 2000, pp: 39-47.
3. Chahat F., « Impact des réformes économiques sur la céréaliculture algérienne» Options Méditerranéennes, Sér. B / N°8, INA, Algérie, 1994, pp: 105-115.
4. Ministère de l'agriculture et du développement rural, « Statistiques agricoles, superficies et productions », Série B. Ed. Direction des statistiques et systèmes d'informations, 2001-2007, Algérie.
5. Hazmoune T., « Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie. Perspectives », Option Méditerranéennes, 1995, pp: 291-294.
6. Allaya M. et Rucheton G., « Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne: situations et perspectives », Chap2 : L'approvisionnement céréalier des pays méditerranéens. Agri.Med. Rapport annuel du CIHEAM, Paris, 2006, pp: 35-47.
7. Kellou R., « Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop », Master of science, N°93, 2008, 168 p.

8. Bonjean A. et Picard E., « Les céréales à paille. Origine - histoire - économie - sélection », Ligugé, Poitiers AUBIN imprimeur, 1991.
9. Feillet P., « Le grain de blé. Composition et utilisation », INRA, Paris, 2000, 308 p.
10. Wadley G. et Martin A., « The origins of agriculture. A biological perspective and new hypothesis », *Australien Biologist.*, 6, 1993, pp : 96-105.
11. Bozzini A., « Origin, distribution, and production of durum wheat in the world » Dans Fabriani G. et Lintas. C., éd. *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota), Etats-Unis, 1988, pp: 1-16.
12. Feldman M., « Origin of Cultivated Wheat » Dans Bonjean A.P. et Angus W.J., éd. *The World Wheat Book: a history of breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, 2001, pp: 3-58.
13. Henry Y. et De Buyser J., « L'origine des blés », *Pour la science*, Hors - série N°26, 2000, janvier, pp: 60-62.
14. Bataillon T., Chantret N., Cenci A., Gautier M.F, Joudrier R P., Haudry A., Muller M.H., Poncet CH., Prosperi J.M., Ronfort J., Roumet P., Santoni S., Thuillet A.C., David J., « Impact d'évènements démographiques et sélectifs sur la diversité des plantes cultivées : apports de l'analyse du polymorphisme allié à la théorie de la coalescence », *Art original. Ed. Les Actes du BRG.*, 6, 2006, pp: 243-247.
15. Bonjean A., « L'Histoire des blés des Limagnes d'Auvergne », ed. *Limagrain*, 2000, 98 p.
16. Gallais A. et Bannerot H., « Amélioration des espèces végétales cultivées objectifs et critères de sélection », ed. INRA, Paris, 1992, 768 p.

17. Talbert L. E., Blake N. K., Storlie E. W et Lavin M., « Variability in wheat based on low copy DNA sequence comparisons », *Genome*, 1995, 38, pp: 951-957.
18. Khlestkina E. K et Salina E.A., « Genome-specific markers of tetraploid wheats and their putative diploid progenitor species », *Plant Breeding*, 120, 2001, pp: 227-232.
19. Wang G.Z., Miyashita N.T. et Tsunewaki K., « Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops* : PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCP) analyses of organellar DNA », *PNAS*, 94, N° 26, 1997, pp: 14570-14577.
20. Godon B., « Biotransformation des produits céréaliers », ed. Tec & Doc, Lavoisier, APRIA, Paris, 1991, 221 p.
21. Godon B. et Willm C., « Les Industries de Première Transformation des Céréales », ed. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 1991, 679 p.
22. Godon B., « La composition physicochimique des céréales : un atout pour leur utilisation » In : Utilisation industrielle non alimentaire du blé et du maïs, Symposium International, ed. APRIA, Paris, 1986, pp: 5-34.
23. Elias E. M., « Durum wheat products», Crop and weed sciences department, Options Mediterranean's, North Dakota State University. Fargo. USA, Zaragoza (ESP), N°22, 1995, pp: 23-31.
24. Namoune H. et Kezih R., « Utilisation du blé dur en Algérie et Méthodes d'évaluation de la qualité », Symposium Blé : enjeux et stratégies / Alger 7-9 février, 2000 pp: 341-345.
25. Benbelkacem A., Sadli F., Brinis L., « La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie », Options Méditerranéennes Série A / N°22, Zaragoza (ESP). Institut des sciences biologiques, Université d'Annaba, Algérie, 1995, pp: 61-65.

26. Mebtouche K., « Caractérisation technologique de quelques lignées de blé dur »
In : Céréaliculture N°32. Revue technique et scientifique de l' ITGC. Alger, 1998,
pp: 27-33.
27. Porceddu E., « Durum wheat quality in the Mediterranean Countries », Options
Méditerranéennes, Série A: N°22, Zaragoza (ESP), University of Tuscia. Dept.
of Agrobiological and Agrochemistry, Viterbo, Italy, 1995, pp: 11-21.
28. Trentesaux E., « Evaluation de la qualité du blé dur », Options Médit., Zaragoza
(ESP), N°22, 1995, pp: 53-59.
29. Bajji M., « Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé
dur : caractérisation de cultivars différents par leurs niveaux de résistance à la
sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro », Thèse de doct.,
faculté des sciences, université catholique de Louvain, 1999.
30. Amokrane A., « Evaluation et utilisations de trois sources de Germoplasme de
blé dur (*Triticum durum Desf*) », Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, Univ.
Colonel El- Hadj Lakhdar, Batna, 200, 80 p.
31. Bencharif J.L. et Rastoin J., « Concepts et méthodes de l'analyse de Filières
Agroalimentaires : Application par la chaîne globale de valeur au cas des Blés
en Algérie », UMR MOISA, Montpellier, N°7, 2007, 24p.
32. Faostat, « Division de la statistique », OAA. Octobre 2006.
33. Srivastava J. P., « Durum wheat : its world status and potential and the Middle
East and North Africa », Rachis, 1984, 3, pp: 1-8.
34. Rapport annuel du Conseil International des Céréales « CIC », 2002 pour
l'année 2000.

35. Nachit M.M., Baum M., Impiglia H., Ketata H., « Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments », Options Méditerranéennes, Zaragoza (ESP), N° 22, 1995, pp: 181-187.
36. Le bulletin bimensuel du CIC., « Blé dur: situation en 2007-2008 et Perspectives », vol. 20, N°18, 05 décembre 2007, pp: 1- 4.
37. Le bulletin bimensuel du CIC., « Le blé dur en Afrique du Nord », vol.13, N°11, 23 juin 2000, pp: 1- 4.
38. Ben Salem M., Daaloul A., Ayadi A., « Le blé dur en Tunisie », Options Méditerranéennes, Série A / N°22, Zaragoza (ESP), 1995, pp: 81-91.
39. MARA, « Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement », Rapport général de la commission nationale consultative sur l'agriculture, 1992, 292 p.
40. Aïdaoui A. et Hartani T., « Gestion de l'irrigation du blé dur par des indicateurs de l'état hydrique », Options Méditerranéennes, Série A. Zaragoza, (INA), El-Harrach, Algérie, 2000, pp: 579 - 589.
41. Benbelkacem A. et Kellou K., « Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L.var.durum) cultivées en Algérie », Options Méditerranéennes, 2000, pp: 105 -110.
42. Laumont P. et Erroux J., « Inventaires des blés durs rencontrés en Algérie », Mém. de la soc. d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, N°5, 1961, 96 p.
43. Tutwiler R.N., « Discovering the quality incentive for increasing durum production in West Asia and North Africa » in: Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. Options Méditerranéennes, Série A, N° 22, Zaragoza, (Esp), 1995, pp: 203-212.

44. Kezih R., « Galettes de blé dur : Mise au point de méthodes de fabrication et d'évaluation de la qualité », Thèse de Magister, INATAA, Univ. Constantine, Algérie, 1998.
45. Abbaz C. et Abdelaziz N., « Identification de produits à base de semoule et étude d'une pâte traditionnelle : Chakhchoukha », Mém. Ing. INATAA, Univ. Mentouri, Constantine, Algérie, 1999.
46. Gate PH. , « Ecophysiologie du blé », ed. Tec & doc, LAVOISIER, Paris, 1995, 429 p.
47. Evans L.T., Warlaw I.F and Fisherr A., « Wheat in crop Physiology », ed. Cambridge university Press, 1975, pp: 101-109.
48. Masle J., « Mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle », Agronomie, 1, 1982, pp: 623-632.
49. Gate PH., « Détermination des stades de développement des céréales à paille », Document I.T.C.F., 1987, 25 p.
50. Barbotin A., « Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des géotypes : Pertinence de l'utilisation d'azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre », Thèse de Doctorat INA, Paris Grignon, 2004, 237 p.
51. Triboi E., « Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* en tell) », Agronomie, 10, 1990, pp: 191-200.
52. Singh B.K. et Jenner C.F., « Association between concentration of organic nutrient in the grain, endosperm cell number and grain dry weight with the ear of wheat », Aus. J. Plant Phy., 10, 1982, pp: 227-236.
53. Grignac P., « Contribution à l'étude de blé dur (*Triticum durum.Desf*) », Thèse d'état. Fac. SC. Univ., Toulouse, 1964, 152 p.

54. Lelièvre F. et Nolot J. M., « Evolution de la matière sèche des grains autour du palier hydrique chez trois variétés de blé dur et tendre », CR. Acad. Agric., 63, 1977, pp: 13-20.
55. Aggoun A., Benmahammed K., Dekhili M., « Effets des facteurs environnementaux sur le poids des grains dans cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) », ed. J. Libbey Eurotext, cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures, Vol.15, N°5, France, Septembre- Octobre 2006, pp : 425-431.
56. Smadhi D. et Mouhouche B., « Etude comparée de l'évapotranspiration et des besoins en eau des cultures céréalières de trois étages bioclimatiques », Symposium Blé 2000 : Enjeux et stratégies/ Alger 7-9 février, 2000, pp: 239-246.
57. Jussiaux C., « Cours d'agriculture moderne », ed. La maison rustique, Paris, 9^{ème} ed, 1980, pp: 84-90.
58. Zouaoui A. et Bensaïd R., « Determination of the climatic requirements of hard wheat (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) in semiarid zone », Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures. Vol.16, N°6, 2007, pp: 469-476.
59. Entz M.H. et Fowler D.B., « Critical stress periods affecting productivity of no-till winter wheat in Western Canada », Agron. J., vol. 80, N°6, 1988, pp: 987-992.
60. Bouzerzour H. et Monneveux P., « Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens », Les Colloques 1992, 64, pp: 205-215.
61. Canterro-Martinez C., Villar J.M., Romagoza I., Fereres E., « Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment », Eur. J. Agron., vol. 4, N°3, 1995, pp: 317-326.

62. Van Oosterom E.J., Acevedo E., « Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh Mediterranean environments », III. Plant ideotype and grain yield. *Euphytica*, 62, 1992, pp: 29-38.
63. Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J., « Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments ». *Euphytica*, 64, 1992, pp: 49-58.
64. Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., « Produire des céréales à paille », Tec & doc. Lavoisier, Paris, 1989, 333 p.
65. Van Oosterom E.J., Ceccarelli S., Peacock J. M., « Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments », *J. Agric. Sci.*, (Cambridge), vol. 121, N°3, 1993, pp: 307-313.
66. Baldy C., « Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en Méditerranée occidentale » Dans : *Tolérance à la Sécheresse des Céréales en Zone Méditerranéenne. Diversité Génétique et Amélioration Variétale*, Montpellier, 1992.
67. Benseddik B. et Benabdelli K., « Impact du risque climatique sur le rendement du Blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique », *Science et changements planétaires / Sécheresse*, Vol.11, N°1, éd. J. Libbey Eurotext, 2000, pp: 45-51.
68. Baldy C., « Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques, leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie », Versailles: INRA. Dép. bioclimatologie / ministère de l'Agriculture, 1974, 152 p.
69. Soltner D., « Les bases de la production, le sol », 14^{ème} édition coll. Sc. et Tec. Agric., Angers, France, 1986, 464 p.
70. Merabet B. A. et Boutiba A., « L'irrigation de complément du blé dur. Influence de la nature du matériel végétal et de la variabilité climatique interannuelle dans

une plaine semi-aride d'Algérie », Science et Technologie C., N°23, 2005, pp: 72-79.

71. Benseddik B., « L'efficience de l'eau en zone semi-aride. Une approche simple pour l'optimisation du rendement et une meilleure gestion de l'eau », Options Méditerranéennes, Zaragoza (ESP), 2000, pp: 583-585.
72. Piot J.C., Gauland J.D., Marthin F et Winder E., « Production végétale des céréales et plantes sarclées », Association Suisse des ingénieurs, Payot. Lausanne, 1987.
73. Prats J., « Les céréales », Tome II, J.B. Baillière et fils, 1971, 351 p.
74. Hebert J., « Techniques nouvelles de production du blé », Document I.T.C.F., 1975, 16 p.
75. Sayoud R., Ezzahiri B., Bouznad Z., « Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb », Guide pratique. Projet Maghrébin sur la surveillance des Maladies et le Développement de Germoplasme Résistant des céréales et des Légumineuses Alimentaire PNUD RAB/91/007, Maroc - Algérie -Tunisie, Trames Ed, Algérie, 1999, 64 p.
76. Daaloul A., « La technologie dans l'agriculture tunisienne : Cas du secteur céréalier », Communication présentée au *Colloque Tuniso - Américain : Une Agriculture Stabilisée pour la Tunisie au XXI Siècle*. Tunis, 1988, pp: 66-77.
77. Bahlouli F., Bouzerzour H. et Benmahammed A., « Effet 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 et Environ., Vol.12, 2008, pp: 31-39.

78. Benbelkacem A., « Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes conditions agro-écologiques », Céréaliculture, N°31, ITGC/ MADR, 1997, pp: 17-22.
79. Vespa R., « Semences des céréales à paille », D. Agro, N°1, Paris, 1984, pp: 14-94.
80. Verrier E., Brabant PH., Gallais A., « Faits et concepts de base en Génétique quantitative. Hérité et milieu », II. INA Paris- Grignon, 2001, 133p.
81. Mackenzie A., Ball A.S. et Virdee S.R., « L'essentiel en écologie » BENTI, Paris, 2000, 363 p.
82. Delourme D., « Génétique », ed. Dunod, Paris, ISBN 2100047523, 1999, 63 p.
83. Monneveux P. et This D., « La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés », Synthèse, ed. INRA, Paris, 1997, pp : 29-36.
84. Gallais A., « Théorie de la sélection en amélioration des plantes », Massou, Paris, 1990, pp: 45-382.
85. Hssissou D., « Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse », Thèse de Doctorat, faculté des sciences, Univ. catholique de Louvain, 1994.
86. Gallais A., « Bases génétiques et stratégie de sélection de l'adaptation générale », Sel Fr., 42, 1992, pp: 59-78.
87. Lefebvre V., Pflieger S., « L'approche gène candidat pour la caractérisation moléculaire et fonctionnelle de locus de résistance aux parasites chez les plantes », Sel Fr., 51, 2000, pp: 31-45.
88. Baldy C., Ruelle P. et Fernandes A., « Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen », Sécheresse, 4, 1993, pp: 85-93.

89. Boufenar - Zeghouane F. et Zaghouane O., « Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) », ITGC-ICARDA. 1^{ère} édition ITGC. Algérie, 2006, 154 p.
90. Hamadou D., « Analyse des résultats de la campagne désherbage au niveau des exploitations adhérentes au PIC (résultats de deux années d'enquêtes 2002- 2003 et 2003-2004) », Céréaliculture, numéro spécial programme d'intensification céréalière, ITGC., Algérie, 2006 , pp: 36-42.
91. Godon B. et Loizel W., « Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales », 2^{ème} édition. Tec & Doc. Lavoisier, 1997, 198 p.
92. Mauze C., Richard M. et Scotti G., « Guide pratique de contrôle de la qualité de blés durs », ITGF., Paris, 1972, 176 p.
93. Afnor, « Céréales et produits céréaliers », Recueil de normes françaises édité par l'AFNOR (1^{ère} ed), 1982, 261 p.
94. Mc Donald C.E., « Sodium dodecyl sulphate test for durum wheat », AACC. Vol. 30, N°9, 1985, pp: 674-677.
95. Axford D.W.E., Mc Dermott E.E., Redman D.G., « Note on the sodium dodecyl sulfate test of beadmking quality ; comparaison with pelshenke and Zeleny tests » In cereal chemistry, 56, 1978, pp: 582-584.
96. Dickl J.W. et Quick J.B., « A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines », Cereal chemistry, 60, 1983, pp: 315-318.
97. Mekliche A., Boukecha D. et Hanifi - Mekliche L., « Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques ». Ann. INA., Vol. 24, N°1 et 2, El-Harrach, 2003.

98. Aïdaoui A., « Etude du déficit hydrique séquentiel sur les rendements, application au cas du sorgho grain. *Sorghum tricol (1) moench* », Thèse de Doctorat en science de l'eau. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Montpellier, France, 1994.
99. Slama A., Bensalem M., Ben Naceur M., Zid A., « Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance », ed. J. Libbey, Art. de rech. Science et changements planétaires / Sécheresse, Vol.16, N°3, juillet-août-septembre 2005, pp: 225-229.
100. Kaul R., Growle W.L., « An index derived from photosynthetic parameters for predicting grain yields of drought stressed wheat cultivars », Z Pflanzler, Zuech, 71, 1974, pp: 42-51.
101. Blum A., « Evidence for genetic variability in drought resistance and its implications for plant breeding » In: drought resistance in crops with emphasis on rice. International rice research institute (Los Banos, Laguna, Philippines), 1982, pp: 53-68.
102. Green D.G. et Read D.W.L., « Water use efficiency of corn, sunflower and wheat with limiting soil moisture », Can .J. plant sci., 63, 1983, pp: 747-749.
103. Turnur N. C., « Drought resistance and adaptation to water deficits in crops Plants » Dans : Stress and Physiology in Crop Plants, Mussel, H. et Staples, R. C. Ed. Wiley Intersciences, New York, 1979, pp: 303-372.
104. Redjeb M.N. et Ben Salem M., « Les divers mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les végétaux supérieurs, cas du blé et du caroubier », Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie, 22, 1993, pp: 49-52.
105. Nachit M. M. et Ketata H., « Breeding strategy for improving durum wheat in Mediterranean rainfed areas », Proceeding of 4 the International Wheat Conference, 2-9, Rabat, Morocco, 1986.

106. Hurd E.A., « Phenotype and drought tolerance in wheat», Agr. Meteorol , 74, 1974, pp: 39-55.
107. Passioura J.B., «The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. », In: Drought resistance in crops, with emphasis on Rice. International rice research institute. Ed. Los Banos, IRRI., Philippines, 1982, pp: 71-82.
108. Keim D.L. et Kronstad W.E., « Drought responses of winter wheat cultivars grown under field stress conditions», Crop. Sci., 21, 1981, pp: 11-15.
109. Morgan J.M. et Condon A.G., « Water use, grain yield and osmoregulation in bread and durum wheats and its relation-ship to grain yield in a range of field environments », Aust. J. Agric. Res., 13, 1986, pp: 523-532.
110. Austin R. B., « Physiological limitations to cereal yields and ways of reducing them by breeding » In: Eds. Hurd R.C., Biscoe P.V. et Dennis C., Opportunities for increasing trop yields. Pitman Advanced Publishing Program. Boston - London, Melbourne, 1979, pp: 3-19.
111. Ben Salem M., Vieira Da Silva J.P., « Etude de quelques aspects de la résistance à la sécheresse du blé. Importance des réserves en glucides totaux dans la formation du grain de blé », Colloque sur les végétaux en milieu aride, Tunisie (Jerba), 8-10 sept, 1986.
112. Benlarbi M., « Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), étude des caractères morphologiques et physiologiques », Thèse de Doctorat. Univ. de Constantine, 1990, 164 p.
113. Ben Salem M. et Vieira Da Silva J. P., « Polymorphisme variétal de résistance à la sécheresse chez les céréales à paille : cas du blé » In: L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. J. Libbey Eurotext, Paris, 1991, pp: 25-34.

114. Gate P., Bouthier A. et Mounier J. L., « La tolérance à la sécheresse, une réalité à valoriser », *Persp. Agric.*, 169, 1992, pp: 62-67.
115. Schoch P., L'hotel J.C., Dauple P., Conus G. et Fabre M.G., « Microvariation de diamètre des tiges pour le pilotage de l'irrigation », *Agronomie*, 9, 1989, pp: 137-142.
116. Passioura J.B., « Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation* », 20, 1977, pp: 79-83.
117. Blum A., « *Plant breeding for stress environments* », Boca Raton, Florida, ed. CRC press, INC, 1988, 223 p.
118. Ben Salem M., « *Etude comparative de la résistance à la sécheresse de quelques variétés de blé* », Thèse Doct. d'Etat, sciences univ. Paris VII, Centre de Jussieu, 1988, 379 p.
119. Ali Dib T. et Monneveux P., « *Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur* », I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agronomie*, 12, 1992, pp: 371-379.
120. Stewart J.I., Mishra R.D et Pruitt N.D., « *Irrigation corn and grain sorghum with a deficit water supply* », *Trans. ASAE*, 18, 1984, pp: 270-279.
121. Araus J. L., Alergre L., Ali Dib T., Benlarbi M., Monneveux P., « *Epidermal and stomatal conductance in seedling of durum wheat landraces and varieties* », Colloque *Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*, Montpellier (France), 3-6 July 1989. Les colloques N°55, Paris, INRA éditions, 1991.
122. Kameli A. et Lösel D.M., « *Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress* », *J. Plant Physiol.*, vol.145, N°3, 1995, pp : 363-366.

123. Sanchez F.J., Manzanares M., De Andres E.F., Tenorio J.L., Ayerbe L., « Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress», *Field Crops Res.*, vol. 59, N°3, 1998, pp: 225 -235.
124. Morgan J. M., « Osmoregulation and water in higher plants », Wheat conference 2-9 May, Rabat, Morocco. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 35, 1984, pp: 299-319.
125. Zhang J., Nguyen HT., Blum A., « Genetic analysis of osmotic adjustment in crops plants », *J. Exp. Bot.*, 50, 1999, pp : 291-302.
126. Slama A., « Etude comparative de la contribution des différentes parties du plan du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en condition de déficit hydrique », Thèse de Doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis, 2002.
127. Slama A., Ben Salem M., ZID A., « La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur ? », Communication aux 15^{ème} journées biologiques, 18-21 mars, forum des sciences biologiques, Association tunisienne des sciences biologiques, 2004.
128. Bouzerzour H., « Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge (*H. vulgare L.*) en zone semi-aride », Thèse de doctorat, ISN. Univ. Constantine, 1998.
129. Boulal H., « Effets des paramètres de la surface foliaire sur le rendement chez le blé, l'orge et le triticales », Mémoire de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknes, 1988, 63 p.
130. El Mourid M., « Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi-arid region», Ph. D. Thesis, Iowa State University, USA, 1988.

131. El Hafid R., El Mourid M., Samir K., Bakoulou B., « Caractérisation de certaines variétés de blé, d'orge et du triticale sous différentes situations hydriques en conditions de champs et simulées », *Al- Awamia*, 92, 1996, pp: 7-25.
132. Erchidi A.E., Benbella M., Talouizte A., « Croissance du grain chez neuf cultivars de blé dur », *Options Méditerranéennes*, Zaragoza (Spain), 2000, pp: 137-140.
133. Badraoui M., Agbani M., Bouabid R., Zerouali M., « Nouvelles normes pour mieux fertiliser le blé en irrigué dans le Gharb », *Bulletin Transfert de Technologie en Agriculture*, MADRPM / DERD, N°84, 2001, pp: 1-4.
134. Jonard P. et Koller J., « Les facteurs de la productivité chez le blé », Résultats obtenus en 1948 et 1949. *Ann. Am. Plant.*, 2, 1950, pp: 256-276.
135. Sletyer RO, «The effect of international water status on plant growth development an yield » In: *Plant response to climatic factors. Proceeding for the UPSALA Symposium*, UNESCO, 1974.
136. DoorembosJ. et Kassam AH., « Réponses des rendements à l'eau », *Bull, FAO d'irrigation et de drainage*, 33, Rome, 1987, pp: 201-209.
137. Larbi A., Mekliche A., Abed R., Badis M., « Effet du déficit hydrique sur la production du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) en region semi-aride », *Options Méditerranéennes*, Série A, Zaragoza (Spain), 2000, pp: 295-297.
138. Debaeke P., Cabelguenne M., Casals M.L., Puech J., « Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées : Epicphase-blé », *Agronomie*, 16, 1996, pp: 25-46.
139. Gate P., Bouthier A., Casabianca H., Deleens E., « Caractères physiologiques dérivant de la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France: interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique

du carbone des grains », Colloque Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier (France), 15-17 décembre 1992. Les colloques, N°64, Paris, INRA éditions, 1993.

140. Bajji M., « Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différents par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro », Thèse de Doctorat, faculté des sciences, université catholique de Louvain, 1999.
141. Arrauveau, M., « Breeding strategies for drought » In: Drought resistance in cereals. Ed. F.W.G. Baker of CAB international, 1989, pp: 107-116.
142. Bidinger F.R., Witcombe J.R., « Evaluation of specific deshydration tolerance traits improvement of drought resistance » In: Drought resistance in cereals. Ed. F.W.G. Baker of CAB international, 1989, pp: 151-164.
143. Sorells ME., Diab A., Nachit M., « Comparative genetics of drought tolerance », Options méditerranéennes, série A (Séminaires méditerranéens), 40, 2000, pp: 191-201.
144. Abbassenne F., Bouzerzour H., et Hachemi L., « Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum Desf.*) en zone semi-aride », Ann. Agron. INA, 18, 1998, pp: 24-36.
145. Nasraoui B., « Choix des variétés » In: Cultures du blé et de l'orge dans les régions semi-arides de la Tunisie. E.S.A.K. 1996, pp: 5-6.
146. Rousset M., « Amélioration des plantes autogames », Agronomie N°9, 1986, pp: 616-619.
147. Simmons S.R. et Crookston R.K., « Rate and duration of growth of kernels formed specific florets in spikiest of spring wheat », Crop science, 19, 1979, pp: 690-693.

148. Whan R.B., Carlton G.P. et Anderson W.K., « Potentiel for increasing rate of grain growth in spring wheat. I. Identification of genetic improvement », *Aust. J. Agri. Res.*, 47, 1996, pp: 17-31.
149. Sofield T., Evans J., Cook M.G et Wardley I.F., « Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat », *Aust. J.Plant Physiol.*, 4, 1977, pp: 785-797.
150. Biddinger F., Muscraver B. et Fischer R.A., « Contribution of stored pre-anthesis assimilates to grain yield in wheat and barley », *Nature*, 20, 1977, pp: 431-433.
151. Fokar M., Nguyen H.T. et Blum A., « Heat tolerance in spring wheat II. Grain filling », *Euphytica*, 104, 1996, pp: 9-15.
152. Wardlaw I.F., « Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling wheat in a controlled environment », *Ann. Bot.*, 90, 2002, pp: 469-476.
153. Triboi E., Plancon J et Magne A J., « Déterminisme du poids moyen du grain chez le blé. Effet sur la variation du rendement », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 71, 1985, pp: 871-886.
154. Blum A. et Pnuel Y., « Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment », *Aust. J. Agric. Res.*, 41, 1996, pp: 799-810.
155. Auriau P., Doussinault G., JAHIER J., Lecomtec., Pierre J., Pluchard P., Rousset M., Saur L., Trottet M., « Le blé tendre » In : Gallais A et Bannerot H. Eds ; Amélioration des espèces végétales cultivées, INRA, 1992, pp: 22-38.
156. Halilat T. et Dogar M.A., « Rôle de la fertilisation azotée et potassique sur blé en zones sahariennes » In: Actes du premier Symposium International sur la filière blé. OAIC. Ed. Alger 7-9 février, 2000, pp: 231-234.
157. Desclaux D., Samson MF., Compan F., Poirier S., Roumet P., Abecassis J., Bonicel J., Morel M.H., Braun P., Caron D., Martinez M., Debaeke P., Mas J.F

- Gorretta N., Roger J.M., « Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin », PSDR « recherches pour et sur le développement régional ». Colloque régional du 21 juin, Campus- Intra. Agro, Montpellier, 2006, pp: 1-4.
158. Abecassis J., « Qualité du blé dur de la semoule et des pâtes alimentaires », Laboratoire de technologie des céréales. Ed. INRA, 1991, pp : 15-18.
159. Grignac P., « Les blés durs. Monographie succincte », An. Am.des plantes, N°20, 1978, pp: 159-188.
160. Matveef M., « Le mitadinage des blés durs, son évaluation et son influence sur le rendement et la valeur semoulière », Bull. de l'EFM, 198, 1963, pp: 299- 306.
161. Lempereur I., Charland M., Abecassis J et Autran J.C., « Valeur semoulière des blés durs (*Triticum durum Desf.*): influence de la taille des grains », Ind. des Céréales, 104, 1997, pp: 3-20.
162. Chaurand M., Lempereur I., Roulland T.M., Autran J.C. et Abecassis J., « Genetic and agronomic effects on semolina milling value of durum wheat », Crop Sci., 39, 1999, pp: 790-795.
163. Abecassis J., « Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés », Ind. Céréales, 81, 1991, pp: 25-37.
164. Sadli F., « Qualité des blés en Algérie: Etat actuel et perspectives », Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies / Alger, 7-9 février 2000, pp: 255-260.
165. Ripetti-Ballester V., Chaurand M., et Roumat P., « Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers », Options Méditerranéennes, série A, 2000, pp: 489-491.
166. Abecassis J. et Feillet P., « Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation », Ind. Céréales, 36, 1985, pp: 13-18.

167. Godon B., « Matières minérales du grain de blé et de la farine », *Bull. Anciens Elèves Ec. Fr.*, Meunerie, 283, janvier- février 1978, pp: 33-46.
168. Ghezlane L., « Etude comparée de la qualité technologique de cinq variétés de blé dur cultivées en Algérie », Thèse de Magister, INA (Alger), 1979.
169. Dexter J.E., Matsuo R.R., Kosmolak F.G., Leisle D., Marchylo B.A., « The suitability of SDS sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat », *Can. J. Plant Sci.*, 60, 1980, pp: 25-29.
170. Cherdouh A., Khelifi D., Carillo J.M et Nieto-Taladriz M.T., « Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs algériens. Relation avec la qualité », Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies / Alger, 7-9 février 2000, pp : 311-314.
171. Williams P., El-Harmein F., Kakkoul H et Rihawi S., « Crop quality evaluation: Methods and guidelines », ICARDA, alep, Syria, 1988,145 p.
172. Irvine G.M. et Winkler C.A., « Factors affecting the color of macaroni. II. Kinetic studies of destruction during mixing », *Cereal. Chem.*, 27, 1950, pp: 205-218.
173. Irvine G.M. et Anderson J.A., « Variation in principal quality factors of durum wheats with a quality prediction test for wheat or semolina», *Cereal. Chem.*, 1953, 30, pp: 334-342.
174. Feillet P., Autran J.C. et Icard-Vernière C., « Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires », Options Méditerranéennes. INRA, Montpellier, 2000, pp: 431-438.
175. Laignelet B., « Oxidation during the mixing of durum wheat semolina», *Sci., Aliment*, 3, 1983, pp. 469.
176. Lee J., Kaltsikes P.J. and Bushuk W., « The inheritance of lipoxidase activity and pigment content in durum wheat », *Theor. Appl. Genet.*, 47,1976, pp: 243-250.

177. Houliaropoulos S., Abecassis J., Autran J.C., « Produits de mouture du blé dur : Coloration et caractéristiques culinaires », *Ind. Céréales*, 2-3, 1981, pp: 13-18.
178. Feillet P., « L'industrie des pâtes alimentaires:Technologie de fabrication, qualité des produits finis des matières premières », *Ind. Aliment. Agric.*, vol.103, N°10, 1986, 979 p.
179. Demarchi F., « La qualité des blés durs et des pâtes alimentaires », Séminaire européen COMETT. 27-29 Janvier. Montpellier, 1994.
180. Feillet P., « Brunissement des pâtes alimentaires de blé dur », Congrès de la Commission Internationale des Ind. Agr. Alim., Athènes, 1974, pp: 1-5.
181. Matsuo B.B. et Irvine G.N., « Macaroni brownness », *Cereal. Chem.*, 44, 1967, pp: 78-85.
182. Grignac P., « Amélioration de la qualité des variétés de blé dur », *Ann. Amélior. Plantes*, 20, 1970, pp:159-188.
183. Feillet P. et Dexter J.E., « Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production » Dans: *Pasta and Noodle Technology*, Kruger, J.E., Matsuo, B.B. et Dick, J.W., éd. AACC, St Paul, Minnesota, 1996, pp: 95-131.
184. Laignelet B., Kobrehel K et Feillet P., « Le problème de la coloration des pâtes alimentaires », *Ind. Agric. Aliment.*, 89, 1972, pp : 413-427.
185. Kobrehel K., Laignelet B. et Feillet P., « Relation entre les activités peroxydasiques et polyphénoloxidasiques des blés durs et le brunissement des pâtes alimentaires », *C .R. Acad. Agric. fr.*, 58, 1972, pp : 1099-1106.
186. Kruger J.E., « Changes in the polyphenol oxidases of wheat during kernel growth and maturation », *Cereal Chem.*, 53, 1976, pp: 201-213.

187. Hatcher D.W. et Kruger J.E., « Distribution of polyphenol oxidases in flour millstreams of Canadian common wheat classes milled to three extraction rates », *Cereal Chem.*, 70, 1993, pp: 51-55.
188. Irvine G.N. et Anderson J.A., « Factors affecting the colour of macaroni IV. Semolina particle size », *Cereal Chem.*, 30, 1952, pp: 334-342.
189. Abrol Y.P. et Uprety D.C., « Studies on darkening of whole wheat dough », *Current Sci.*, 40, 1970, pp: 421- 422.
190. Baik B. K., Czuchajowska Z. et Pomeranz Y., « Comparison of polyphenol oxidase activities in wheats and flours from Australian and U.S. cultivars », *J. Cereal Sci.*, 19, 1994, pp: 291-296.
191. Kobrehel K. et Gautier M.F., « Variability in peroxidase isozymes in wheat and related species », *Can. J. Bot.*, 52,1974, 755 p.
192. Alause J. et Feillet P., « Metodo semplice ed obiettivo per la previsione del colore delle paste alimentari », *Technica Molitoria*, 21,1970, pp: 511-517.
193. Kobrehel K. et Gautier M.F., « Genetic variability in peroxidase composition of wheat » In: *Proc. Symp. Genetics and Breeding of Durum Wheat*, Scarascia Mugnozza, G.T., ed. Univ. di Bari, Bari, Italy, 1973, 527 p.
194. Dexter J.E., Crowle W. L., Matsuo R. R. et Kosmolak F. G., « Effect of nitrogen fertilization on the quality characteristics of five north American amber durum wheat cultivars », *Can. J. Plant Sci.*, 62, 1982, pp: 901-912.
195. Boggini G. et Pogna N.E., « The bread making quality and storage protein composition of Italia durum wheat », *J. Cereal Sci.*, 9, 1989, 131p.
196. Matveef M., « Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires », *Bull. anc. Ed. Fr. meunerie*, 213, 1966, pp: 133-138.

197. Cubbada R. Carcea M. et Pasqui L.A., « Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina », *Cereal Foods World*, Vol. 37, N°12, December 1992, pp: 866-869.
198. Cheftel J-C., Cuq J-L.,Lorient D., « Protéines alimentaires », Tec & Doc-Lavoisier, 1985, 309 p.
199. Sgrulletta D., Alessandrini A., De Stefanis E., « Applicazione tardivadi azoto per un 'efficiente utilizzazione al fine migliorare la qualita finale di varieta di T. durum », *Technica Molitoria*, vol 49, N° 9, 1998, pp: 963-964.
200. Baik B. Paszcynska B. Czuchajowska Z., « Does HWS produce good quality noodles independent of growne conditions ? », AACCC 82 and annual meeting, San Diego (USA), 12-16/10/1997, *Cereal foods World*, vol. 42, N°8, 1997, 666 p.
201. Debbouz A., Dick J.W., Donnelly B.J., « Influence of raw material on couscous quality », *Cereal Foods World*, Vol. 39, N°4, 1994, pp: 231-236.