

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences agronomiques et vétérinaire

Département d'Agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Amélioration des productions végétales

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

Par

BOURAINÉ Samir

Devant le jury composé de :

S. A. SNOUSSI	Professeur-USD Blida	Président
A.E.K. AISSAT	Maître de conférences-USD Blida	Examineur
L. MEKLIHE	Professeur- ENSA-EL HARRACH	Examineur
M. BENMOUSSA	Professeur-USD Blida	Promoteur

BLIDA, MARS 2011

RESUME

Notre mémoire consiste à étudier 18 variétés de blé dur conduites dans deux environnements différents, à savoir un environnement sub-humide (Oued Smar) et un autre semi-aride (El Khroub). L'objectif principal de cette étude est de connaître l'effet de l'interaction génotype x environnement sur certains caractères agronomiques et technologiques de cette espèce.

Au terme de notre travail, nous avons enregistré l'effet de l'interaction génotype x environnement sur certains caractères agronomiques : le nombre de plantes/m², la hauteur de la tige, la longueur du col, la longueur du dernier entrenœud, la longueur de l'épi, le nombre total d'épillets, le nombre d'épillets stériles et fertiles par épi et l'échaudage. L'effet de l'interaction G x E n'a pas eu lieu sur certains paramètres : le nombre de talles, le nombre d'épis, le taux de régression, l'épiaison, la longueur des barbes, le nombre de grains par épi, le poids de mille grains, le rendement réel et estimé. Par contre, elle a montré son effet significatif sur l'ensemble des paramètres technologiques étudiés, à savoir, les indices de coloration et la teneur en gluten.

La majorité des caractères agronomiques se montrent nettement améliorés dans la station d'Oued Smar. Par contre, les caractères technologiques se montrent très importants dans la station d'El Khroub où les conditions climatiques sont moins favorables (sécheresse et gelées printanières).

Ces résultats indiquent la complexité de sélectionner les variétés sur la base du rendement et ses composantes, ainsi que les caractères technologiques. Il ressort que l'ensemble des caractères sont conditionnés par le complexe génotype, environnement et interaction génotype x environnement.

Mots clés : blé dur, génotype, environnement, interaction, sélection.

ABSTRACT

Our report consists to study 18 varieties of durum wheat led in two different environments, which are a sub-wet environment (Oued Smar) and another semi-arid (El Khroub). The principal objective of this study is to know the effect of the interaction genotype X environment on some agronomic and technological parameters of this species.

At the end of our work, we recorded the effect of the interaction genotype X environment on some agronomic parameters: the number of plantes/m², the height of the stem, the length of the collar, the length of the last internode, the length of spike, the total number of spikes, the number of sterile and fertile spikelets per spike and scalding. The effect of the interaction G X E did not take place on certain parameters: the number of tiller, the number of spikes, the rate of regression, the heading, the length of the barbs, number of grains per spike, the weight of 1000 grains, the real and estimated yield. On the other hand, it showed its significant effect on all the technological parameters studied, namely, the index of colouring and the content of gluten.

The majority of the agronomic parameters show itself clearly improved in Oued Smar. On the other hand, the technological characters are shown very significant in El Khroub where the climatic conditions are less favourable (dryness and late frosts).

These results indicate the complexity to select the varieties on the basis of its components and yield, as well as the technological parameters. It arises that the whole of the characters are conditioned by the complex genotype, environment and interaction genotype X environment.

Key words: durum wheat, genotype, environment, interaction, selection.

ملخص

عملنا هذا تضمن دراسة 18 صنف من القمح الصلب في بيئتين مختلفتين، بيئة ذات مناخ شبه رطب (واد السمار) و أخرى ذات مناخ شبه جاف (الخروب) الهدف من هذه الدراسة هو معرفة أثر تفاعل الوسط مع الصنف على مختلف الخصائص الفلاحية والتكنولوجية لهذه الأصناف .

في نهاية هذا العمل لاحظنا وجود تأثير للتفاعل صنف X بيئة على بعض الخصائص الفلاحية : عدد النباتات /م² ، طول الساق ، عرض العنق، طول آخر بين عقدة ،طول السنبله ، العدد الإجمالي للسنيبيلات ، عدد السنيبيلات العامرة و العاقرة لكل سنبله ، ضمور السنيبلات . في حين أنه لم يكن للتفاعل صنف X بيئة تأثير على بعض الخصائص الأخرى ك: عدد الإشطاء ، عدد السنابل ، نسبة التراجع ، الإسبال ، طول اللحي ، عدد الحبات/السنبله ، وزن الألف حبة ، و المردودية الحقيقية و المقدرة. وبالعكس فقد أظهر التفاعل أثر ذو دلالة على مجموع الخصائص التكنولوجية المدروسة (معامل التلون ، و المحتوى من الجلوتين).

معظم الخصائص الفلاحية أظهرت تطورا ملحوظا على مستوى محطة واد السمار في حين أن الخصائص التكنولوجية كانت لها أكثر أهمية في محطة الخروب أين الظروف المناخية أقل ملائمة (الجفاف، الصقيع الربيعي). هذه النتائج أظهرت تعقيد انتقاء الأصناف استنادا إلى المردودية و مكوناتها بالإضافة إلى الخصائص التكنولوجية. يظهر أن مجموع الخصائص مرتبطة بالمركب: صنف، بيئة، التفاعل صنف X بيئة.

الأسماء المفتاحية : قمح صلب ، صنف ، بيئة ، تفاعل ، انتقاء.

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1 : Evolution des superficies, de la production et du rendement durant la période (1998-2007)	17
Figure 2 : les principaux fournisseurs de blé dur de l'Algérie.....	19
Figure 3 : Image satellite de la parcelle de l'essai à Oued Smar	59
Figure 4 : Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia- El Khroub	59
Figure 5: le dispositif expérimental de l'essai d'Oued Smar.....	68
Figure 6: le dispositif expérimental de l'essai d'El Khroub.....	69
Figure 7: Nombre de plantes/m ² (facteur interaction).....	81
Figure 8: Nombre de plantes/m ² (facteur environnement).....	82
Figure 9: Nombre de plantes/m ² (facteur génotype).....	82
Figure 10: Nombre de talles/m ² (facteur génotype).....	84
Figure 11: Nombre d'épis/m ² (facteur génotype).....	87
Figure 12: Nombre d'épis/m ² (facteur environnement).....	88
Figure 13: Taux de régression (facteur génotype).....	90
Figure 14: Taux de régression (facteur environnement).....	90
Figure 15: Epiaison (facteur génotype).....	93
Figure 16: Epiaison (facteur environnement).....	93
Figure 17: Hauteur de la tige (facteur génotype).....	96
Figure 18: Hauteur de la tige (facteur environnement).....	96
Figure 19: Hauteur de la tige (facteur interaction).....	97
Figure 20: Nombre total d'épillets (facteur génotype).....	99
Figure 21: Nombre total d'épillets (facteur environnement).....	100
Figure 22: Nombre total d'épillets (facteur interaction).....	100
Figure 23: Nombre de grains par épi (facteur génotype).....	105
Figure 24: Nombre de grains par épi (facteur environnement).....	106
Figure 25: Poids de mille grains (facteur génotype).....	108

Figure 26: Poids de mille grains (facteur environnement).....	109
Figure 27: Rendement réel (facteur génotype).....	112
Figure 28: Rendement réel (facteur environnement).....	112
Figure 29: le rendement estimé (facteur génotype).....	113
Figure 30: le rendement estimé (facteur environnement).....	114
Figure 31: Echaudage (facteur génotype).....	116
Figure 32: Echaudage (facteur environnement).....	116
Figure 33: Echaudage (facteur interaction).....	117
Figure 34 : longueur de l'épi (facteur interaction).....	118
Figure 35: longueur de l'épi (facteur environnement).....	118
Figure 36 : la longueur du col (facteur interaction).....	119
Figure 37: la longueur du col (facteur environnement).....	119
Figure 38 : la longueur du dernier entre-nœud (facteur interaction).....	120
Figure 39: la longueur du dernier entre-nœud (facteur environnement).....	120
Figure 40: la longueur des barbes (facteur environnement)	122
Figure 41: la longueur des barbes (facteur génotype).....	122
Figure 42: Indice de brun (facteur génotype).....	123
Figure 43: Indice de brun (facteur environnement).....	124
Figure 44: Indice de brun (facteur interaction).....	124
Figure 45: Indice de jaune (facteur génotype).....	127
Figure 46: Indice de jaune (facteur environnement).....	127
Figure 47: Indice de jaune (facteur interaction).....	127
Figure 48: Gluten humide (facteur génotype).....	129
Figure 49: Gluten humide (facteur génotype).....	129
Figure 50: Gluten humide (facteur interaction).....	129
Figure 51: Gluten sec (facteur génotype).....	131
Figure 52: Gluten sec (facteur environnement).....	131
Figure 53: Gluten sec (facteur interaction).....	132
Figure 54: Taux d'extraction (facteur génotype).....	134
Figure 55: Taux d'extraction (facteur environnement).....	134
Figure 56: Taux d'extraction (facteur interaction).....	135
Figure 57: Mitadinage (facteur interaction).....	136
Figure 58: Mitadinage (facteur environnement).....	137
Figure 59: Mitadinage (facteur génotype).....	137

Tableau 1 : Importance du blé dans le monde.....	16
Tableau 2 : Superficies, productions et les rendements pour le blé dur	17
Tableau 3 : Les valeurs numériques réelles de couleur pour la qualité moyenne de la semoule	55
Tableau 4 : appréciation de la qualité de la semoule en présence de point bruns et d'autres corps étrangers.....	55
Tableau 5: Les caractéristiques physiques du sol d'Oued Smar.....	60
Tableau 6 : Les caractéristiques physiques du sol d'El Khroub.....	60
Tableau 7: Pluviométrie mensuelle enregistrée durant la campagne 2007/2008 en comparaison avec celles enregistrées durant la période 1989/2004.....	61
Tableau 8 : les températures et les précipitations moyennes de la campagne agricole 2007/2008 ainsi que les précipitations des vingt cinq dernières années.....	63
Tableau 9 : Liste des variétés utilisées, leur pédigree et leur origine.....	64
Tableau 10: Origine et caractéristiques agronomiques des variétés témoins.....	65
Tableau 11: Caractéristiques technologiques des variétés témoins.....	66
Tableau 12 : les variétés présentant les valeurs faibles et élevées pour le nombre d'épillets stériles et fertiles.....	101
Tableau 13 : les corrélations pour les paramètres agronomiques.....	138
Tableau 14 : les corrélations pour les paramètres technologiques.....	142

TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENT.....	
DEDICACE.....	
TABLES DES MATIERES	
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX.....	
INTRODUCTION.....	13
1. Généralité sur le blé.....	16
1.1. Importance de la culture de blé	16
1.2. La culture du blé dur.....	19
2. AMELIORATION DES PLANTES.....	26
2.1. Les objectifs de l'amélioration des plantes.....	26
2.2. Techniques d'amélioration des espèces autogames	29
2.3. Apport des marqueurs moléculaires à l'amélioration du blé.....	32
3. Adaptation du blé	34
3.1. Les différents stress abiotiques.....	34
4. Adaptation à la sécheresse.....	39
4.1. Effet du déficit hydrique sur la croissance, le développement et le rendement chez les céréales	39
4.2. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse.....	39
5. Interaction génotype x environnement.....	45
5.1. Quelques définitions	45
5.2. Importance de l'interaction génotype x milieu.....	47
5.3. La sélection multilocale	48
5.4. Les QTLs et l'environnement.....	49
6. La qualité technologique.....	52
6.1. Notion de qualité technologique.....	52
6.2. La valeur semoulière.....	53

6.3. La valeur pastière.....	54
6.4. L'environnement et la qualité du blé dur.....	56
6.5. Le contrôle génétique de certains caractères technologiques.....	56
7. MATERIELS ET METHODES.....	58
7.1. Objectifs de l'expérimentation	58
7.2. Etude du milieu d'expérimentation.....	58
7.3. Protocole expérimental	63
8. RESULTATS ET DISCUSSION.....	79
8.1. Paramètres agronomiques.....	79
8.2. Les paramètres technologiques.....	122
8.3. Etude des corrélations	138
8.4. Discussion générale.....	145
Conclusion.....	152
REFERENCES.....	

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier mon promoteur **Mr Benmoussa M**, Professeur à l'Université Saad Dahleb de Blida, pour m'avoir confié ce travail, pour m'avoir apporté son soutien, ses conseils et son aide tout au long de ces trois années.

Je remercie **Mr SNOUSSI. S.A**, Professeur à l'Université de Saad Dahleb de Blida, de me faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire de Magister.

Mes remerciements vont aussi à **Mr AISSAT. A.E.K**, Maître de Conférences à l'Université de Saad Dahleb de Blida, pour me faire l'honneur d'examiner mon mémoire et de participer au jury.

Je remercie également **Mme Mekliche L**, Professeur à l'ENSA d'EL HARRACH, pour accepter de juger mon travail. Malgré son éloignement géographique, son œil critique est très précieux pour juger ce manuscrit. Ses conseils et son aide continueront à me guider tout au long de ma carrière en m'obligeant à toujours plus de rigueur et d'efficacité.

Je remercie tout le personnel de l'ITGC d'Oued Smar et d'El Khroub, de m'avoir accepté de réaliser ma partie expérimentale dans leur station. Je remercie aussi le responsable et les techniciennes du laboratoire de technologie de l'ITGC d'El Harrach de m'avoir accueillie dans leur laboratoire.

Mes profonds remerciements vont à mes chers parents, pour leur soutien et leur confiance en moi, ainsi qu'à mes frères et mes soeurs, sans oublier mes amis et tous ceux qui ont servis, de près ou de loin à ma formation.

Mr BOURAINE Samir

LISTE DES ABREVIATIONS

E : Environnement
ECH: Echaudage
EPIA: Epiaison
F : Famille
G : Génotype
GH: Gluten humide
GS: Gluten sec
H : Humidité
HT: Hauteur de la tige
IB : Indice de brun
IGE ou (G x E) : Interaction génotype environnement
IJ : Indice de jaune
ITGC : Institut technique des grandes cultures
LBAR: La longueur des barbes
LCOL: La longueur du col
LDEN: la longueur du dernier entre-noeud
LEP: La longueur de l'épi
MIT : Le mitadinage
Mt : Million de tonne
NEPF: Nombre d'épillets fertiles
NEPS: Nombre d'épillets stériles
NEP: Nombre d'épis
NGR: Nombre de grain
NJ : Nombre de jours
NP: Nombre de plantes
NTA: Nombre de talles
NTEP: Nombre total d'épillets

P : Phénotype

Plu : Pluviométrie

PMG: Poids de mille grains

Qtl : Quantitative Trait Loci

RDTE: Rendement estimé

RDTR: Rendement réel

T : Température

TEXT : Taux d'extraction

Tmoy : Température moyenne

TR: Taux de régression

V : Variété

V_A : La variance due à l'effet additif des gènes

V_D : La variance due à la dominance

V_E : La variance due à l'environnement

V_I : La variance due à l'interaction épistasique

V_P : La variance phénotypique

INTRODUCTION

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. En effet, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80 % à l'apport protéique de la ration alimentaire nationale [1]. La faiblesse de la production céréalière en Algérie découle en majeure partie des faibles potentiels des rendements. Il est donc impératif de faire accroître les rendements à l'hectare, parce qu'il n'est plus possible d'étendre les superficies consacrées aux céréales d'hiver [2].

Les céréales, le blé en particulier, occupant une place importante dans la production agricole et constituant la nourriture de base pour 35 % de la population mondiale [3], Il est nécessaire d'augmenter la production de blé pour couvrir les besoins alimentaires de la population [4]. Borlaug et Dowsell (1997) *in* Aycicek et Yildirim [4] ont estimé que la production globale de blé doit augmenter de 40% en 2020 pour satisfaire la demande croissante en grain de blé.

Le blé dur est la première céréale cultivée en Algérie [5]. Sa production se caractérise par une grande variation et les rendements à l'hectare demeurent faibles [6]. La production actuelle ne couvre que 20 à 25 % des besoins. La productivité de cette culture ne dépasse en moyenne à l'échelle nationale que 10 q/ha et 15 à 20 q/ha au niveau de la zone littorale [5]. Ses rendements restent faibles comme pour toutes les céréales pratiquées en Algérie. L'amélioration de son rendement constitue une des préoccupations de l'agriculteur [7].

La faiblesse de productivité est due à des contraintes abiotiques (sécheresse, gel, etc....) [8], biotiques et humaines (adventives, itinéraires techniques appliquées, vulgarisations, etc....) [9].

La principale cause de cette fluctuation est la sécheresse (déficits hydriques et coups de chaleur) [10]. La sécheresse est un stress abiotique qui affecte le rendement des céréales dans le bassin méditerranéen et peut engendrer des pertes de rendement à n'importe quel stade de développement [11]. Les effets négatifs de la sécheresse sur les cultures sont souvent accentués par l'utilisation d'espèces et variétés non adaptées et de techniques culturales favorisant les pertes d'eau [12]. Pour pallier ces problèmes de stress hydrique, l'irrigation reste le seul moyen adéquat pour réduire le déficit en rendement [11].

La qualité du blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait. Or, la presque unique destination du blé dur est l'obtention d'une semoule destinée elle-même à l'obtention de pain ou de galette ; de couscous, et surtout de pâtes alimentaires [13]. Les importations algériennes de semoule, dont la plupart proviennent de l'UE, sont passées du volume relativement important de 1.4 Mt en 1992-1993 à seulement 116 000t en 1995-1996, et se situent depuis à 150 000t en moyenne par année. Le recul est attribué à l'expansion de la capacité meunière algérienne [14].

L'une des problématiques de la qualité des blés cultivés en Algérie réside dans la complexité de sa régulation et ce, du fait de l'inadéquation entre les modèles de consommation, de la spécificité des cultivars locaux, la diversité des technologies utilisatrices et celles des types de qualité disponibles sur le marché mondial [15]. Quail (1996) *in* Anjum *et al.* [16] estime que les deux principaux facteurs qui gouvernent la qualité du blé sont la variété et l'environnement de croissance.

Le rendement est aussi sous la dépendance des conditions environnementales influençant la croissance de la plante de blé et de leur interaction avec la constitution génétique de la plante. Cette interaction génotype x environnement représente un des problèmes les plus importants que l'améliorateur doit résoudre [17]. Pour sélectionner un génotype donné, il faut donc tenir compte de sa réponse aux changements des milieux de production en plus de sa performance globale pour garantir à l'agriculteur les meilleures performances quels que soient l'année ou le milieu de production. [18].

Une bonne compréhension de l'environnement et de l'ampleur de l'interaction génotype x environnement est essentielle pour toutes les céréales dans un programme de sélection [19]. La comparaison des performances génotypiques dans des environnements favorables et non favorables à l'expression de hauts rendements en grain est souvent utilisée pour identifier les génotypes tolérants et productifs. Cette approche vise à minimiser les baisses de rendements en grain dans les environnements non favorables relativement aux rendements obtenus en milieux favorables [20].

L'augmentation du rendement de blé dur peut se réaliser par la recherche de variétés tolérantes et performantes [9]. Un rendement en grain élevé est l'objectif principal de toute amélioration céréalière [17]. Une stratégie de sélection fondée sur des rendements moyens à travers des conditions environnementales différentes est efficace [21].

L'amélioration de la production est possible en adoptant un itinéraire technique plus intensif dans les plaines intérieures où les conditions de production sont nettement plus favorables et par l'adoption de cultivars plus flexibles vis-à-vis des contraintes climatiques [20]. Ainsi, la préparation correcte du lit de semences, le semis en lignes, le désherbage chimique, la fertilisation azotée et la lutte contre les maladies fongiques sont les principaux éléments de cet itinéraire qui assure, en zone littorale, une productivité élevée ; soit en moyenne, 30 à 40 q/ha [5].

La présente recherche se propose comme objet d'étudier l'effet de l'interaction génotype x environnement sur les caractères agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé dur et ceci dans deux sites différents, à savoir une région sub-humide (Oued Smar) et une région semi-aride (El Khroub). Cette étude a été menée durant l'année 2008/2009. Elle va nous permettre de sélectionner les meilleures variétés dans chaque environnement.

CHAPITRE1 GENERALITE SUR LE BLE

1.1. Importance de la culture de blé

1.1.1. Dans le monde

Tableau 1 : Production mondial de blé [22]

	2009 /2010		Variation par rapport à 2008/2009
	Millions de tonnes	%	
USA	60,3	8,9	-11,3
Canada	26,5	3,9	-7,3
Argentine	8	1,2	-4,8
Australie	22	3,3	+2,8
Chine	114,5	17	+1,8
Inde	80,6	12	+2,5
Russie	60,1	8,9	-5,2
Ukraine	21,1	3,1	-16,6
UE27	139	20,6	-7,6
Total	673,9	100	-1,2

Malgré une baisse de production de près de 8% en 2009/2010, c'est l'Union européenne qui est le premier producteur mondial de blé, avec 139 millions de tonnes, soit près de 21 % du total. La Chine arrive en deuxième position avec 17% du total et 115 millions de tonnes (+1,8%) devant l'Inde avec 12% (81MT, en progrès de 2,5%). Viennent ensuite, à égalité avec 60 millions de tonnes, les Etats-Unis et la Russie (9% de la production mondiale). Ces deux pays ont connu une baisse de production non négligeable. Au total, les cinq principaux producteurs assurent les deux tiers de la production mondiale de blé.

Le Canada (en baisse), l'Australie (en hausse) et l'Ukraine assurent chacun plus de 20 millions de tonnes [22].

1.1.2. En Algérie

Tableau 2 : Superficies, productions et les rendements pour le blé dur

	Superficies (ha)	Production (q)	Rendement
1998	1707240	15000000,00	8,79
1999	889090	9000000,00	10,12
2000	544470	4863340,00	8,93
2001	1112180	12388650,00	11,14
2002	813890	9509670,00	11,68
2003	1265370	18022930,00	14,24
2004	1307590	20017000,00	15,31
2005	1042894	15687090,00	15,04
2006	1162880	17728000,00	15,24
2007	1187620	15289985,00	12,87

(Ministère de l'agriculture, 2007) [23].

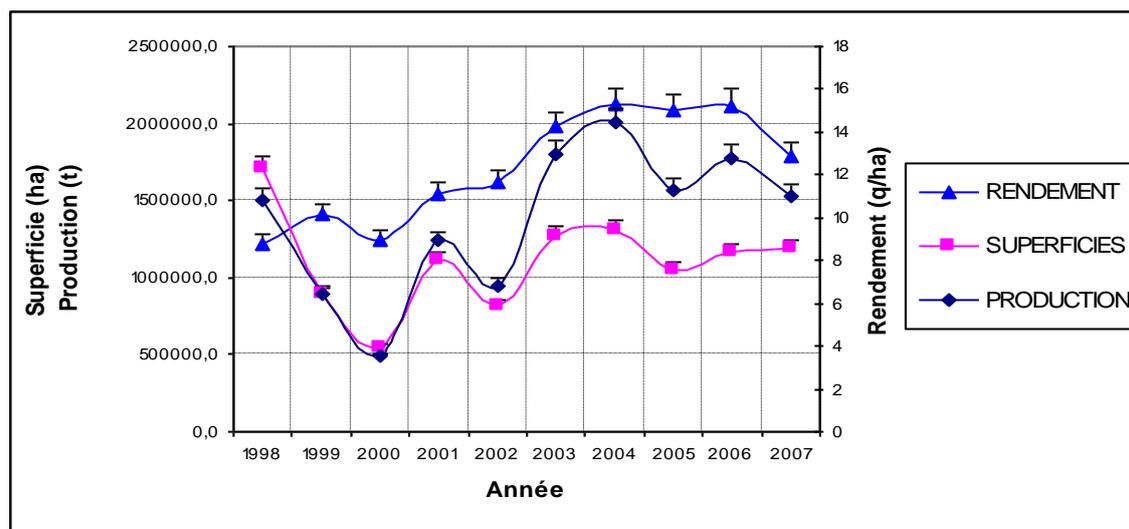


Figure 1 : Evolution des superficies, de la production et du rendement durant la période (1998-2007)

La moyenne des superficies emblavées en blé dur pendant la décennie (1998-2007) est de 1103322,4 ha. En 1998, les superficies ont atteint un pic de 1,7 millions d'hectares. Par la suite, les superficies réservées aux blés durs diminuent progressivement pour se stabiliser aux environ de 1,1 millions d'hectares.

La production algérienne en terme de blé dur connaît une variation importante d'une année à une autre, et ceci est à l'origine des conditions climatiques qui varient d'une campagne à une autre. La moyenne de la production enregistrée durant la période allant de 1998 à 2007 est de 1,3 millions de tonnes de blé dur, soit un déficit de plus de 1,4 millions de tonnes par rapport à la consommation algérienne en cette denrée. La production enregistrée en 1998 est de 1500000 tonnes. Par la suite, elle diminue pour atteindre 486334 tonnes en 2000, et ceci revient à la diminution de la surface emblavée en blé dur durant cette année. Puis, la production accroît progressivement jusqu'à atteindre un pic d'environ 2,0 millions de tonnes en 2004. Ceci est à l'origine des rendements légèrement élevés ; 15,31 q/ha ; par rapport à la moyenne nationale de rendement enregistrée pour cette culture qui est de 12,33 q/ha pour la même période (1998-2007).

Les rendements de cette culture connaissent une variation d'une campagne à une autre. Le plus faible rendement est enregistré en 1998 avec 8,79 q/ha. Par la suite, il augmente progressivement pour atteindre les 15 q/ha durant la période allant de 2004 à 2006 où on a pu enregistrer les productions nationales les plus élevées en blé dur. En 2007, le rendement diminue pour atteindre 12,87q/ha, soit presque la moyenne des rendements durant cette décennie ; 12,33 q/ha.

En 2008, l'Algérie a importé pour une valeur de 2,8 milliards, dont 56 % de blé tendre et 44 % de blé dur. La hausse de la facture du blé est le résultat de l'augmentation des quantités combinées à celle des cours du blé sur la scène internationale [24].

Les fournisseurs de l'Algérie sont principalement la France et l'Argentine pour le blé tendre et le Canada et le Mexique pour le blé dur [24].

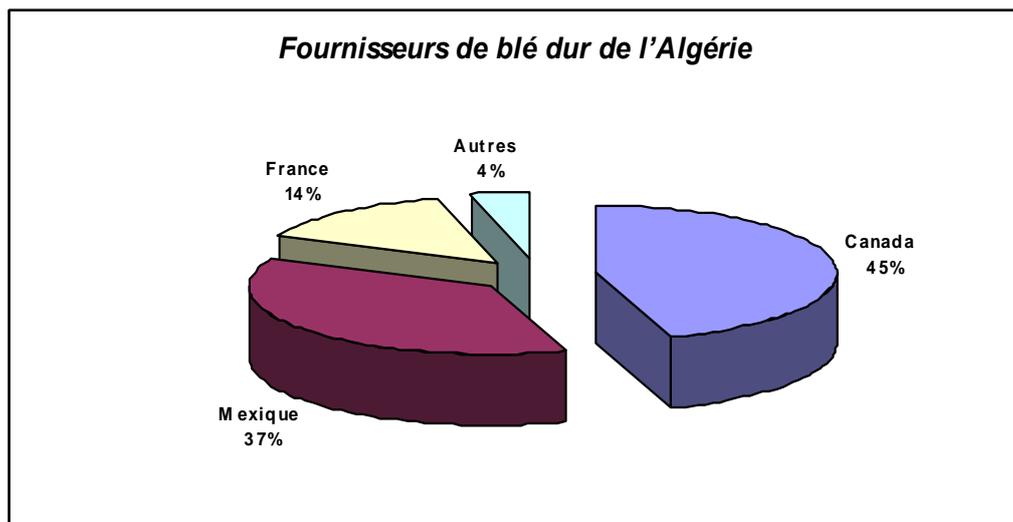


Figure 2 : les principaux fournisseurs de blé dur de l'Algérie

L'Algérie a été un fort importateur de semoule qui en raison du prix élevé de celle-ci abandonna cette consommation traditionnelle pour passer à celle de la farine panifiable [25].

Les importations algériennes de semoule, dont la plupart proviennent de l'UE, sont passées du volume relativement important de 1.4 Mt en 1992-1993 à seulement 116 000 t en 1995-1996, et se situent depuis à 150 000 t en moyenne par année. Le recul est attribué à l'expansion de la capacité meunière algérienne [26].

1.2. La culture du blé dur

1.2.1. Historique, Origine et classification

L'origine des blés se perd dans la nuit des temps et leur émergence historique se confond avec les débuts de l'agriculture, il y a 10 à 11.000 ans [27]. On pense que le blé est originaire du sud-ouest asiatique. Dans la région des hautes terres d'Afrique centrale et orientale [28]. Selon Cook *et al.* [29] le centre d'origine géographique du blé semble être l'Ouest de l'Iran, L'Est de l'Irak, et le Sud et l'Est de la Turquie.

Le blé est d'apparition plus récente et a été identifié avec certitude dans une pyramide égyptienne datée de 300 ans av. J-C., mais d'aucuns pensent qu'il

était déjà cultivé vers 2.500 av. J-C. Il s'est largement substitué à l'amidonnier dans le bassin méditerranéen, le sud de la Russie, le Proche et le Moyen-Orient et l'Abyssinie. Sa culture a été introduite par les européens en Afrique du Sud, en Australie et dans certaines contrées des U.S.A [27].

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une monocotylédone de la famille des *Poacéae*, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum* [30]. Le blé est une plante annuelle. Le blé dur cultivé (*Triticum durum* Desf.), est un blé tétraploïde ($2n = 28$) [31].

1.2.2. Biologie du blé

L'appareil végétatif est à tallage faible, à chaume long et souple, d'où une certaine sensibilité à la verse. L'épi est un rachis solide, à glumes carénées jusqu'à leur base, à glumelles inférieures terminées par une longue barbe. La fécondation est interne, le blé dur, comme le blé tendre étant autogame. Le grain est gros, de section triangulaire, très riche en albumen et de texture vitreuse [32].

Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale appelée le maître-brin et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante. Chaque tige est composée de plusieurs entre-nœuds situés entre la base et le sommet. A maturité, les tiges sont pleines pour le blé dur [31]. La tige est d'abord pleine, puis devient creuse en prenant de l'âge sauf au niveau des nœuds qui restent pleins [33].

Les céréales ont la particularité de présenter deux systèmes radiculaires. Au moment de la germination, la graine émet à travers le coléorhize 5 racines séminales qui alimentent la plantule jusqu'au stade 3 feuilles avant que ne soient émises de nouvelles racines à partir des nœuds de la base de la plante, au niveau de ce que l'on appelle « le plateau de tallage » [27].

Le blé se présente d'abord comme une plante herbacée à feuilles assez larges. Au sommet de la partie engainante de la feuille, on trouve deux stipules

finement poilues ne ceinturant pas totalement la tige et une ligule transparente, courte et assez importante, impliquée sur la tige [33].

Les inflorescences du blé sont des épis qui se forment à l'extrémité supérieure des tiges [28]. L'épi est constitué de plusieurs groupes de fleurs appelés épillets. Ceux-ci sont insérés sur deux rangs opposés de façon alternée le long d'un axe en zigzag ou rachis [27]. Chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs, enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures) [31]. La fleur est très petite et sans éclat visible, et, fait important, la fécondation a lieu avant l'épanouissement de la fleur, c'est-à-dire avant l'apparition des anthères à l'extérieur [33].

Le fruit de toutes les céréales est un caryopse ; ou fruit sec indéhiscant. Le blé fait partie des céréales à caryopse nu [34].

1.2.3. Le cycle de développement

Le cycle de développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle des cultures. Ces modifications sont basées sur des critères morphologiques pour identifier les différents stades de développement des cultures. Les dates de réalisation des stades de développement du blé dépendent essentiellement, pour une variété donnée, des températures et photopériodes subies par la culture depuis sa germination [31].

1.2.3.1. La période végétative

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui se traduit par l'émergence de la racine et des racines séminales et celle du coléoptile [35] et l'apparition de la première feuille au sommet du coléoptile [27]. Le phyllotherme, caractéristique qui fixe le rythme de développement des feuilles et des futures tiges de la plante, se détermine très tôt pendant cette phase [36].

Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche. La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, jusqu'à la quatrième toutes en position alterne. Ensuite, apparaît la première tige principale. Ainsi, le stade début tallage est atteint [35]. Pendant cette phase, en même temps que l'émission des feuilles du maître brin, des talles apparaissent d'une façon synchrone [31]. La puissance de tallage est un caractère variétal ; mais en dehors de la variété, le tallage dépend de l'importance de la fumure azotée, de la date de semis et de la température qui conditionne la durée de la période de tallage [33]. La fin de cette phase est observée lorsque la jeune inflorescence (apex) est d'environ 1 cm au dessus du plateau de tallage. On atteint donc le stade début montaison. La montaison se caractérise par la différenciation et l'élongation des ébauches des nœuds et des entre-nœuds [31].

1.2.3.2. La période reproductrice

Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex (stade A), ce stade marque la fin de la période végétative et l'acheminement vers l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes [35].

Dès le début de la montaison, on assiste à une différenciation des pièces florales : glumelles (inférieure puis supérieure), organes sexuels (étamines, stigmates), et en parallèle, la tige et l'inflorescence s'allongent. Les apex des talles se différencient des ébauches d'épillets puis des pièces florales et montent. C'est le tallage épis.

L'inflorescence monte en grossissant dans les gaines des feuilles. Ainsi, la gaine de la dernière feuille s'allonge et se gonfle : c'est le stade gonflement. Peu après, l'inflorescence (épi) sort de la gaine de la dernière feuille : c'est le stade épiaison. C'est un indice pratique de précocité. C'est un stade très important sur le plan agronomique. La précocité de l'épiaison est un caractère très recherché dans les zones semi-arides dans la mesure où il permet d'éviter aux cultures les sécheresses de fin de cycle. La fécondation et l'anthèse suivent de quelques jours [35].

1.2.3.3. La période de maturation

Cette période correspond à l'élaboration de la dernière composante du rendement : le poids de mille grains. La migration des substances de réserve accumulées antérieurement dans les feuilles et la tige (amidon, protéines) a lieu essentiellement pendant cette période [36]. On conçoit que cette migration très active des glucides et des protéines nécessite à ce moment la mobilisation des dernières ressources en eau de la plante [33]. On observe une augmentation du volume et du poids des grains. La phase se termine par le stade laiteux et le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre. Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Le grain à ce stade s'écrase en formant une pâte. Puis, le grain devient jaunâtre c'est le stade maturité physiologique [35].

1.2.4. Les exigences du blé

1.2.4.1. Sol

Les espèces blé et orge prospèrent sur une gamme assez variée de sol et l'optimum semble être des terres neutres, profondes et de texture équilibrée [32]. Selon Soltner [34], une bonne terre à blé se caractérise par une texture fine, une structure stable, une bonne profondeur et une richesse suffisante en colloïdes argiles et humus. Ces dernières limitent les problèmes dus à la battance [32].

1.2.4.2. Température

Le blé a un zéro de végétation très bas, à zéro degré centigrade, mais ses exigences globales en chaleur sont assez importantes. La température journalière intervient à divers moments de la vie du blé. La température détermine la rapidité de la germination et du début du développement de la jeune plante. C'est ensuite au moment de la montaison que la température intervient à nouveau dans l'élaboration de la quantité de matière sèche qu'elle favorise, alors qu'elle a un effet défavorable sur l'évolution des talles vers l'épiaison. Elle agit enfin au cours de la maturation par ses excès pouvant conduire à l'échaudage [33].

1.2.4.3. Eau

Jusqu'à la fin du tallage les besoins en eau sont assez faibles. De plus, l'humidité excessive du sol est néfaste à l'installation du système racinaire en profondeur. Par contre au cours de la phase montaison et jusqu'à la floraison les besoins en eau de la culture sont considérables. Ils peuvent s'évaluer à 180 mm (entre Mars et Mai). Après la floraison, le blé dur devient résistant à la sécheresse (comme aux fortes températures) [37].

1.2.4.4. Eclaircissement

On désigne par photopériode, l'influence de la durée d'éclaircissement journalier sur le développement de la plante. Le blé et l'orge sont adaptés aux jours longs (donc la floraison s'effectue plus rapidement en jours longs). Il faut que la durée d'éclaircissement soit d'environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige [32]. En dessous de cette valeur seuil de durée de jour, il n'y a pas de formation de primordia d'épillets et les plantes continueront à différencier des organes végétatifs [31]. Selon Cavelier *et al.* [27] une variété précoce est plus sensible qu'une variété tardive à l'augmentation de la durée du jour ou à celle de la température.

1.2.4.5. Eléments nutritifs

La nutrition minérale est assurée par tous les éléments fertilisants qui sont divisés en trois groupes : les éléments fertilisants majeurs (azote, phosphore et potassium), les éléments fertilisants secondaires (souffre, calcium, magnésium) et les oligoéléments (fer, molybdène, bore, zinc, cuivre, manganèse, cobalt, vanadium, silicium) [31]. Les besoins du blé en éléments fertilisants sont compris entre 2.8 et 3.2 kg d'azote, 1 et 1.6 kg de P_2O_5 , 3 et 4.8 kg de K_2O par quintal de production (grain + paille) (Benaouda et Karrou, 1994) *in* Boulal *et al.* [31].

Les oligoéléments se différencient des macroéléments (N, P, K) et des méso-éléments ou éléments moyens (S, Ca, Mg) dans la mesure où, tout en étant indispensables à la vie des plantes, les quantités nécessaires sont très faibles. On les retrouve également en quantité relativement peu élevée dans les tissus végétaux [32].

CHAPITRE 2 AMELIORATION DES PLANTES

2.1. Les objectifs de l'amélioration des plantes

Les objectifs généraux d'amélioration des céréales vont être tournés vers la diminution des coûts de production, vers une meilleure régularité des rendements et de la qualité et vers une adaptation des caractéristiques des grains aux utilisations industrielles [38]. Les deux grands critères de sélection (rendement et résistance aux contraintes) impliquent des processus particulièrement intégrateurs : quasiment tous les caractères physiologiques sont concernés ; on peut penser qu'il en sera de même pour une amélioration de la qualité [39].

A cette complexité des objectifs s'ajoutent les délais nécessairement longs de création d'une variété, ce qui oblige le généticien à imaginer ce que sera la plante idéale dans un futur plus ou moins lointain [40].

2.1.1. Productivité

Il est évident que le premier but recherché est presque toujours la productivité. Mais cette productivité peut être obtenue soit directement par l'augmentation de la productivité potentielle, soit indirectement par une analyse préalable des facteurs de la productivité avec induction successive de ces facteurs dans la variété en culture. L'amélioration directe de la productivité potentielle d'une plante cultivée sera généralement observée visuellement ou préalablement, avec détection grossière des souches productives au travers leurs descendances [40]. Dans les zones favorables ou à faibles contraintes environnementales, le choix du rendement potentiel (ou aptitude génétique au rendement), à la fois comme objectif et critère de sélection,

s'avère relativement justifié dans la mesure où les conditions de milieu (sol, climat, techniques culturales) permettent l'expression de cette aptitude génétique [41].

2.2.2. La régularité de la production

L'amélioration de la régularité de la récolte en quantité et qualité est obtenue par la sélection pour la résistance aux variations de l'environnement [38]. Cet objectif très important comprend différents éléments sur lesquels l'amélioration permet d'agir : résistance à l'hiver, résistance à la verse, résistance aux maladies [27].

2.2.2.1. La résistance aux basses températures

La survie à l'hiver des espèces cultivées est la résultante de deux actions opposées :

- celle des différents facteurs de stress de l'hiver qui tendent à affaiblir ou à léser la plante, le premier de ces facteurs étant la survenue de températures basses ;
- celle de la plante qui s'adapte à ces contraintes, le mécanisme d'adaptation le plus important étant l'endurcissement au froid [38].

Cette résistance comprend non seulement la résistance à l'action directe du froid, mais aussi la résistance aux effets indirects de l'hiver tels que le déchaussement des plantules, le bris de rhizomes, les maladies se développant sous les couvertures de neiges, etc [27].

2.2.2.2. Résistance à la verse

Un raccourcissement des pailles qui entraîne une meilleure résistance à la verse évite l'emploi de régulateurs de croissance et permet une meilleure utilisation de l'azote par la plante. [38]. La longueur réduite de la paille n'est qu'un des facteurs de résistance à la verse. Des pailles assez hautes, intéressent encore les producteurs des régions médiocres, ayant besoin de litières [33]. La sensibilité à la verse reste toujours un critère jugé sévèrement en sélection dans des essais établis

à densité normale, sans produit antiverse et avec deux ou trois niveaux de fumure azotée [27].

2.2.2.3. La résistance aux maladies

La sélection pour la résistance aux champignons parasites permet ainsi d'économiser un, voire deux traitements fongicides [38]. Les maladies les plus importantes dont il est tenu compte dans les travaux d'amélioration sont groupées en maladies du feuillage (l'oïdium, la rouille jaune et la rouille brune), en maladie du pied (le piétin-verse et le piétin-échaudage) et en maladies de l'épi (la septoriose et la fusariose) [27].

2.2.3. Critère de qualité

Les critères de qualité retenus sont étroitement en relation avec l'utilisation du produit pour la consommation humaine et l'alimentation animale ou pour la transformation (valeur boulangère du blé, qualité brassicole de l'orge) ou encore par le négociant (transport, conservation ...) [42]. Le revenu financier est égal au rendement pondéré en fonction de la qualité. Dans le cas des blés, la sélection peut se faire sur la qualité panifiable d'une variété [32].

2.2. Techniques d'amélioration des espèces autogames

L'amélioration des plants définie comme la science de la création de variété répondant de mieux en mieux aux besoins de l'homme n'est pas seulement une discipline de synthèse, elle a sa problématique propre [43].

L'amélioration des plantes peut être définie comme l'art et la science de la création de variétés [43][40]. C'est la façon de construire une variété selon certaines règles issues de connaissances biologiques, génétiques, biométriques, et économiques. Il s'agit essentiellement d'augmenter la production quantitative et qualitative des plantes [43]. La méthodologie de sélection a bénéficié du concept de la ligné pure, elle a ensuite pris en compte les avancées de la génétique quantitative.

Progressivement, les techniques d'hybridations interspécifiques de biologie cellulaire et moléculaire ont été utilisées. [44].

2.2.1. La sélection massale

Depuis les débuts de la culture des végétaux, l'homme a réalisé un choix de certaines plantes qui convenaient mieux à ses goûts, épis plus gros, fruits plus précoces, etc.... [45]. Lorsque les plantes ainsi choisies dans une population hétérogène participent seules à la réalisation de la génération suivante, on parle de sélection massale [40]. Selon Simon *et al.* [32], la conduite de cette technique pendant plusieurs années permet d'obtenir une variété naturelle, différente de la plante de départ, adaptée au milieu.

2.2.2. La sélection généalogique

C'est la sélection généalogique qui progressivement perfectionnée et adaptée, s'est généralisée. La sélection a lieu en même temps que l'homozygotie se réalise avec un suivi individuel de chaque descendance permettant de conserver la généalogie et de tenir compte des informations en provenance des apparentés pour réaliser la sélection [44]. En partant d'une F2 très hétérogène, des autofécondations successives et des éliminations importantes aboutissent à la création d'une lignée très fortement homozygote pour ses caractères. Si elle présente des caractères intéressants, cette lignée sera déposée à l'inscription et deviendra une variété commerciale [46]. A partir de la F5 (ou F6), les descendants les plus homogènes sont récoltés en mélange ; il est possible de faire des essais en parcelle dans le lieu de sélection et d'autre lieu : le rendement, caractère le plus affecté par le milieu peut être étudié [43].

2.2.3. La méthode du rétrocroisement

Lorsque le gène recherché, trouvé chez un géniteur (parent donneur) dégradant sur le plan agronomique est à introduire dans le génotype d'un parent (receveur) de

bonne valeur agronomique, la méthode du rétrocroisement permet d'éliminer progressivement tous les gènes du géniteur, sauf le gène intéressant [42]. Cette méthode de sélection vise à introduire solidement un caractère, par exemple, plusieurs gènes de résistance à une maladie, pour aboutir à la création d'une nouvelle population qui sera utilisée comme matériel de départ [47]. Selon que la qualité à transférer est dominante ou récessive, on devra ou non, intercaler dans ces back cross quelques générations d'autofécondation de manière à s'assurer que l'on a bien gardé les hétérozygotes porteurs des gènes intéressants [45].

2.2.4. La méthode S.S.D (Single Seed Descent) ou sélection unipare

Cette méthode utilisée pour la sélection des plantes à cycle court, s'applique peu chez les céréales [47]. Pendant six à sept générations, le sélectionneur prélève une graine par plante et la resème. Il garde ainsi un exemplaire au moins de chaque plante de la population de départ [46]. Cette méthode consiste à différer la sélection après quelques générations d'autofécondation en ne rendant qu'un descendant par plante F2 [44].

2.2.5. La méthode de Bulk

Dans la méthode des populations hybrides (ou méthode Bulk= Vrac), la F2 est cultivée en mélange et ressemée en mélange jusqu'en F5 ou F6. Le pourcentage d'hétérozygotie diminue progressivement au cours des différents cycles d'autofécondation. La sélection individuelle est ensuite appliquée afin d'obtenir des lignées pures [42]. Au cours des générations de fixation, on effectue une sélection massale en appliquant des pressions de sélection pour des caractères d'importance économique [44]. On peut, par exemple augmenter la fréquence des génotypes tolérants aux maladies en soumettant le Bulk à une pression parasitaire importante [32].

2.2.6. Mutagenèse

La mutation est une source de variation génétique dans une population. Elle peut être génique ou chromosomique. Ces mutations peuvent se produire spontanément ou artificiellement induite [48]. Les mutations facilitent l'étude des phénomènes héréditaires. En effet, on peut savoir qu'un gène existe si l'un de ses allèles, en se manifestant, imprime au phénotype une différence perceptible [49].

2.3. Apport des marqueurs moléculaires à l'amélioration du blé

L'essor des techniques de marquage moléculaire au cours des dernières années a induit des changements considérables dans plusieurs branches de la biologie, notamment la biologie moléculaire (clonage positionnel), la génétique évolutive (cartographie comparative), la génétique quantitative (détection et identification des locus contrôlant les caractères quantitatifs (QTL)) et l'amélioration des espèces (sélection assistée par marqueurs). Le développement considérable des marqueurs moléculaires au cours des dernières décennies a permis une meilleure compréhension du génome de blé et la cartographie de plusieurs dizaines de locus liés aux résistances aux maladies et insectes [50].

D'une façon large, la sélection assistée par marqueurs correspond à toute forme possible d'utilisation des marqueurs dans le processus d'amélioration. Les principales applications pour le sélectionneur sont : l'identification du matériel, la gestion des ressources génétiques, la conduite des rétrocroisements, la construction de génotypes, la prédiction de l'hétérosis, la prédiction des valeurs génotypiques et la conduite de la sélection récurrente [51].

L'amélioration des résistances aux maladies et aux insectes chez le blé, *via* les marqueurs moléculaires associés aux gènes cibles, contribuera à l'amélioration du rendement de cette culture céréalière à grande importance économique. Contrairement aux marqueurs traditionnels (morphologiques et biochimiques), les marqueurs moléculaires ne sont pas influencés par les fluctuations de

l'environnement et sont indépendants de l'organe analysé et du stade de développement de la plante [50].

Conclusion

L'amélioration des plantes et des céréales en particulier constitue une discipline de synthèse utilisant à la fois des techniques conventionnelles et non conventionnelles. Au-delà des techniques classiques –croisement, back-cross, polyploidie, mutation, etc. L'amélioration, de nos jours, bénéficie des techniques de cultures de tissus (haplodiploïdisation, embryogenèse somatique, variabilité somaclonale) et des manipulations génétiques pour façonner la variété de demain [52]. Les étapes de la création d'une variété sont donc diverses, elles découlent d'une stratégie globale choisie par le sélectionneur et on ne peut en négliger aucune [53].

La sélection assistée par marqueurs, comme la sélection "classique", est limitée à la variabilité disponible dans l'espèce, qui reste pour l'instant peu exploitée [54]. Elle est donc d'un intérêt certain pour le sélectionneur puisqu'elle offre l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce, et devient alors un complément nécessaire aux méthodes traditionnelles d'amélioration génétique des céréales [50].

CHAPITRE3

LES STRESS ABIOTIQUES

Le stress abiotique provient de l'exposition à des extrêmes climatiques tel que la sécheresse, les températures élevées, le froid et le gel, les effets de radiation, l'ombrage, l'altitude, les éléments nutritifs du sol, le niveau hydrique et la pollution [55]. Certains stades de la plante et certaines périodes de son cycle sont particulièrement sensibles à des événements climatiques. Les effets peuvent se manifester par des destructions totales ou partielles d'organes végétatifs [56]. La production des plantes est sévèrement affectée par les facteurs de stress environnementaux [57] [58].

3.1. Les différents stress abiotiques

3.1.1. L'éclairement

Le blé fait partie des espèces de jours longs. De ce fait, il ne fleurit pas en jours courts, sauf assez souvent, si l'on apporte un éclairement nocturne complémentaire, ou bien, mais plus rarement, si les nuits sont froides [59].

Chez une céréale, le nombre de talles et le nombre d'épillets sur chaque talle dépend de la durée (nombre de jours), plus ou moins variable avec la photopériode et/ou la température, de la phase végétative [60]. La biomasse produite est fonction du rayonnement intercepté par la culture. Un défaut de rayonnement d'une durée variant de 8 à 10 jours augmente donc le taux d'avortement des fleurs les moins développées situées dans les épillets de la base et du sommet de l'épi [56].

3.1.2. La température

3.2.2.1. Les basses températures

3.1.2.1.1. Le gel

Les basses températures constituent un des stress environnementaux les plus graves aux plantes. Elles affectent la croissance et la distribution des plantes [61][62]. La gelée provoque une migration de l'eau des cellules vers les méats intercellulaires où elle gèle en cristaux. Il se produit donc une déshydratation de la cellule, pouvant entraîner une coagulation du protoplasme irréversible, donc mortelle [33].

Les dégâts occasionnés par le gel hivernal sont divers et les symptômes peuvent apparaître sur le coléoptile, les feuilles et le rhizome. Les alternances de gel et de dégel conduisent au déchaussement de la plante. Ce phénomène est encore aggravé par le vent qui, en augmentant l'évaporation, provoque une dessiccation brutale [27].

Le gel hivernal peut avoir de graves conséquences sur la production céréalière. Les dégâts seront plus importants si une gelée brutale est précédée de températures relativement clémentes. D'une manière générale, les organes jeunes possèdent une plus forte concentration en sucres, sont plus résistants au froid, mais pour cela ils doivent en outre contenir suffisamment de chlorophylle. Ainsi, au stade coléoptile, les plantules sont particulièrement sensibles par suite d'une déficience en chlorophylle [63].

3.1.2.1.2. Le froid

Les céréales, comme beaucoup d'autres végétaux, ont une sensibilité au froid variable en fonction de leur âge et de leur état d'endurcissement [63]. Le blé dur, avec l'avoine, est la céréale la plus sensible au froid [64]. Le froid de l'hiver peut avoir des conséquences néfastes en nécrosant une partie du feuillage ou en détruisant les plantules. Les dégâts seront d'autant plus importants que les basses températures surviennent brutalement. La plante n'a pas alors le temps de

s'accoutumer. Les cellules gèlent et meurent. Une arrivée progressive du froid permet au contraire de limiter les conséquences. [32].

3.1.2.2. Les températures élevées

Dans la nature, les changements de température sont susceptibles de se produire plus rapidement que les autres stress [61][65]. Les températures élevées ont une incidence négative sur l'élaboration de chacune des composantes du rendement. Les températures élevées réduisent en premier lieu la taille et le poids des organes (comme la hauteur et la biomasse de la tige, le poids des grains...) [56].

Les températures trop importantes peuvent être néfastes à la plante soit en limitant les échanges gazeux liés à la fermeture des stomates : chaleur trop intense, éclaircissement trop vif, entraînant une évapotranspiration importante [32]; soit en arrêtant la migration des réserves des feuilles et des tiges vers le grain : c'est le phénomène d'échaudage physiologique [32][34].

3.1.3. Le stress salin

La salinité est le stress environnemental majeur et une contrainte importante de la production végétale [66]. La salinité du sol est caractérisée par des niveaux toxiques de chlorures et de sulfates de sodium. Le sodium est nuisible pour la croissance des plantes comme il cause un problème nutritionnel par la diminution de l'absorption du potassium, des nitrates et du calcium [61][67]. Par conséquent, le stress salin crée essentiellement des conditions de déficit hydrique dans la plante et prend la forme d'une sécheresse physiologique [66]. L'incidence de la salinité est liée au manque d'eau. L'absorption de la culture de l'eau d'irrigation provoque la concentration de la plupart des sels dans la zone racinaire [68].

3.1.4. Les excès d'humidité

L'excès d'humidité entraîne surtout des modifications du milieu où se développent les racines [33][56]. En chassant l'air du sol, l'excès d'eau induit une carence en oxygène (asphyxie) au niveau des racines, avec de nombreuses

conséquences sur la croissance de la plante [64]. Il provoque l'asphyxie des racines, l'asphyxie des micro-organismes aérobies qui interviennent dans la nitrification [33][56][34], d'où le jaunissement (non par manque d'azote mais par impossibilité pour la plante de végéter normalement et d'en absorber. Cette asphyxie peut également entraîner le développement des germes anaérobies générateurs de pourritures. Si l'humidité arrive tard dans la saison elle peut amollir les tissus de soutien de la plante et donner lieu à la verse physiologique [33][56]. Plus tard, à partir de la fécondation, un excès d'humidité retarde la maturation, tout en rendant les tiges plus sensibles à la verse [34].

3.1.5. Le stress hydrique

Le stress hydrique peut se produire à la suite de deux conditions, l'excès de l'eau ou le manque d'eau. L'inondation est un exemple d'excès hydrique, qui provoque principalement une diminution de l'approvisionnement en oxygène des racines. La réduction de l'oxygène résulte d'une perturbation des fonctions critiques des racines y compris la limitation de l'absorption des éléments nutritifs et la respiration [66]. Le déficit hydrique n'est pas seulement causé par le manque d'eau mais aussi par les stress environnementaux comme ; les températures basses ou la salinité. Tous ces stress ont un effet négatif sur la production des plantes [61].

L'eau est le premier facteur limitant le rendement du blé dur dans la plupart des régions de production. La sécheresse, manque d'eau prolongé, influe directement sur la croissance de la plante mais aussi indirectement en limitant l'absorption de l'azote et de tous les minéraux, et en réduisant ses défenses contre les parasites racinaires. Le terme sécheresse signifie ici : un déficit en eau induisant une perte de rendement d'au moins 10% [64].

CHAPITRE 4

ADAPTATION A LA SECHERESSE

Depuis les millénaires qu'elles existent sur cette planète, les plantes ont développé diverses stratégies pour survivre à des conditions hostiles comme la sécheresse. Certaines possèdent des défenses naturelles, il s'agit alors d'espèces susceptibles de tolérer des périodes de sécheresse et des éléments desséchants du climat comme le vent ou les rayons chauds du soleil [69].

4.1. Effet du déficit hydrique sur la croissance, le développement et le rendement chez les céréales

Un déficit hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de la production par rapport au potentiel du génotype. Un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs. A la fin de la montaison, 10-15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet [70]. Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage [71]. 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 (Gate *et al.*, 1993) *in* Slama *et al.* [72].

4.2. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse

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 accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles [72]. La sélection des céréales dans des régions à forte contrainte hydrique implique une identification des mécanismes de résistance à la sécheresse [73].

Du point de vue agronomique, l'adaptation à la sécheresse est la capacité d'une plante à maintenir un rendement à travers des environnements où les périodes de sécheresse, leurs durées et leurs intensités sont fluctuantes. Le rendement étant difficile à améliorer directement (faible héritabilité, fortes interactions génotypes x environnement...) [74].

4.2.1. Adaptations phénologiques

Les paramètres phénologiques d'adaptation caractérisent le « calage » du cycle vis-à-vis des événements climatiques [41][72] ; en jouant sur ce type de paramètre, il est possible d'éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec les dates d'occurrence maximale de certains accidents climatiques (hautes températures, déficit hydrique) [41]. La prise en compte de ce type de paramètres renvoie à la notion d'« évitement » ou d'« esquive » défini par Levit [75]: dans le cas de la contrainte hydrique par exemple, la mise en place d'une stratégie d'évitement consiste à inscrire le cycle à l'intérieur d'une période au cours de laquelle les potentiels initiaux (sol) et finaux (atmosphère) du continuum sol-plante-atmosphère sont élevés et permettent d'éviter une baisse du potentiel hydrique de la plante. Cette stratégie d'évitement permet de protéger la plante et de réduire son niveau de stress, aux dépens de la photosynthèse. Comme dans la stratégie d'esquive, on échange donc une réduction du risque contre une réduction du rendement potentiel [54].

4.2.2. Adaptations morphologiques à la sécheresse

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats [72].

4.2.2.1. La tige

Le déficit hydrique influence le stockage et la mobilisation des réserves de la tige. Les plantes sous conditions de sécheresse stockent souvent de faibles réserves dans la tige que les plantes non stressées parce que la photosynthèse est réduite, et ainsi réduire la disponibilité de photosynthétats pour le stockage. Sous ces circonstances, le taux de réserves mobilisées de la tige est aussi réduit [76][77]. Le pourcentage de contribution des réserves de la tige au rendement en grain a été positivement corrélé avec la longueur de la tige et avec le maximum du poids sec de la tige seulement en conditions de sécheresse [78]. Ehdaie *et al* [76] ont signalé que les cultivars à tige longue ont une contribution élevée par rapport aux cultivars nains et semi nains.

4.2.2.2. Les feuilles

La croissance foliaire est généralement retenue comme un caractère favorable pour la tolérance au déficit hydrique, avec des effets généralement positifs sur le rendement [79][80][54].

Selon Kuruvadi (1989) *in* Erchidi *et al.* [81], le blé répond au stress hydrique par une réduction de la densité des stomates. La croissance foliaire est réduite en cas de déficit hydrique, avant toute réduction de la photosynthèse ou d'autres processus métaboliques [82][83][54].

Les effets du déficit hydrique se traduisent en général par la manifestation d'une sénescence foliaire [56] et une adaptation micro morphologiques des tissus foliaires, enroulement des feuilles, glaucescence induisant une augmentation de la réflectance [41].

4.2.2.3. Les racines

Le déficit hydrique a un effet plus net sur le volume racinaire que sur le nombre de racines primaires [84]. Une croissance soutenue du système racinaire en conditions de stress serait, selon certains auteurs, un facteur de résistance au stress

hydrique [85][86]. Cependant, des sélections de ce type n'ont d'intérêt que lorsque l'accroissement du système racinaire permet l'acquisition d'une plus grande ressource en eau [54].

Le développement du système racinaire, en réduisant la sensibilité de la plante aux déficits hydriques temporaires, lui confère une meilleure régularité de rendements, et une meilleure souplesse d'adaptation [84].

4.2.3. Adaptations physiologiques

La tolérance avec potentiel hydrique élevé (ou « retard » dans la déshydratation) est liée à la réduction des pertes d'eau, et/ou à une augmentation des quantités de transfert prioritaire de l'eau vers les organes en croissance [41].

L'effet de déficit hydrique peut se traduire au niveau de la plante et particulièrement au niveau des feuilles, par une nette augmentation d'un certain nombre de constituants qui peuvent être des composés azotés, des glucides ou des acides organiques [87]. La tolérance avec un faible potentiel hydrique peut maintenir le potentiel osmotique par l'accumulation de quelques composés organiques tels que les sucres [89][88][87][72] et un acide aminé, la proline [90][89][88][87][72] et l'acide abscissique [73].

4.2.3.1. Etat hydrique de la plante

La résistance ou tolérance à la déshydratation est liée à une aptitude plus ou moins grande du génotype à maintenir l'intégrité de ses structures (membranes) et de ses fonctions (photosynthèse) [41]. L'augmentation de la production dans les conditions de la sécheresse dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire [91]. Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration [92].

4.2.3.2. Fonctionnement stomatique

La réduction de la perte en eau par fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse. Cette diminution peut engendrer une réduction de la photosynthèse [72]. D'après Slama (2002) *in* Slama *et al.* [72] L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique.

4.2.3.3. Ajustement osmotique

D'autres critères potentiels de tolérance à la sécheresse et donc d'augmentation du rendement en grain et d'indice de récolte dans les zones arides et semi-arides sont l'ajustement osmotique permettant le maintien de la turgescence et donc de la photosynthèse et la capacité des plantes à mobiliser les assimilats carbonés des organes végétatifs vers les grains sous des conditions de déficit hydrique [12].

Conclusion

La sélection de céréales dans des régions à forte contrainte hydrique implique donc une remise en cause des doctrines et des stratégies, s'appuyant sur une analyse des relations plante-milieu et sur une étude approfondie des mécanismes d'adaptation du végétal [41]. Cette sélection doit être envisagée selon une démarche synthétique, tenant compte des interactions qui existent entre organes et fonctions au sein de l'organisme [73]. Les mécanismes d'adaptation changent avec le génotype, l'âge de la plante, l'environnement, le type d'organe et de tissu. Pour ces raisons, il est nécessaire de déterminer les conditions les plus appropriées pour lesquelles on observe le type de réponse physiologique qui est mieux lié à l'amélioration de la productivité [93].

Les techniques d'amélioration des plantes peuvent être utilisées pour introduire des caractères favorables dans les nouveaux cultivars. Toutefois, l'action du caractère simple peut avoir un peu d'effet et plusieurs caractères peuvent être recommandés pour avoir la tolérance. La capacité d'ajustement osmotique et la conductance stomatique des feuilles ont fait l'objet de plusieurs études [94].

CHAPITRE 5

INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONNEMENT

5.1. Quelques définitions

5.1.1. Notion d'environnement

L'environnement peut être défini comme un ensemble de conditions biophysiques influençant la croissance et le développement du matériel biologique, et de ce fait l'expression de certains caractères [95]. Les facteurs environnementaux (les facteurs non génétiques) tels que le lieu, la saison de croissance, l'année, les précipitations, la quantité de précipitation reçue pendant chaque saison, etc. peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur le génotype [96].

Bondari (1996) *in* Bondari [96] rapporte les variations environnementales en deux types : (1) micro environnementales qui ne peuvent pas être identifiées facilement ou prévues (exemple : les variations de précipitation d'une année à une autre, les conditions de sécheresse, la dimension des dommages par les insectes) et les variances macro environnementales qui peuvent être identifiées et prévues (exemple : le type du sol, les pratiques culturales, le contrôle de la température).

5.1.2. Notion de génotype

L'ensemble des allèles d'un individu constitue un génotype [97] [98]. Ces allèles sont héréditaires transmis des parents à leurs descendants. Le génotype stable au cours de la vie, contrôle le phénotype. Celui-ci est soumis aux influences du milieu dans lequel vit l'organisme [99].

5.1.3. Notion de phénotype

Le phénotype est une caractéristique mesurable ou distinctive d'un organisme. Il est l'expression visible du génotype dans un environnement donné [100][97]. Les caractères héréditaires qui décrivent le phénotype d'un organisme sont l'expression d'une information génétique [100].

5.1.4. Notion d'interaction génotype x milieu

L'association entre l'environnement et l'expression phénotypique du génotype constitue l'interaction génotype x environnement. L'interaction génotype x environnement détermine si le génotype est largement adapté pour une gamme entière de conditions environnementales ou des génotypes séparés doivent être choisis pour différents subenvironnements. Lorsque l'interaction génotype x environnement a lieu, les facteurs du milieu (température, précipitation, etc), en plus de la constitution génétique d'un individu (génotype), influencent l'expression phénotypique d'un caractère. Les plans de multiplication peuvent se concentrer sur l'interaction génotype x environnement pour choisir le meilleur génotype dans un ensemble d'environnements [96].

L'existence de l'interaction génotype environnement peut signifier que le génotype qui est le meilleur dans un certain milieu n'est plus le meilleur s'il est placé dans un autre milieu. Mais il n'est pas aussi évident que de petites différences entre les conditions de milieu nécessitent aussi des adaptations locales. [101]. En absence d'interaction génotype x environnement, le meilleur génotype dans un environnement peut être considéré comme meilleur génotype en général, tandis que la présence de l'interaction génotype x environnement confirme que les génotypes particuliers étant meilleurs dans des environnements particuliers [96].

5.2. Importance de l'interaction génotype x milieu

L'interaction génotype x environnement est un phénomène commun dans la recherche agricole. Les différences entre les valeurs génotypiques peuvent augmenter ou diminuer d'un environnement à l'autre [96]. Une compréhension des

causes de l'interaction génotype x environnement GE peut aider à identifier les caractères qui contribuent à la performance d'un meilleur cultivar et les environnements qui facilitent l'évaluation des cultivars [102].

Les interactions produites entre le génotype et l'environnement (G x E), dues à différentes réactions des variétés spécifiques à un environnement donné, certaines restent plus tolérantes que d'autres aux conditions extrêmes de croissance et de récolte [103].

Dans les régions à contraintes environnementales fortes et erratiques, la productivité ne peut être retenue, ni comme objectif de sélection (des niveaux de rendement proches du rendement potentiel ayant de très faibles probabilités d'être atteints), ni, *a fortiori*, comme critère de sélection. La définition des objectifs passe en effet dans ces zones par une analyse de la variabilité des rendements intégrant l'analyse de la variabilité environnementale (spatiale et interannuelle), en d'autres termes par une analyse des interactions génotype x milieu ; dans le cas contraire, le risque est grand pour le sélectionneur de tomber dans ce piège que Reitz appelait la *one-year miracle variety* [104].

Le concept de corrélation génétique peut être appliqué à des problèmes ayant trait aux interactions du génotype avec le milieu. La signification de l'interaction entre génotype et environnement est une source de variation des valeurs phénotypiques qui dans beaucoup d'analyses est inséparable de la variance d'environnement [101].

Le terme interaction génotype x environnement se rapporte généralement à la variation du rendement qui ne peut pas être expliqué par l'effet principal du génotype et l'effet principal de l'environnement E [102]. La qualité des grains au moulin et le résultat de l'interaction du génotype avec l'environnement (G x E), impliquant tous les facteurs environnementaux de l'ensemencement à la livraison au moulin. L'interaction G x E est différente potentiellement pour chaque aspect de la qualité du grain [103].

5.3. La sélection multilocale

Dans la sélection multilocale, en présence d'interaction génotype x milieu, la meilleure stratégie est d'étudier le matériel (familles, descendances) dans le plus grand nombre de milieu avec un seul essai par milieu. Cela conduit donc à une héritabilité faible pour un milieu donné mais à une plus grande précision sur la valeur génotypique du matériel. L'introduction des marqueurs va permettre d'augmenter l'héritabilité dans chaque milieu de test et ainsi il sera possible de voir les adaptations particulières et de repérer les QTLs d'adaptation : il devient possible de sélectionner simultanément et efficacement sur la performance moyenne et sur la stabilité des performances [51]. L'amélioration des performances dans un milieu différent de celui dans lequel la sélection a été faite peut se prévoir en connaissant l'héritabilité de ces performances dans chacun des milieux et la corrélation génétique qui existe entre ces performances [101].

Le sélectionneur ne peut donc améliorer un caractère que dans la mesure où la variation phénotypique totale de ce caractère dépend de l'effet additif des gènes, c'est-à-dire à l'exclusion de cette partie de la variation qui dépend de l'environnement, des interactions interalléliques et des interactions épistatiques. Il est donc important de connaître la part de la variance phénotypique totale, due à l'effet additif des gènes. Si V_P est la variance phénotypique totale :

$$V_P = V_A + V_D + V_I + V_E$$

Où V_A est la variance due à l'effet additif des gènes.

V_D la variance due à la dominance

V_I la variance due à l'interaction épistatique entre loci et V_E la variance due à l'environnement [105].

Exprimant la valeur phénotypique (P) en fonction du génotype (G) et de l'environnement E, l'équation, $P = G + E$ indique la situation où les facteurs influencent chaque génotype d'une manière égale. Cependant, quand l'environnement influence quelques génotypes davantage que d'autres, le rapport phénotypique change en $P = G + E + IGE$ et l'expression inclut la limite de $G \times E$. Statistiquement, l'interaction $G \times E$ a lieu si la performance des génotypes varie significativement à travers les environnements [96]. La présence de l'interaction $G \times E$ indique que l'expression

phénotypique d'un génotype pourrait être supérieure à un autre génotype dans un environnement mais inférieure dans un autre environnement [106].

5.4. Les QTLs et l'environnement

Les facteurs génétiques peuvent être individuellement localisés et quantifiés et sont nommés QTL « Quantitatif Trait Loci ». QTL est locus polymorphe ayant une influence sur la valeur quantitative du caractère étudié [107]. La génétique quantitative vise à quantifier certains effets, comme ceux du milieu, du génotype, de l'additivité, etc..., sur l'expression ou la transmission d'un caractère dont, par principe, le déterminisme génétique est inconnu [108].

Dans la mesure où il semble exister des QTLs spécifiques d'adaptation à certains milieux (ce qui était prévisible), pour construire la variété la plus stable possible, il faudra accumuler dans un même génotype le maximum de QTLs d'adaptation. Les marqueurs devraient permettre de construire, plus rapidement et avec plus de sécurité, de tels génotypes [51].

Si un marqueur est lié par déséquilibre de liaison, quelle que soit l'origine, à un locus affectant un caractère quantitatif (QTL), alors connaissant le génotype marqueur, il devient possible d'estimer avec beaucoup de précision la part de la variabilité génétique du caractère quantitatif due au QTL marqué à la génération considérée. En effet, dans un milieu donné, la part des variations aléatoires dues au micro-milieu sera très fortement réduite par le fait que la valeur d'un génotype marqueur sera calculé sur la moyenne d'un grand nombre d'individus (les individus d'un même génotype marqueur sont en fait des répétitions du QTL) [51].

Conclusion

Une compréhension des causes environnementales et génotypiques de l'interaction GE est importante à toutes les étapes de la sélection, y compris l'étude d'idéotype, la sélection des parents, la sélection basée sur les caractères et la sélection basée sur le rendement. Pour sélectionner les meilleurs cultivars, il semble

qu'il n'y a pas de voie facile que celle d'un large essai et choisir pour les deux caractères, le rendement et sa stabilité [102].

Comprendre les corrélations de caractères et l'interaction G x E pose tout à fait des problèmes logistiques et mathématiques [109]. La présence d'interaction G x E crée un dilemme des critères de sélection où la production et l'adaptabilité sont généralement opposées. L'utilisation de différents caractères comme critères de sélection permettent un itinéraire plausible pour modérer les effets négatifs de l'interaction G x E [110]. L'absence de l'interaction génotype x environnement simplifie l'amélioration parce que le meilleur génotype dans un environnement serait également le meilleur pour tous les environnements ciblés [95].

CHAPITRE 6

LA QUALITE TECHNOLOGIQUE

Introduction

L'intérêt de la culture du blé dur réside dans l'utilisation en semoulerie et dans la fabrication de pâtes alimentaires [32]. L'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois groupes de paramètres : la couleur (qui résulte de la superposition d'une composante jaune et d'une composante brune), le nombre et l'origine des piqûres (piqûres brunes dues à la présence de particules de sons, piqûres noires provenant de grains mouchetés) et la texture des produits (gerçures, bulles d'air, points blancs et état de surface des pâtes sèches qui dépendent des conditions de fabrication des pâtes) [111].

6.1. Notion de qualité technologique

La notion de qualité est extrêmement complexe. Ainsi pour une technologie déterminée, la qualité d'un produit donné dépend des caractéristiques de la céréale et se trouve donc influencée à la fois par les caractères génétiques de la variété et par les conditions de développement de la plante [112].

Il convient à cet égard de noter qu'on regroupe sous le terme de qualité ou de valeur industrielle ou encore de valeur technologique l'ensemble des caractéristiques du blé dur dont dépendent :

- D'une part le rendement en semoules d'une pureté déterminée, c'est-à-dire le poids de ces semoules rapporté au poids du blé mis en œuvre. On parle alors de valeur semoulière du blé dur ;

- D'autre part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. On parle alors de valeur pastière [112].

6.2. La valeur semoulière

La valeur semoulière du blé dur est déterminée par la quantité de semoule extraite avec de bonnes propriétés technologiques [113]. Abecassis [114] la définit comme l'aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée. Elle dépend de plusieurs groupes de facteurs. Certains sont plus directement liés aux conditions de culture et de récolte comme 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 [115].

- Le poids de mille grains

La grosseur des grains est non seulement une composante du rendement mais aussi un facteur de qualité [17]. La masse de mille grains, le plus souvent appelée poids de mille grains, est la masse de mille grains entiers exprimée en grammes. C'est un critère d'un grand intérêt dans les expérimentations agronomiques. Il permet de caractériser une variété, de mettre en évidence des anomalies comme l'échaudage, d'étudier l'influence des traitements en végétation ou des conditions climatiques qui, toutes, modifient la masse de mille grains [116].

- Le taux de mitadinage

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain [117]. Il se définit comme suit : le grain coupé va présenter des traces farineuses. A l'inverse, un grain vitreux (ce que l'on recherche) a, une fois coupé, une surface lisse et brillante, sans la moindre trace farineuse. Un lot de blé dur doit présenter un taux de mitadinage inférieure à 20%. Il a une forte relation entre un fort taux de protéines et un faible mitadinage [32]. Selon

Braun [118] une teneur en protéine supérieure à 14 % permet de limiter à moins de 20 % le nombre de grains mitadinés.

- Proportion d'impuretés

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans l'échantillon. Elles sont constituées de grains de l'espèce, cassés, altérés ou attaqués par les déprédateurs, de graines étrangères à l'espèce analysée, d'éléments d'origine organique et non organique [116].

- Teneur en eau

Une teneur en eau supérieure à une certaine limite de sécurité laquelle est fonction du type de grain favorise les infestations de champignons et réduit la durée de conservation [119]. Pour une bonne conservation, il faut maintenir le grain au dessous de 15°C [32].

La connaissance de l'humidité présente un grand intérêt pour l'agriculteur [32]:

- A la récolte, pour l'établissement du planning d'utilisation de la moissonneuse-batteuse.
- Au stockage, pour la répartition en lots homogènes permettant le choix du traitement et, éventuellement, le contrôle de fonctionnement du séchoir.

6.3. La valeur pastière

- Qualité visuelle

La couleur est actuellement un critère majeur de la qualité des pâtes alimentaires et par conséquent de l'amélioration génétique du blé dur [120]. Elle résulte de la superposition d'une composante jaune, recherchée, et d'une composante brune, indésirable [111]. Les critères de coloration résultent d'un potentiel de pigments caroténoïdes (indice de jaune) et de l'activité enzymatique du grain (indice de brun) [121].

Les facteurs de classement associés à une altération de la couleur superficielle du grain sont plus importants pour le blé dur, car il est essentiel que la semoule soit brillante et exempte de piqûres pour satisfaire aux critères esthétiques permettant la commercialisation de pâtes alimentaires de première qualité [122].

Tableau 3 : Les valeurs numériques réelles de couleur pour la qualité moyenne de la semoule [123] :

Teneur en pigments	Haute qualité	Qualité moyenne
β -carotène (ppm/MS)	>5	3-5
Indice de jaune	>23.5	19.0-23.5

La présence de points bruns de son et d'autres corps étrangers de diverses couleurs, principalement rouges et noirs, peut être mesurée en comptant le nombre de points par décimètre carré de la surface de la semoule, à l'aide d'une loupe et d'une lumière constante [123].

Tableau 4 : appréciation de la qualité de la semoule en présence de point bruns et d'autres corps étrangers [123]

	Haute qualité	Qualité moyenne
Nombre de points noirs/dm ²	<10	10-20
Nombre de points rouges et marron/dm ²	<100	100-150

- Qualité culinaire

Elle, se caractérise par la fermeté et l'élasticité des pâtes après cuisson ou surcuisson (mesurée par un indice de ténacité) et par un bon état de surface (pas collant) [121].

Pour toutes les industries de transformation, la technologie des pâtes est primordiale. Leurs caractéristiques sont conditionnées par leurs propriétés rhéologiques, elles-mêmes déterminées par les caractéristiques physico-chimiques du gluten [112]. Le gluten se différencie des autres matières protéiques végétales

par ses propriétés de ténacité, d'élasticité et d'extensibilité à l'état hydraté [27]. La ténacité des pâtes après cuisson est associée à un taux élevé en protéines et à une répartition particulière de différentes natures de protéines [124].

La dureté du grain de blé résulte d'une texture de l'albumen plus compacte et de l'agrégation entre les particules de l'amidon et la matrice protéique [125].

6.4. L'environnement et la qualité du blé dur

Les conditions environnementales de culture et de récolte influent sur les propriétés physiques du blé [122]. Certaines formes courantes de dommages environnementaux peuvent avoir des conséquences graves pour l'aptitude technologique du blé, c'est-à-dire sur son aptitude à être transformé [126]. La fusariose comme exemple a des effets néfastes sur la mouture des semoules, la force du gluten et la couleur des pâtes [122].

Certaines conditions ont une influence dans l'extraction des semoules, selon la portion de semoules de qualité et le blé dur utilisé : (i) les caractéristiques génétiques et physiologiques du blé dur ; (ii) les propriétés physiques et chimiques du blé dur ; (iii) les qualités technologiques des produits de mouture : semoules ; (iv) les conditions économiques ; (v) les facteurs de l'environnement et les conditions hygiéniques du travail [113].

5.5. Le contrôle génétique de certains caractères technologiques

La localisation chromosomique des gènes codant pour les gliadines a été précisé (chromosomes 1 et 6 de chacun des génomes du blé) ainsi que leur déterminisme génétique (la plupart des composants étudiés semble se transmettre par « blocs » alléliques dont l'hérédité serait de type co-dominant) [112]. Selon Cherdouh et al [127], les allèles Glu-A3 a et Glu-B3 a ont une influence sur l'indice de jaune, le gluten humide et le gluten sec. Les allèles Glu-A3 b et Glu-B3 b ont aussi une influence sur le mitadinage et l'indice de brun.

La couleur jaune des pâtes est une caractéristique génétique liée à la présence de 3 gènes majeurs à action additive, plus un gène récessif modificateur de l'intensité. La sélection pour ce caractère ne pose donc pas de problème particulier dans la mesure où la liaison entre l'intensité du jaune et la faible résistance à la cuisson est rompue [112].

Abecassis *et al.*, (1990) [128] souligne que l'équilibre entre les différentes protéines est plutôt sous la dépendance de facteurs génétiques.

Conclusion

La régularité de la qualité est, elle aussi, primordiale et conditionne la constance de qualité du produit fini. Il s'agit donc de sélectionner des blés qui présentent une bonne régularité de la qualité, grâce à une faible sensibilité aux conditions extérieures. Il est certain que la sélection de variétés ayant une bonne valeur d'utilisation potentielle est une condition nécessaire, mais non suffisante, pour produire un produit de qualité, résultat inéluctable de l'interaction génotype x milieu. Une définition plus précise des zones aptes à produire des blés répondant aux exigences des utilisateurs doit être entreprise, ainsi qu'une recherche sur les techniques culturales favorables [112].

CHAPITRE 7

MATERIELS ET METHODES

7.1. Objectifs de l'expérimentation

L'objectif principal de notre expérimentation est de montrer l'importance de l'interaction génotype x milieu dans l'expression des variétés. Cette étude nous montre l'effet des variations des conditions environnementales sur l'ensemble des variétés de blés étudiés. Ceci est vérifié en étudiant différents paramètres au cours du cycle de la plante dans les deux environnements d'étude.

Les résultats obtenus nous permettront par la suite de sélectionner les meilleures variétés du point de vue caractères phénologiques, agronomiques et technologiques et la stabilité de ces derniers dans l'espace.

Notre travail consiste à étudier 18 variétés dont 6 variétés sont des témoins bien connus. Ces variétés sont cultivées dans deux sites différents ; Oued Smar situé à Alger et El Khroub, situé dans la wilaya de Constantine.

7.2. Etude du milieu d'expérimentation

7.2.1. Situation géographique

Notre expérimentation a été réalisée dans deux stations différentes ; l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'Oued Smar qui se situe sur la partie Nord Est de la plaine de la Mitidja à une altitude de 24 mètres, latitude 30° 43 Est et l'ITGC d'El Khroub de Constantine qui se situe à 4 km Sud Est de Constantine à une altitude de 600 mètres, latitude 6.67 Est et longitude 36.25. La superficie utile de cette station est de 22 ha, par contre celle de la station d'Oued Smar est de 40 ha.

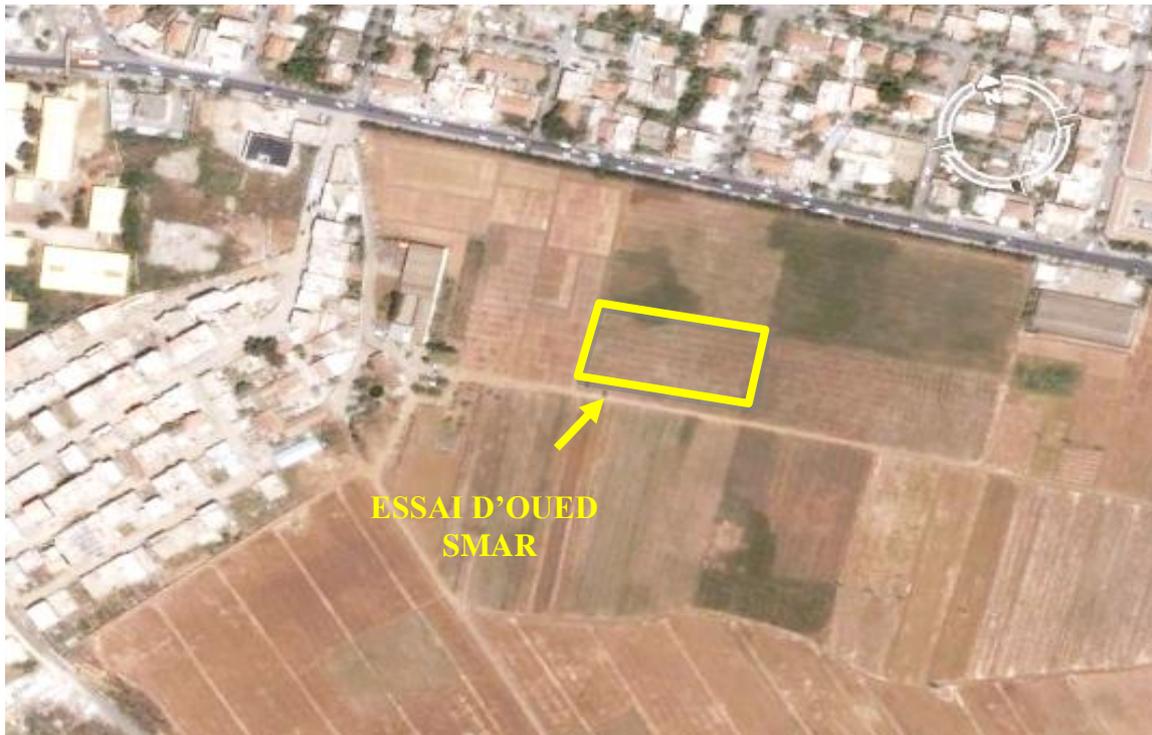


Figure 3 : Image satellite de la parcelle de l'essai à Oued Smar
(36.42'24.79° Nord ; 3.09'37.69 ° Est).

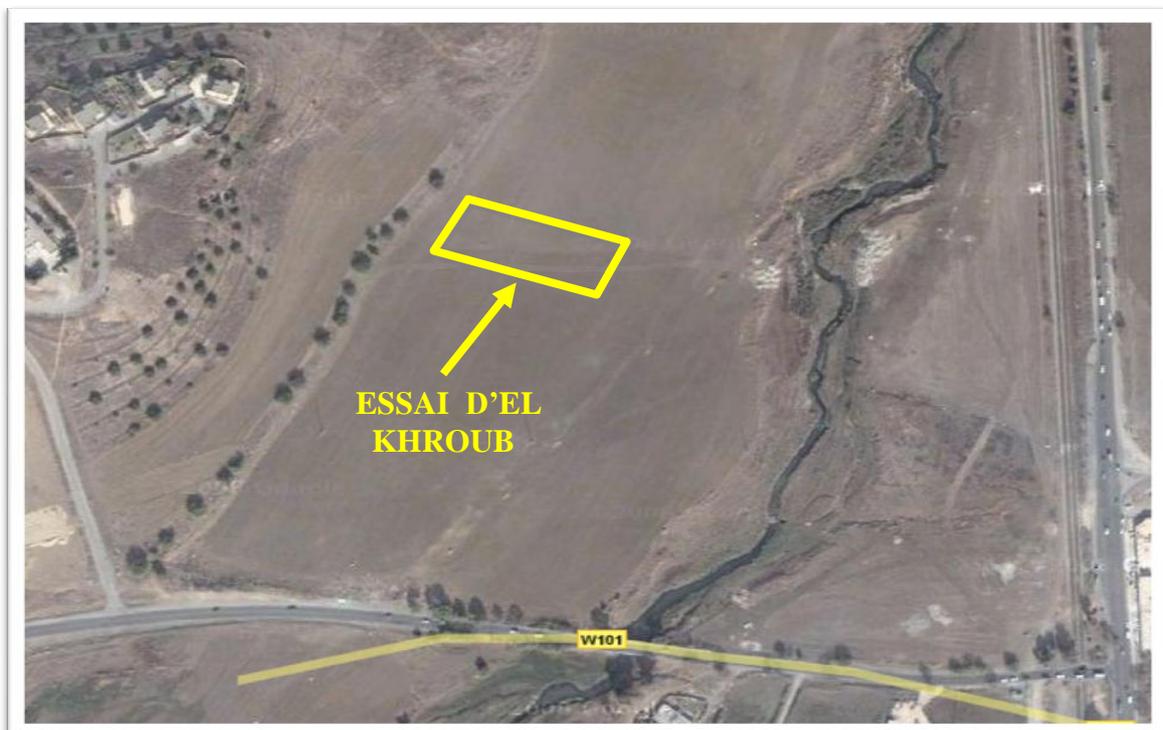


Figure 4 : Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia- El Khroub
(36.276524° Nord ; 6.687069 ° Est).

La station de Oued Smar se situe à l'étage bioclimatique sub-humide et celle d'El Khroub se situe à l'étage bioclimatique semi-aride. Les deux essais ont été réalisés en plein champ et la culture a été conduite en sec dans les deux stations.

7.2.2. Conditions pédoclimatiques

7.2.2.1. Conditions édaphiques

La station d'Oued Smar

Tableau 5: Les caractéristiques physiques du sol d'Oued Smar

Profondeur	Fraction granulométrique		
	Argile %	Limon %	Sable %
0 à 20 cm	50.61	30.02	19.08
20 à 40 cm	52.53	29.18	18.57

La station d'El Khroub

Tableau 6 : Les caractéristiques physiques du sol d'El Khroub

Horizon	Argile%	Limon %	Sable fin %	Sable grossier%
A	37.5	34.0	2.10	0.9
AB	44.5	25.0	1.7	0.8

Analyses effectuées par l'ITGC, (2008).

La texture dominante du sol dans les deux sites d'étude est argilo-limoneuse. Le sol donc a une porosité plus grande, forte rétention en eau, une capacité maximale, caractérisé par une apparition de fentes de retrait en périodes sèches.

7.2.2.2. Conditions climatiques

7.2.2.2.1. Pluviométrie et températures

Les données climatiques d'Oued Smar

Tableau 7: Pluviométries mensuelles enregistrées durant la campagne 2007/2008 en comparaison avec celles enregistrées durant la période 1989/2004.

Mois	Total mensuel 2007/2008 (mm)	Moyennes mensuelles 1989/2004 (mm)	Ecart de précipitation	Températures moyennes
Septembre	34.0	30.6	+3.4	23.9
Octobre	103.5	57.7	+45.8	20.5
Novembre	280.6	81.4	+199.2	13.2
Décembre	89.5	74.1	+15.4	11.5
Janvier	22.1	96.9	-74.8	12.1
Février	22.0	74.5	-52.5	13.1
Mars	66	50.3	+15.7	14.8
Avril	22.0	65.8	-43.8	16.2
Mai	76.1	49.4	+26.7	17.6
Juin	5.5	8.3	-2.8	
Total	721.3	589	132.30	

	Automne	Hiver	Printemps	Total annuel
Pluviométrie 07 /08	418.10	133.6	164.10	715.80
Moy89 /04	169.70	245.50	165.50	580.70
Ecart	+248.40	-111.90	-1.40	+135.00

Commentaire

Le cumul pluviométrique enregistré à la station de Oued Smar durant la campagne 2007/2008 s'élève à 721 mm soit un surplus de 132.30 mm par rapport à la moyenne de la période 1989/2004.

Les conditions climatiques de cette campagne se caractérisent par des précipitations élevées entre septembre et décembre. Par la suite, les précipitations sont faibles entre les mois de Janvier jusqu'au mois de juin ce qui a affecté la culture durant les stades critiques en eau telles que le remplissage du grain.

La répartition des pluies durant toute la campagne agricole est comme suit :

Entre le mois de Septembre et décembre : cette période correspond à la mise en place de l'essai. Elle se caractérise par un surplus de 248.40 mm par rapport à la moyenne de la période 1989/2004. De ce fait, le sol a été préparé dans des conditions humides ce qui a provoqué une hétérogénéité à la levée.

Entre le mois de janvier et février, ces deux mois sont caractérisés par des précipitations très faibles (44.1 mm). Ceci a causé une levée faible et une émission de talles herbacées tardivement. Durant le mois de mars et Avril, les précipitations sont respectivement de 66 et 22 mm. Elles sont faibles, ceci a affecté les stades critiques en eau entre autre le remplissage de grain. Par contre, les précipitations du mois de mai (76.1 mm) ont provoqué le développement de saprophytes dans le champ.

Les données climatiques d'El Khroub

Le cumul annuel pluviométrique est de 394.5 mm pour la période de septembre à juin. Il est inférieur à celui de 25 ans (486.5 mm), après les mois de septembre à décembre où les pluies ont été bien réparties et relativement satisfaisantes (216 mm), cette quantité a déjà dépassé le cumul de la campagne précédente (174.1 mm).

Une sécheresse a été enregistrée en début du cycle végétatif, notamment les mois de janvier et février (18.6 mm) avec respectivement 9.9 et 8.7mm. Le mois de mars a été plus ou moins pluvieux, ce qui a permis à la végétation de reprendre le cycle. Il est à signaler que cette sécheresse a affecté l'installation de la plante et a réduit le tallage par la suite. Au cours de cette courte période, on a enregistré un total de 29 jours de gelée qui est assez conséquent, ce qui a ralenti le développement végétatif.

Tableau 8 : les températures et les précipitations moyennes de la campagne agricole 2007/2008 ainsi que les précipitations des vingt cinq dernières années.

Mois	Pluv 07/08	TMoy	NJ gelée	Pluv 25 ans	Pluv 06/07
SEPTEMBRE	59,9	21,86	0	37,5	26,2
OCTOBRE	39,1	18,1	0	38,6	10
NOVEMBRE	23,8	10,4	4	44,6	19,1
DECEMBRE	93,4	7,63	10	73,2	118,8
JANVIER	9,9	5,31	15	62,8	14,2
FEVRIER	8,7	7,93	14	53,8	28,9
MARS	72,6	10,01	0	56,2	117,8
AVRIL	23,1	13,73	3	59	66,2
MAI	58,2	18,69	0	42,3	26,1
JUIN	5,8	19,06	0	19,3	13,6
TOTAL	394,5	13,272	46	487,3	440,9

7.3. Protocole expérimental

7.3.1. Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de 18 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) ; 12 variétés sont issues des nouvelles obtentions variétales, lignées avancées sélectionnées à travers les stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), comparées à 6 variétés témoins sélectionnées en Algérie caractérisées par une large adaptation dont les caractéristiques sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Liste des variétés utilisées, leur pédigree et leur origine

Les variétés	Leur pédigree	Obtenteur
V1	TR32225/GEDIZ//OFANTO	SETIF
V2	OFANTO/WAHA/MBB	SETIF
V3	BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-1S-OS)	SETIF
V4	BOUSSELLAM/OFANTO(6S- 1S-8S-2S-OS)	SETIF
V5	OFANTO/WAHA/WAHA	SETIF
V6	MBB TEMOIN	SETIF
V7	BOUSSELLAM TEMOIN	SETIF
V8	WAHA TEMOIN	SETIF
V9	ACSAD1107 TEMOIN	SETIF
V10	TILO-1.LOTUS-4	EL KHROUB
V11	SHAKE-3/GREEN-18	EL KHROUB
V12	TOTUS/CARGO//ALTAR 84/AOS	EL KHROUB
V13	GTA X DUR TEMOIN	EL KHROUB
V14	PLATA-1/SNM//PLATA-9	EL KHROUB
V15	CANELO-8//SORA/2*PLATA- 12	EL KHROUB
V16	LAPDY-47/HAI-OU-17	EL KHROUB
V17	LABDY-37/BUSCA-3	EL KHROUB
V18	CIRTA TEMOIN	EL KHROUB

Tableau 10: Origine et caractéristiques agronomiques des variétés témoins

		Waha	CIRTA	GTA dur	MBB	Boussalem	ACSD 1107			
Provenance		ICARDA	Algérie	CIMMYT	Algérie	ICARDA-CIMMYT	ICARDA			
Caractéristiques Morphologiques	Compacité de l'épi		Demi-lâche à compact	Moyen	Compact	Compact	Demi-lâche	Moyen		
	Couleur de l'épi		Clair ombré à roux	Blanc	Blanc	Roux	Blanche	Blanc		
	Hauteur de la plante à maturité		80-90 cm	Moyenne	Moyen	120 cm	90-100	Moyen		
Caractéristiques Culturales	Alternativité		Hiver	Hiver	Hiver	Automne	Hiver	Hiver		
	Cycle végétatif		Précoce	Semi-précoce	Précoce	Tardif	mi-tardif	Moyen		
	Tallage		Moyen à fort	Fort	Fort	Moyen	Fort	-		
	Résistance	Au froid		++	++	+++	+++	Bonne	-	
		A la verse		+++	+	+	-	Bonne	-	
		A la sécheresse		-	++	+++	++	Bonne	-	
		Egrenage		+++	++	+++		+++	-	
		Gelé printanières		-					-	
		Résistance aux maladies	Rouille jaune		++	+	+++	++	+++	-
			Rouille brune		++	+	+	-	+++	+++
			Rouille noire		++	+	+++	-	+++	-
			Piétin verse		+++	+	+++	-	+++	-
			Piétin échaudage		-		+++	++	+++	-
Oïdium			+++		+++	++	+++	-		
Septoriose			+		+++	--	+++	+++		
fusariose		+	++	+++	--	+++	-			

(+++) résistante

(++) tolérante

(+) moyennement résistante

(-) sensible

(- -) moyennement sensible

Tableau 11: Caractéristiques technologiques des variétés témoins

Variétés	Résistance au mitadinage	Résistance à la moucheture	Taux d'extraction	Intensité de la coloration des pâtes (indice de jaune)	Taux de protéines	PMG	Appréciation
Boussalem	+++	+++	moyen	/	Elevé	Elevé	Blé correcteur
Waha	+++	+++	moyen	faible	moyen	élevé	Blé correcteur
MBB	+++	++	moyen	moyen	/	moyen	/
GTA dur	++	/	/	/	/	moyen	/
CIRTA	+++	-				élevé	
ACSAD							

(Source : Zaghouane F et Zaghouane O, 2006) [35]

7.3.2. L'élaboration du plan d'expérience

Notre essai est plurifactoriel. Ceci nous a permis d'étudier l'effet de chacun des facteurs étudiés ainsi que l'interaction entre eux. Les différents facteurs sont le facteur variété et le facteur environnement. Le facteur variété présente 18 variantes tandis que le facteur environnement présente deux variantes.

L'élaboration du plan d'expérience a été résumé comme suit :

Nombre de facteurs : 2

Facteur 1 : variété

Facteur 2 : environnement

Le nombre de variantes

Facteur 1 = 18 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17, V18).

Facteur 2 = 2 (E1 et E2). Sachant que E1 représente la station Oued Smar et E2 représente la station d'El Khroub.

La combinaison entre les variantes du facteur environnement (2), celle des variétés (18) et celle du facteur bloc nous donne 144 traitements de base. Ces traitements sont comme suit : V1E1, V2E1, V3E1, V4E1, V5E1, V6E1, V7E1, V8E1, V9E1, V10E1, V11E1, V12E1, V13E1, V14E1, V15E1, V16E1, V17E1, V18E1, V1E2,

V2E2, V3E2, V4E2, V5E2, V6E2, V7E2, V8E2, V9E2, V10E2, V11E2, V12E2, V13E2, V14E2, V15E2, V16E2, V17E2, V18E2.

Les traitements sont affectés aléatoirement au niveau de chaque station. Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet (BAC) composé de quatre blocs. Chaque bloc contient 18 microparcelles.

Pour les deux stations, la surface de chaque microparcelle est de 6 m², 5 mètres de long et 1.2 mètre de large.

Les deux figures ci-dessous montrent le dispositif expérimental correspondant à chaque station (Oued Smar et El Khroub) :

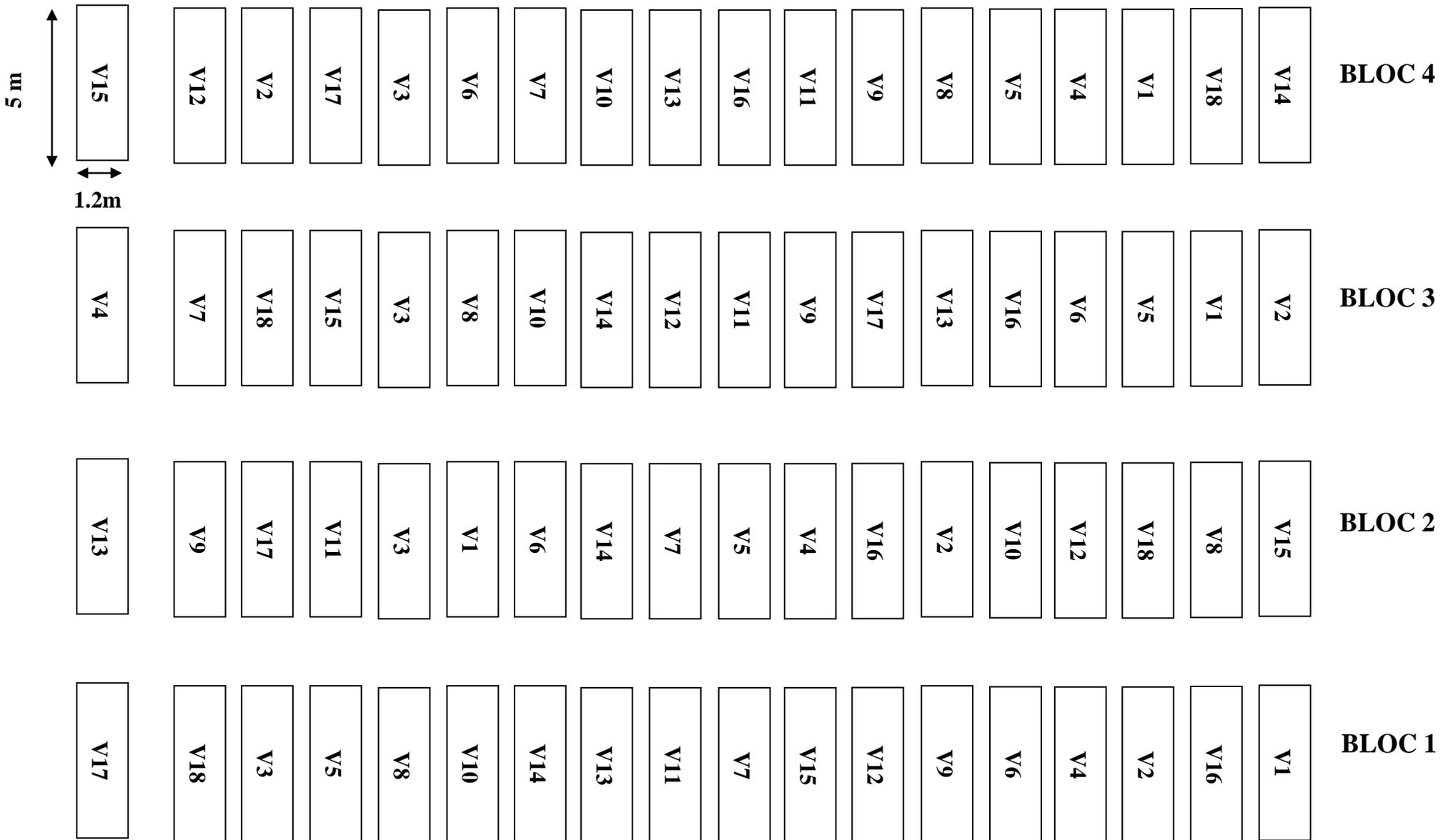


Figure 5: Dispositif expérimental de l'essai d'Oued Smar

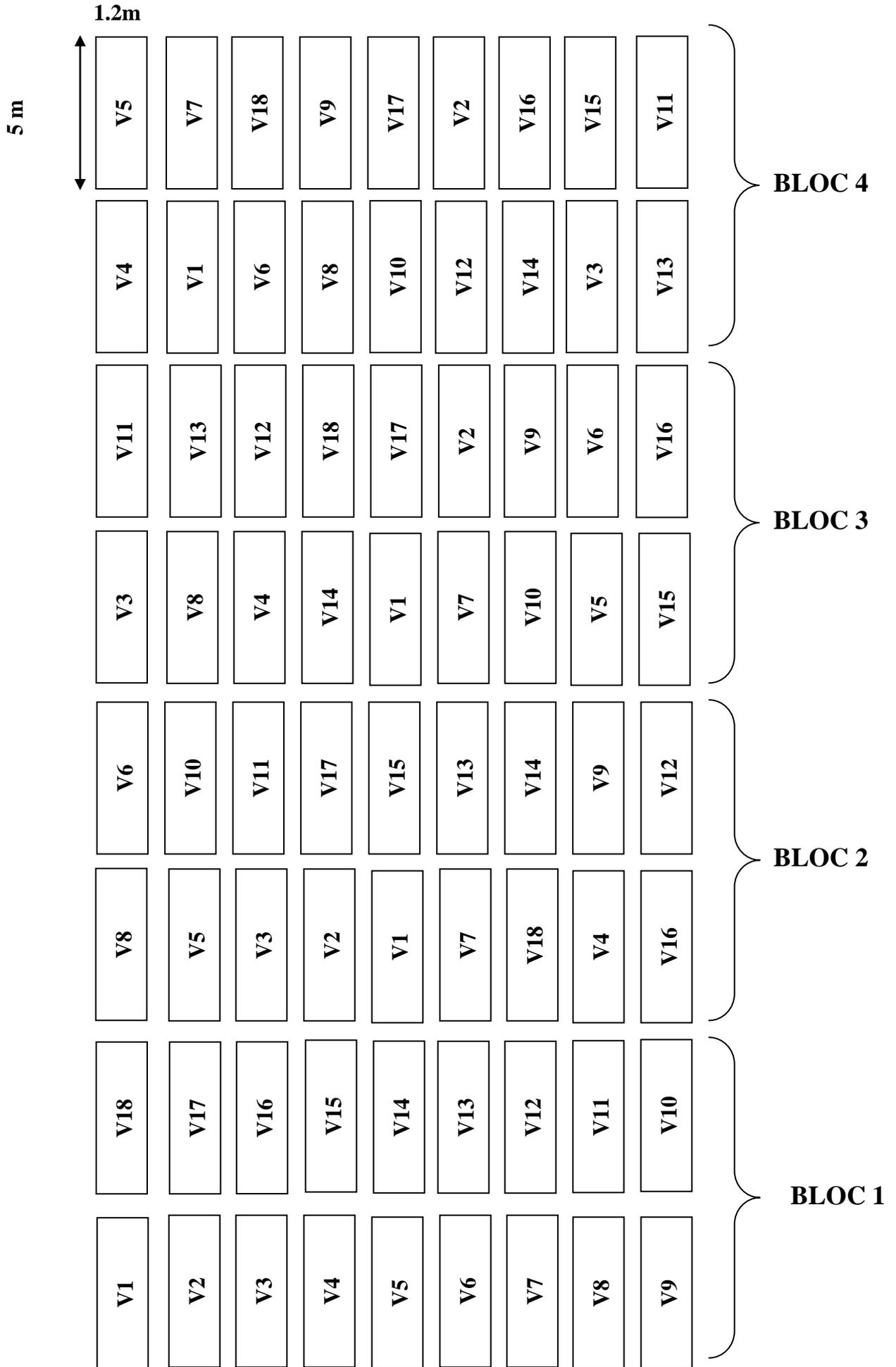


Figure 6 : Dispositif expérimental de l'essai d'El Khroub

7.3.3. Démarche d'analyse et d'interprétation statistique

Les résultats obtenus des deux stations sont analysés à l'aide d'un logiciel appelé STAT ITCF. Cette analyse nous a donné en premier lieu l'effet de chacun des facteurs étudiés et leur interaction, ces résultats sont illustrés dans le tableau d'analyse de la variance.

Le seuil de signification retenu est de 5 %. Si la probabilité est inférieure à ce seuil, on pourra dire qu'il existe un effet significatif du facteur étudié (génotype, environnement ou leur interaction). Si au contraire, la probabilité est supérieure à ce seuil, on pourra dire qu'il n'existe pas d'effet significatif du facteur étudié.

Si l'analyse statistique montre un effet significatif dans l'interaction des deux facteurs étudiés (interaction génotype x environnement), ceci indique qu'il existe une dépendance de l'expression des deux facteurs. A cet effet, la comparaison des différentes moyennes nous montre le nombre de groupes homogènes existants pour le paramètre étudié. Cette comparaison est faite en utilisant le test de Newman et Keuls (ou le test PPAS).

Si au contraire, l'analyse statistique ne montre pas de signification de l'interaction génotype x environnement, on interprète juste les facteurs qui montrent une signification (génotype ou milieu) sans passer au test de PPAS pour le facteur interaction G x E.

7.3.4. Conduite de l'essai

7.3.4.1. Itinéraires techniques

a) Précédent cultural

Le précédent cultural au niveau de la station d'Oued Smar est une céréale tandis que dans la station d'El Khroub c'est une jachère travaillée.

b) Travail du sol

Dans la station d'Oued Smar, le travail du sol s'est effectué en premier lieu avec un labour profond à l'aide d'une charrue bisoc. Ce travail a été suivi par un passage du cultivateur et de la herse pour la préparation des façons superficielles et du lit de semences.

Dans la station d'El Khroub, un labour profond a été réalisé au cours du mois de novembre, suivi de trois passages du cover-crop pour la préparation du lit de semences et aussi pour casser les mottes et se débarrasser des adventices.

c) Fumure

Dans la station d'Oued Smar, la fumure utilisée se résume à :

- L'épandage d'engrais phosphaté, TSP à une dose de 2q/ha ;
- Apport d'azote sous forme d'urée à une dose de 1.5 q/ha soit 69 U/ha

Dans la station d'El Khroub, la fumure appliquée se résume à :

- à un épandage de 1q/ha de superphosphate à 46 % réalisé à l'aide d'un épandeur d'engrais ;
- à l'apporté 1q/ha d'engrais azoté (l'urée à 46%) soit 46 unité de N.

d) Semis

Au niveau de la station d'Oued Smar, le semis a été effectué à l'aide d'un semoir expérimental le 22/12/2007, et ceci à une profondeur de semis de 3 cm.

Dans la station d'El Khroub, le semis a été effectué le 27/11/2007 à l'aide d'un semoir expérimental. La densité est de 250 grains par m². Elle a été estimée en tenant compte de la faculté germinative et le poids de 1000 grains de chaque génotype.

e) Désherbage

Au niveau de la station d'El Khroub, on a appliqué le désherbant Topik + Zoom à l'aide d'un épandeur et ceci en plein tallage. Par contre à Oued Smar, on a appliqué deux type de désherbants en plein tallage à savoir le Calliofope à raison de 2.5l/ha et Granstar à raison de 12.5 g/ha.

f) L'irrigation

La culture de blé dur dans les deux stations a été conduite en sec, et elle n'a bénéficié d'aucune irrigation d'appoint.

g) Récolte

La récolte a été effectuée le 14/06/2008 à Oued Smar à l'aide d'une moissonneuse expérimentale de 1.2 mètre de largeur quant à la station d'El Khroub, la récolte a été effectuée le 21/06/2008 par le même type de machine.

7.3.5. Méthode d'étude

Après la mise en place de notre essai dans les deux stations, on a suivi la culture en étudiant certains paramètres.

7.3.5.1. Paramètres étudiés

7.3.5.1. 1. Caractère phénologique (épiaison)

Le caractère phénologique étudié est la précocité à l'épiaison. Ce dernier a été calculé par le dénombrement du nombre de jours entre la date de semis et la d'épiaison. Sachant que la date d'épiaison est notée lorsque plus de 50% des plants ont atteint ce stade.

7.3.5.1. 2. Caractères de production avant et après la récolte

Avant la récolte

7.3.5.1. 2. 1. Nombre de plantes par mètre carré

Ce paramètre est calculé au stade 2 à 3 feuilles par le comptage du nombre de pieds par mètre carré et ceci à l'aide d'un cadre en ferraille (mètre carré) posé en diagonale au niveau de la parcelle. Cette mesure a été faite deux fois dans chaque microparcelle. Par la suite, on a calculé la moyenne qui correspond au nombre de pieds par mètre carré.

7.3.5.1. 2. 2. Nombre de talles par mètre carré

Il est calculé par le comptage du nombre de talles par mètre linéaire, puis rapporté au mètre carré. Le comptage a été fait sur deux mètres linéaires. La moyenne des deux mètres linéaires est rapportée au mètre carré et ceci comme suit :

Nombre de talles par m² = ((nombre de talles L1 + nombre de talles L2)/2) * 5

L : désigne la ligne ou le mètre linéaire

5 : étant le nombre de mètre linéaire dans un mètre carré.

7.3.5.1. 2. 3. Nombre d'épis par mètre carré

Ce paramètre a été mesuré après l'épiaison. Le nombre d'épis a été compté sur deux mètres linéaires. La moyenne de ces derniers a été rapportée au mètre carré selon la formule suivante :

Nombre d'épis par m² = ((Nombre d'épis L1 + Nombre d'épis L2)/2)*5

7.3.5.1.2. 4. Taux de régression

Le taux de régression a été calculé par la formule suivante :

Taux de régression des talles =
$$\frac{\text{Nombre de talles herbacées} - \text{Nombre de talles épis}}{\text{Nombre de talles herbacées}} \times 100$$

Après la récolte

Les différents paramètres calculés après la récolte sont réalisés sur 10 échantillons de chaque géotype pris au niveau de la microparcelle.

7.3.5.1. 2. 5. Nombre de grains par épi

Ce paramètre consiste à dénombrer les grains qui se trouvent sur chaque épi.

7.3.5.1. 2. 6. Nombre d'épillets total par épi

Ce paramètre correspond au nombre total des épillets qui se trouvent sur l'épi.

7.3.5.1. 2. 7. Nombre d'épillets stériles et fertiles par épi

On a compté sur chaque épi le nombre d'épillets stériles et fertiles qu'il présente.

7.3.5.1. 2. 8. Poids de mille grains

Après comptage de mille grains à l'aide d'un compteur de grains, on les a pesé à l'aide d'une balance de précision, ce qui nous donne le poids de mille grains.

7.3.5.1. 2. 9. Rendement estimé

Après le comptage du nombre de grains par épi, le rendement a été estimé en utilisant la formule suivante :

$$RE = \frac{PMG \times \text{Nombre de grains/épi} \times \text{Nombre d'épis/m}^2}{1000}$$

RE : rendement estimé

PMG : poids de mille grains

7.3.5.1. 2. 10. Rendement réel

Après la récolte, le poids des grains de chaque microparcelle est rapporté à l'hectare.

7.3.5.1. 3. Caractères morphologiques

Ces caractères sont mesurés sur 10 plants pris au hasard dans chaque microparcelle.

7.3.5.1. 3. 1. Hauteur de la tige

Elle a été mesurée à partir de la base de la tige jusqu'à la base de l'épi.

7.3.5.1. 3. 2. Longueur de l'épi

Elle a été déterminée par la mesure de la distance qui sépare la base de l'épi et son extrémité mise à part les barbes.

7.3.5.1. 3. 3. Longueur du col de l'épi

Elle a été déterminée par la mesure de la distance qui sépare la base du dernier limbe de la feuille étendard et celle de l'épi.

7.3.5.1. 3. 4. Longueur du dernier entre-nœud

Elle a été déterminée par la mesure de la distance qui sépare le dernier entre-nœud et la base de l'épi.

7.3.5.1. 3. 5. Longueur des barbes

Elle est mesurée de l'extrémité de l'épi et celle des barbes.

7.3.5.1. 4. Caractères technologiques

L'analyse des caractères technologiques du blé a été effectuée au niveau du laboratoire de technologie de l'ITGC d'El Harrach. Les caractères mesurés sont les suivants :

Les indices de coloration : l'indice de jaune et l'indice de brun ;

La teneur en gluten sec et humide,

Le mitadinage,

L'échaudage,

Le taux d'extraction.

Le nombre de variétés analysées est de 36 ; 18 variétés pour chaque environnement (Oued Smar et El Khroub).

Les méthodes de mesure de ces caractères sont détaillées ci-dessous :

7.3.5.1. 4. 1. Les indices de coloration

Les indices de jaune et de brun sont mesurés à l'aide d'un appareil appelé le colorimètre qui indique la densité de la couleur dans l'échantillon analysé.

On prépare un échantillon de semoule de 25mm d'épaisseur dans une boîte de Pétrie et on homogénéise la surface de la semoule. Cet échantillon est placé sous une source lumineuse du colorimètre qui donne deux valeurs L et b :

L'indice de jaune correspond à la valeur b, par contre l'indice de brun est égal à $(100 - L)$.

NB : l'application de cette source lumineuse doit se faire seulement sur des surfaces homogènes de la semoule.

7.3.5.1.4. 2. Gluten humide

On prépare une pâte au moyen d'un échantillon de semoule de 10 grammes et d'une solution de chlorure de sodium (5.5ml). On isole le gluten humide par lavage de cette pâte avec la solution de chlorure de sodium, puis on essore et on pèse le produit obtenu.

La teneur en gluten humide est exprimée en pourcentage et elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en gluten humide} = \frac{\left[\frac{\text{Quantité totale du gluten humide} \times 100}{10} \right] \times 100}{100 - H}$$

H : étant l'humidité de la semoule sur laquelle on a réalisé ces mesures, elle est mesurée à l'aide de l'étuve BUHLER à l'humidité rapide (130 ° C pendant 10mn).

7.3.5.1.4. 3. Gluten sec

Le gluten humide obtenu précédemment est placé dans un appareil appelé GLUARK pendant 4 minutes, puis on récupère l'échantillon et on le pèse.

La teneur en gluten sec a été calculée comme suit :

$$\text{Teneur en gluten sec} = \frac{\left[\frac{\text{Quantité totale du gluten sec} \times 100}{10} \right] \times 100}{100 - H}$$

7.3.5.1. 4. 4. Le mitadinage

Le taux de mitadinage a été déterminé à l'aide d'un coupe grain, le farinotome de POHL à raison de 6 coupes par échantillon.

Par la suite, le taux de mitadinage a été déterminé selon la formule suivante :

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

Sachant que :

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

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

P : le nombre de grains examinés dans la fraction (6 coupes nous donne 300 grains).

7.3.5.1. 4. 5. Le taux d'échaudage

Les grains échaudés sont les grains de masse et de tailles réduites, dans lesquels la mise en réserve de matières nutritives a été interrompue sous l'effet de facteurs physiologiques.

On a pu déterminer le taux d'échaudage par le passage de 100 grammes de grains à travers un tamis à trous longs arrondis de 1.90 mm de longueur. Les grains passés sont pesés et rapporté en pourcentage de grains échaudés par rapport au nombre total analysé qui est de 100 grammes.

7.3.5.1. 4. 6. Taux d'extraction

Après la mesure de l'humidité des grains et le conditionnement de ces derniers pendant 24 heures. L'humidité des grains est alors de 14 %. Après ceci, on peut passer à la mouture de ces grains par un moulin expérimental. La quantité de semoule obtenue est exprimée en pourcentage de semoule par rapport au poids total des grains utilisés.

CHAPITRE 8

RESULTATS ET DISCUSSION

8.1. Paramètres agronomiques

8.1.1. Nombre de plantes/m²

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le nombre de plantes/m² (Annexe A, Tableau 1). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé 4 groupes chevauchants (annexe B, Tableau 1). Les meilleures valeurs sont enregistrées avec une moyenne comprise entre 198.81 et 240.25 plants/m² chez les variétés ; V15, V18, V17, V10, V12, V9 et V5 composant le groupe A. Cependant, les autres variétés présentent de faibles valeurs variant entre 157.25 et 185.31 plants/m² (Figure 9).

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le nombre de plantes/m² (Annexe A, Tableau 1). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé deux groupes homogènes (Figure 10). La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne de 205.35 plantes/m² appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, alors que la faible valeur a été enregistrée avec une moyenne de 167.72 plantes/m² appartenant au groupe B composant les 18 variétés cultivées à El Khroub.

Il est courant de dire que la réussite de la culture de blé repose, à plus de 50 % sur celle de son implantation. En fait , comme pour toutes les cultures, celle-ci dépend en premier lieu du choix des techniques maîtrisables par l'agriculteur ; la qualité de la semence, l'état structural de la parcelle et plus particulièrement la qualité du lit de semence, ainsi que sur la qualité de placement des grains.

Deuxièmement, elle dépend des conditions climatiques avant, pendant et après le semis [129].

Le sol lors du semis dans la station d'Oued Smar n'était pas bien préparé pour le semis. Le lit de semences se caractérise par la présence de mottes. De plus, l'humidité du sol est élevée. Ce qui a provoqué pour certaines variétés une perte très importante à la levée.

Ce que nous avons remarqué dans la station d'Oued Smar, c'est que la différence du nombre de plantes/m² entre les différentes variétés, peut être aussi à l'origine des conditions climatiques qui ont marqué la période succédant le semis. Ces dernières se caractérisent par un déficit de précipitations pendant plus d'un mois. Ceci à engendrer une perte d'un grand nombre de semences, soit parce que l'eau n'existe pas pour qu'elles puissent germer, ou encore mangées par les oiseaux.

Cependant, le peuplement à la levée garantit en grande partie la réussite de la culture en ayant un rôle important dans la détermination du peuplement épis, composante importante du rendement [130]. D'après Grandcourt [33], ce paramètre à la sortie de l'hiver est nettement affecté par la fumure.

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le paramètre nombre de plantes/m² (Annexe A, Tableau 1). Le test de la PPAS de NEWMAN ET KEULS a révélé 5 groupes chevauchants (Annexe C, Tableau 1).

On enregistre dans la station d'Oued Smar les valeurs les plus élevées chez les variétés suivantes à savoir ; V3, V5, V9, V10, V12, V15, V17 et V18. Par contre, dans la station d'El Khroub, on a pu enregistrer des peuplements élevés chez les variétés suivantes : V10, V15, V16, V17 et V18. Certaines variétés telles que la V1, V2, V4, V6 et V13 montrent une certaine stabilité pour le nombre de plants/m², quant aux autres variétés, elles montrent des différences pour ce paramètre dans les deux stations étudiées (Figure 11).

D'après les résultats obtenus, on remarque que le nombre de plants/m² enregistré dans la station d'Oued Smar est nettement supérieur à celui enregistré dans la station d'El Khroub.

Tous ces résultats montrent que le nombre de plantes par mètre carré est régi par l'ensemble des facteurs ; environnement, génotypes et l'interaction.

Selon Prévot *et al* [131], l'objectif est identique quelque soit la variété ; 200 à 220 plantes en sortie d'hiver pour les semis précoces et 250 pour les semis tardifs. Contrairement à Benchohra et Khelloufi [132], qui soulignent que le peuplement recherché est de 350-400 plantes/m².

Nos résultats s'approchent de ceux de Prévot *et al* [131] pour la station d'Oued Smar, alors que les valeurs enregistrées au niveau de la station d'El Khroub sont très faibles par rapport à celles avancés par ces auteurs.

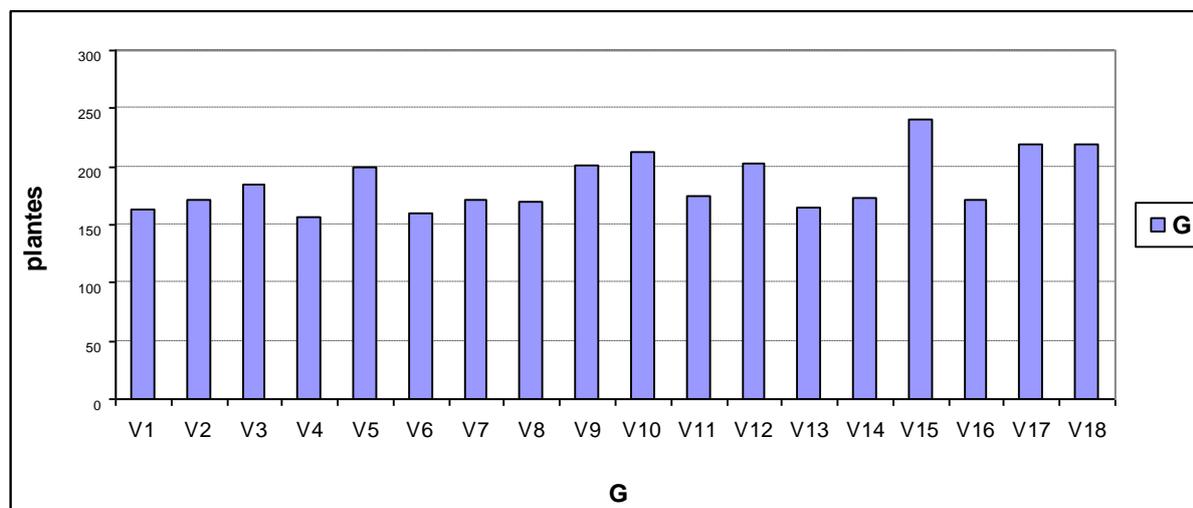


Figure 7: Nombre de plantes/m² (facteur génotype)

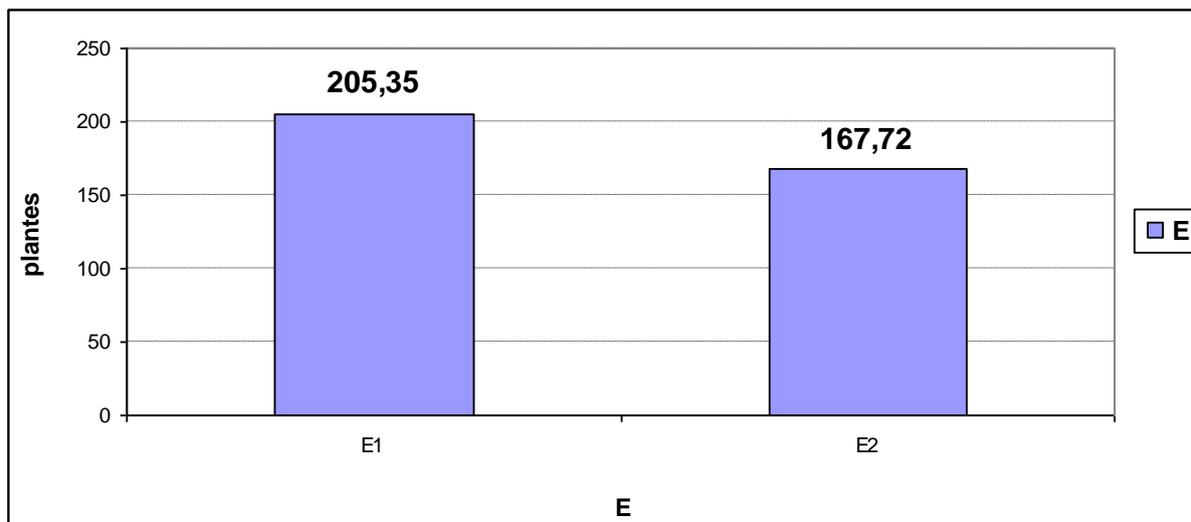


Figure 8: Nombre de plantes/m² (facteur environnement)

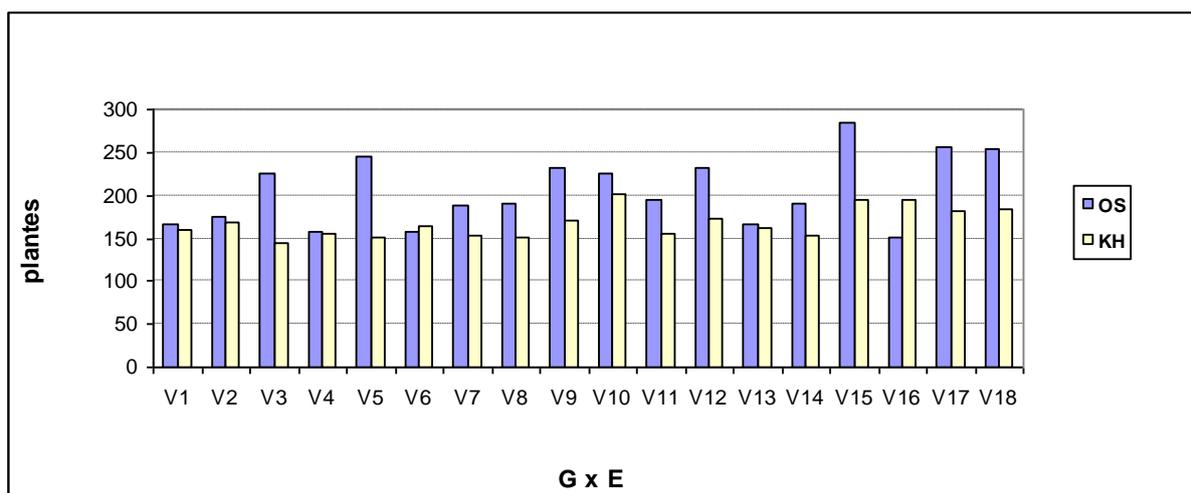


Figure 9: Nombre de plantes/m² (facteur interaction)

8.1.2. Le nombre de talles par m²

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le nombre de talles/m² (Annexe A, Tableau 2). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 5 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 2). Cependant, les meilleures valeurs ont été enregistrées avec une moyenne variant entre 676.81 et 761.75 talles/m² chez les variétés V2, V11, V10 et V9 appartenant au groupe A. Les autres variétés présentent des valeurs moyennes à faibles variant entre 529.31 et 645.94 talles/m² (Figure 12). Ces résultats montrent

que le nombre de talles est un caractère variétal. Ceci a été soulevé par Boulal *et al* [31] et Grandcourt [33].

Daaloul *et al* (1990) in Benbelkacem et Kellou [133] ont montré qu'il y a un effet indirect du tallage herbacé sur le rendement. Une variété qui talle beaucoup émet des tiges de moindre productivité (nombre de grains par épi et poids de grain par épi) qu'un cultivar qui talle peu [56].

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur environnement sur le nombre de talles/m² (Annexe A, Tableau 2). De ce fait, d'après les résultats obtenus, nous avons remarqués que les valeurs enregistrées dans la station d'Oued Smar et d'El Khroub sont respectivement de 627 talles/m², 620 talles/m².

Les faibles valeurs enregistrées chez certaines variétés sont dues au manque de précipitations qui favorisent l'assimilation de l'azotée, et donc de l'émission de talles herbacées. Le semis tardif effectué au niveau de la station d'Oued Smar a peut être une influence sur le nombre de talles herbacées. Ceci en pénalisant les variétés de produire plus de talles herbacées.

Gate [56] affirme que l'azote n'accélère pas la vitesse d'émission des talles. Cette dernière dépend essentiellement des facteurs climatiques (températures, durée du jour et le rayonnement).

Les types de sols et l'état du lit de semences induisent des taux de pertes et des coefficients de tallage différents dont il faudra tenir compte pour le calcul de la dose de semis [131].

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le nombre de talles/m² (Annexe A, Tableau 2). Dans la station d'Oued Smar, on a pu enregistrer les meilleures valeurs chez les variétés suivantes : V9 V10 V11 V2 V5 V8 et V15 présentant des valeurs variant entre 650.23 et 791.25 talles/m². Alors que dans la station d'El Khroub, on a enregistré les meilleurs valeurs chez les variétés suivantes : V10 V9 V11 V6 V2 V17 V1 et qui présentent les moyennes variant entre 645,75 et 734,00 talles/m². Toutes les autres

variétés présentent des valeurs inférieures à 645 talles/m² pour les deux stations (Annexe D, Tableau 1).

La différence entre les géotypes en terme du nombre de talles herbacées n'est pas importante. Cependant, l'ensemble des variétés présente une certaine stabilité dans la production de talles herbacées. Donc, les variétés étudiées produisent des talles d'une façon similaire quel que soit le milieu de leur culture.

La capacité de tallage permet à la plante de s'ajuster à un environnement variable pour assurer un minimum de production [133]. Cependant, ce paramètre est fortement dépendant des conditions du milieu : température, eau, azote, et des techniques culturales (profondeur, dose et date de semis) [31], ainsi que de la durée de la période de tallage [33]. Couvreur et Robert [134] à leur tour, soulignent l'importance du type de sol et la région climatique comme éléments déterminants du tallage herbacé.

Les températures élevées (de l'ordre de 15-20° C) peuvent exercer un rôle favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisant [56]. En plus, le nombre de tiges herbacées est avantagé par les jours courts qui étendent leur durée de formation [56]. Selon Huet [135], le tallage herbacé est directement influencé par la date de semis, et que potentiellement le semis plus précoce puisse permettre, à densité de peuplement égale, l'émission d'un plus grand nombre de talles par plante. Ajoutant à cela, un défaut d'alimentation hydrique marqué provoque un arrêt précoce de l'émission des talles, notamment en sol argileux [136].

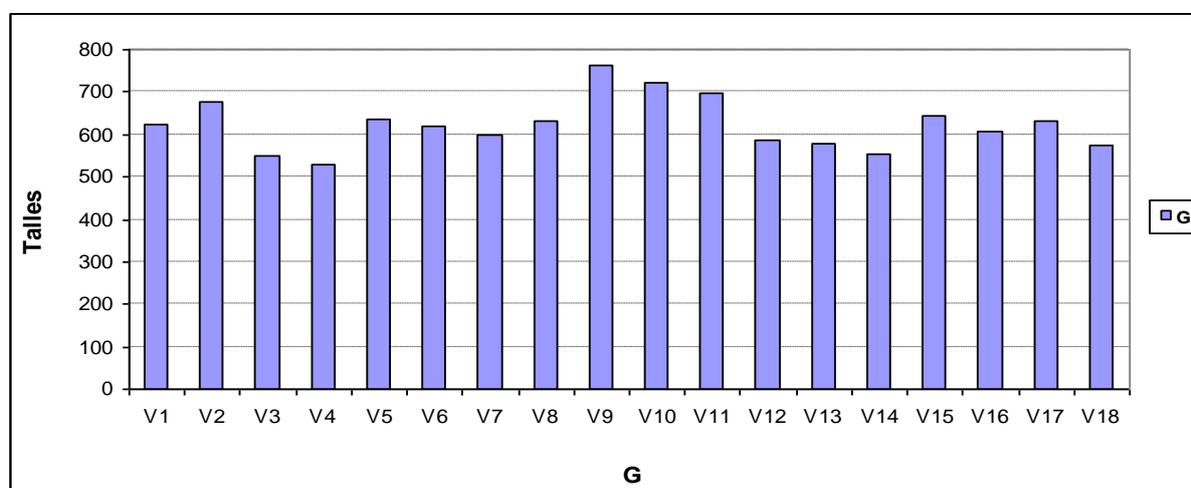


Figure 10: Nombre de talles/m² (facteur géotype)

8.1.3. Le nombre d'épi par mètre carré

L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif du facteur génotype sur le nombre d'épis/m² (Annexe A, Tableau 3). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes chevauchants. Le groupe A regroupe les 17 premières variétés présentant les valeurs allant de 269.90 et 354.38 épis/m², alors que le groupe B présente une seule variété ; la V6 avec 255.00 épis/m² (Annexe B, Tableau 3) (Figure 13).

Chaque variété se caractérise par un nombre optimum d'épis/m² correspondant à la structure de végétation la plus favorable pour l'élaboration du rendement [137]. Le nombre d'épis est sous la dépendance du tallage herbacé [133]. Une augmentation importante du nombre de talles herbacées engendre une augmentation du nombre de talles épi, mais aussi une mortalité élevée [138]. Selon Couvreur et Robert [134] la différence entre les variétés pour le nombre d'épis est liée à la capacité de tallage épi des variétés. Il est donc inutile de modifier la densité de semis en fonction du nombre d'épis optimal de la variété. Selon Bouzerzour *et al* [139], les cultivars caractérisés par une production élevée d'épis /m² tendent à avoir une courte période végétative.

L'analyse de nos données montre que le nombre d'épis est sous la dépendance de la variété. La différence entre les variétés pour ce caractère est très nette. Ceci est justifié par le pouvoir de chaque variété à produire les épis. La variété V10 et V15 paraissent les variétés les plus productive d'épis /m². Par contre, la V6 paraît de son côté la variété la moins productive d'épis /m².

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le nombre d'épis/m² (Annexe A, Tableau3). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes. La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne 316.18 talles épis/m² appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à El Khroub, alors que la faible valeur a été enregistrée avec une moyenne de 287.78 talles épis/m² appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar (Figure 14).

Cette différence est à l'origine de la régression importante des talles enregistrées dans la station d'Oued Smar. En plus de ça, on peut soulever le problème des conditions climatiques qui ont régi la formation des épis qui se caractérisent par un manque de précipitations avant et pendant la formation des épis.

Le peuplement-épis potentiel s'élabore entre la levée et la montaison [140]. Plus précisément, pendant la période tallage-montaison que dépend en définitive du tallage-épi, garantissant le peuplement maximum d'épis à l'hectare. Plus il fait chaud pendant cette phase, moins il y aura d'épis, tandis que la fraîcheur favorise au contraire la formation des talles épis [33].

Le nombre de tiges/m² prédicteur du nombre d'épis/m² prend en compte l'action des facteurs opérant du semis au stade épi à 1 cm, soit l'effet de la densité (nombre de plantes/m²) et de la date de semis (durée du tallage) [141]. Selon Mekli *et al* [142], le nombre d'épis par plante est conditionné par les moyennes de la température et de la longueur du jour. Des températures moyennes relativement faibles le favorisent contrairement aux températures élevées.

La sécheresse avant l'anthèse influence le nombre et la taille des épis du blé [78]. De même Benbelkacem et Kellou [133], affirment qu'un déficit hydrique survenant au début de la montaison réduit le nombre d'épis, ce qui peut être compensé par des composantes ultérieures. Cette compensation dépend du parcours d'élaboration du rendement et des processus physiologiques liés au génotype : durée de vie des feuilles, poids relatif de l'épi et taux de mobilisation des assimilats. Selon Gate [56], un déficit hydrique de 50mm entraîne 30 à 35% de perte d'épis /m² sur le blé dur, et un déficit de 100 à 150 mm cumulés pendant la montaison peut entraîner une perte de 40 à 50% d'épis/m².

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le nombre d'épis/m² (Annexe A, Tableau 3). Ceci montre que les variétés se montrent stables dans la production d'épis quel que soit le milieu de leur culture. Les quelques différences enregistrées entre certaines variétés, V2, V6, V8, V9, V11, V12, V14 et V15 sont à l'origine des conditions de culture dans

la station d'Oued Smar qui sont médiocres (Annexe D, Tableau 1). Ceci a affecté la levée de ces variétés dans cette région qui par la suite a affecté le nombre de talles herbacées et les talles épis.

Selon une étude menée par Aycicek et Yildirim [4] sur quelques génotypes de blé tendre montrent qu'il n'y a pas de signification de l'interaction génotype x environnement pour le paramètre du nombre d'épis par m².

Dans la station d'Oued Smar, les meilleures valeurs sont enregistrées chez les variétés ; V3, V7, V10, V15, V16 et V17 avec une moyenne variant entre 301.25 et 354.38 pis/m². Tandis que dans la station d'El Khroub, on a enregistré les meilleures valeurs chez l'ensemble des variétés avec une moyenne supérieure à 300 épis/m², sauf chez les variétés V4, V5, V7, V13, V16 et V18 qui présentent des valeurs inférieures à 300 épis/m². Les variétés qui présentent les meilleures valeurs dans chaque milieu peuvent être sélectionnées pour ce paramètre.

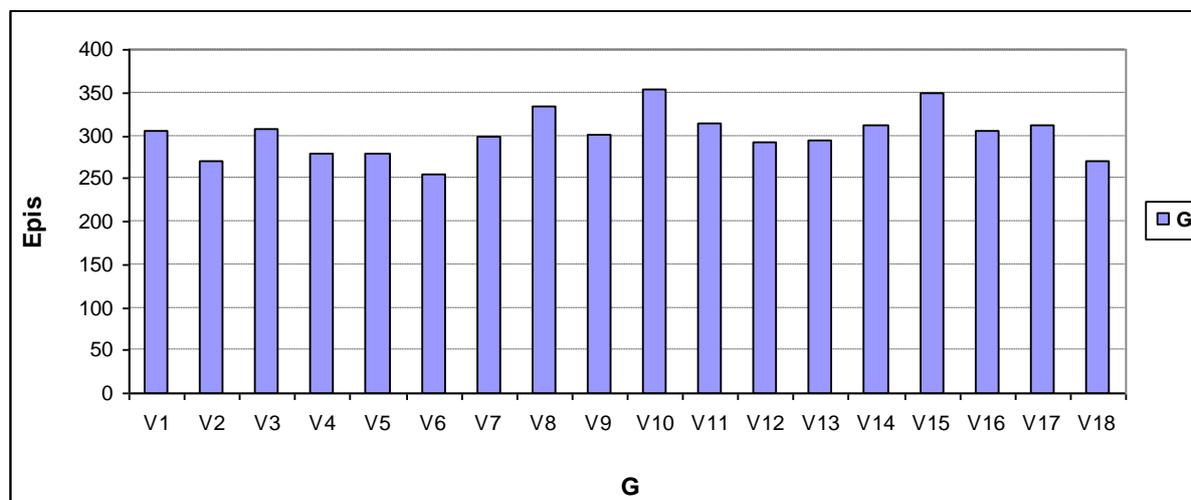


Figure 11: Nombre d'épis/m² (facteur génotype)

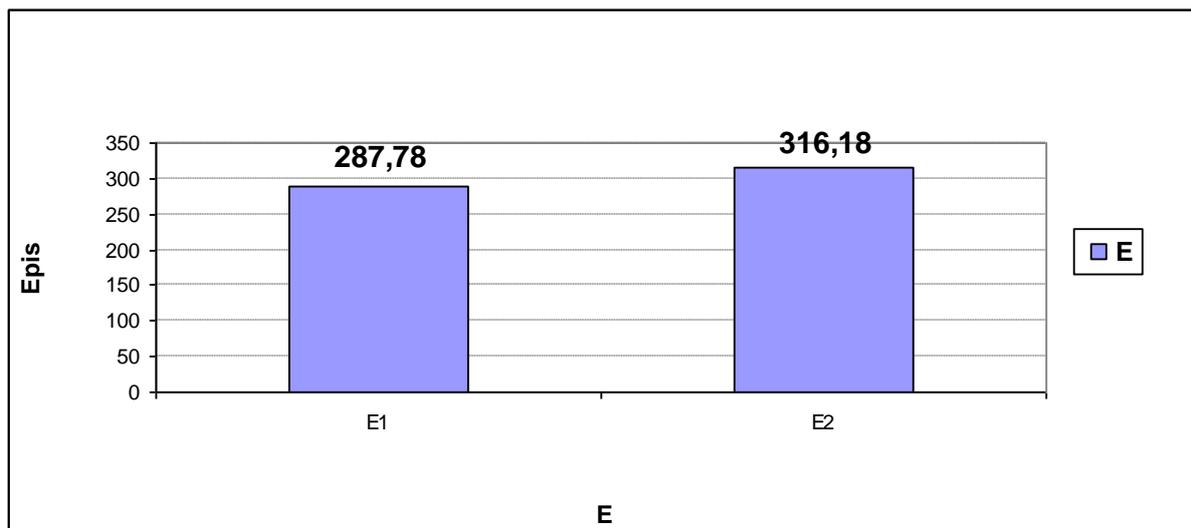


Figure 12: Nombre d'épis/m² (facteur environnement)

8.1.4. Taux de régression

L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif du facteur génotype sur le paramètre taux de régression (Annexe A, Tableau 4). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 3 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 4). Les variétés ; V3, V14, V15, V4, V8, V16, V13 et la V7 présentent les taux de régressions les plus faibles (<50%). Les autres variétés présentent des valeurs supérieures à 50% (Figure 15).

Dans l'ensemble, les variétés présentent des taux de régressions très élevées, c'est-à-dire supérieures à 40% comparé aux valeurs citées par Gate [56]. Ceci est dû d'après cet auteur à un déficit hydrique qui dépasse 150 mm pendant la montaison. Benbelkacem *et al.* [138] relie la régression des talles à une production importante de talles herbacées.

Des nombres optimums d'épis différents entre variétés sont atteints avec des nombres de plantes/m² identiques. Ceci est dû au fait que les variétés se distinguent par leur taux de régression des tiges pendant la montaison alors qu'elles se différencient peu pendant le tallage herbacé [143]. L'idéal serait de chercher des génotypes qui auraient une bonne capacité de tallage herbacé qui produiraient 100% d'épis fertiles. Un manque de fertilité des talles engendre la rupture de l'équilibre talles épis/talles herbacées et affecte négativement le rendement [133].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le taux de régression des talles (Annexe A, Tableau 4). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La mesure la plus élevée est enregistrée (53.10 %) chez le groupe A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, alors que la faible valeur est enregistrée (48.33 %) chez le groupe B composé des 18 variétés cultivées dans la station d'El Khroub (Figure 16).

La régression des talles enregistrée dans la station d'Oued Smar est très élevée par rapport à celle enregistrée dans la station d'El Khroub. Cette régression importante est à l'origine d'une production importante de talles par les génotypes étudiés. Elle peut être due aussi à un déficit de précipitations au cours de la formation des épis, sachant que la pluviométrie au mois d'Avril dans la station d'Oued Smar et d'El Khroub est respectivement de 22 et 23.1mm, ce qui est faible pour une bonne production de talles épis. Casals (1996) *in* Nadine et Edgardo [144] a pu montrer que la régression des talles pouvait être reliée au bilan hydrique de surface.

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le taux de régression des talles (Annexe A, Tableau 4).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés qui présentent les taux de régression les plus faibles (inférieurs à 50%) sont : V1, V3, V4, V7, V10, V13, V14, V16 et V17. Tandis que dans la station d'El Khroub, les variétés qui présentent les faibles taux de régression sont les suivantes : V3, V4, V8, V12, V13, V14, V15, V16 et V18. L'ensemble de ces variétés peuvent être sélectionnées pour ce paramètre puisqu'elles présentent un faible taux de régression et donc un taux de fertilité des épis élevé (Annexe D, Tableau 1).

Cependant, elles montrent que le taux de régression est contrôlé par les deux facteurs, génotype et environnement séparément. De ce fait, certaines variétés montrent un taux de régression similaire dans les deux environnements étudiés. Ces variétés sont V1, V4, V5, V10, V13, V16 et V17. Cela confirme que la régression des

talles est contrôlée par la variété elle-même. La différence du taux de régression pour les autres variétés est à l'origine des conditions médiocres de la culture enregistrées dans la station d'Oued Smar, ceci a affecté la formation de talles herbacées et les talles épis.

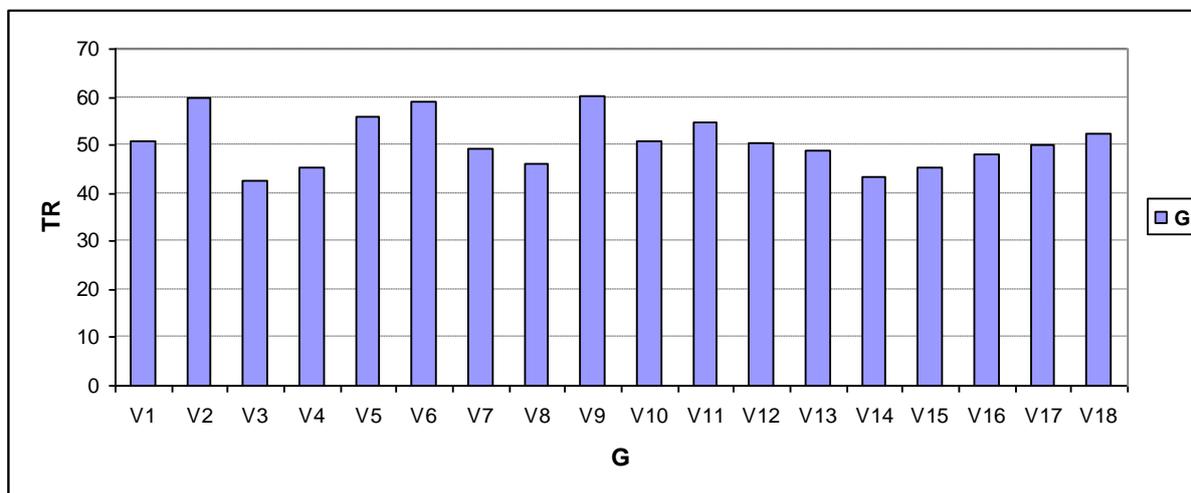


Figure 13: Taux de régression (facteur génotype)

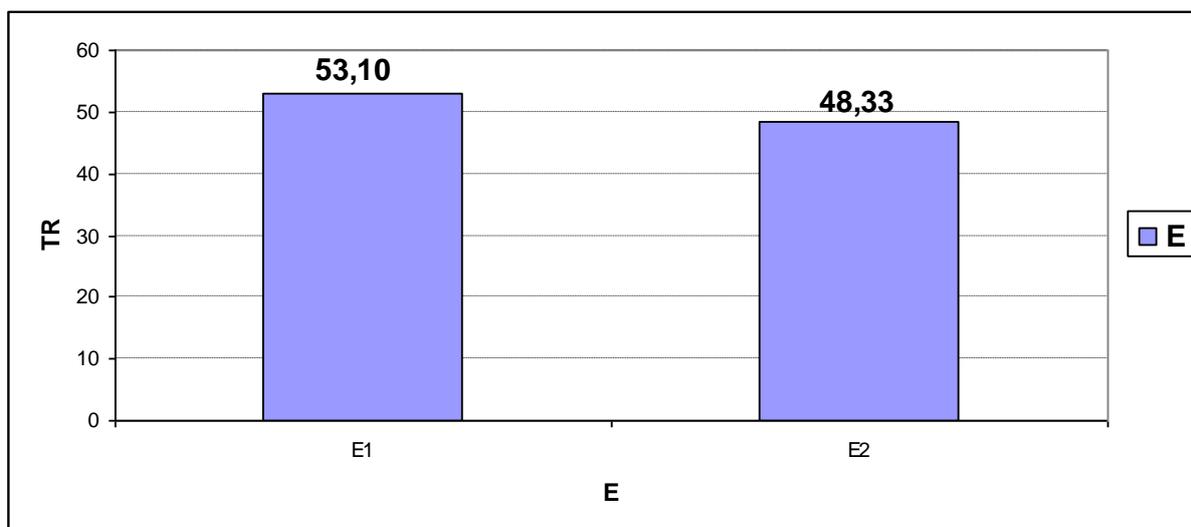


Figure 14: Taux de régression (facteur environnement)

8.1.5. Epiaison

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le facteur épiaison (Annexe A, Tableau 5). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B (Annexe B, Tableau 5). La variété la plus tardive est la V6, elle présente une durée

d'épiaison de 129 jours appartenant au groupe A. Toutes les autres variétés appartiennent à un même groupe B et présentent des durées d'épiaison variant entre 121 et 126 jours. La V3 est considérée comme la variété la plus précoce avec 121 jours (Figure 17).

Ce que nous montre les résultats, c'est que la variété la plus précoce V3 (BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-1S-OS)) nous a donné le meilleur rendement, par rapport à la variété la plus tardive V6 (MBB Témoin), qui nous a donné le rendement le plus faible.

En général, la moyenne de la précocité enregistrée pour toutes les variétés ne varie pas beaucoup, sauf pour la variété V6 qui présente un nombre de jours le plus élevé (129 j).

Selon Gate [145], seulement quelques stades dépendent de la variété : le stade épi 1 cm et le stade épiaison. Pfeiffer (1993) in Mekhlouf *et al* [146] estime que l'épiaison est le plus souvent associée à une amélioration du rendement et de l'adaptation aux stress conduisant à la régularité de la production. Fisher et Maurer [147], ont rapporté qu'un gain d'un jour dans la précocité, induit un gain de rendement de 3 kg/ha. Berger (1985) in Mekhlouf *et al* [146] associe la précocité au stade épiaison à la réduction de la hauteur du chaume et à l'augmentation de la capacité de tallage-épi.

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive des stress de fin de cycle chez le blé dur. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi-arides compte tenu de la distribution temporelle des précipitations [146], tel est le cas de la station d'El Khroub.

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement l'épiaison (Annexe A, Tableau 5). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B (Figure 18). La durée la plus faible a été enregistrée avec une moyenne de 102.46 jours appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, alors que

la durée la plus longue a été enregistrée avec une moyenne de 145.39 jours appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à El Khroub. Cette différence entre les dates d'épiaison est à l'origine du semis tardifs effectué au niveau de la station d'Oued Smar. Elle peut être due aussi aux conditions climatiques de chaque station ; la température et la photopériode.

Cette caractéristique d'épiaison précoce est avantageuse pour esquiver les contraintes de sécheresse et hautes températures de fin de cycle de la culture. Il est important de souligner que les pertes les plus fréquentes dues au gel en cours de montaison sur la variété la plus précoce peuvent être limitées si la date de semis est décalée [56].

Gate [56], associe les pertes de rendement à un semis tardifs, c'est le cas de la station d'Oued Smar. Ces pertes résultent de la présence de températures élevées et de forts déficits en eau en fin de montaison et pendant la phase finale du cycle. La précocité de la variété intervient fortement quant à l'aptitude à contourner l'obstacle de gel hivernal. Le gel d'épis consécutif à un semis précoce peut s'avérer moins préjudiciable au rendement de la culture [56]. 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 [148]. La variété épie tardivement, des facteurs comme les excès thermiques et le déficit en eau peuvent apparaître plus fréquemment et plus fortement [56].

Les variétés assez tardives permettent d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle [149]. Le risque de gel dépend directement de la précocité de la variété au stade épi à 1 cm. L'incidence sur le rendement est alors conséquente et les dégâts occasionnés sont d'autant plus importants que la variété est précoce au stade épi à 1 cm [131].

L'analyse statistique de l'interaction génotype x environnement n'a pas révélé d'effet significatif (Annexe A, Tableau 5). Ceci indique que les variétés atteignent le stade épiaison en dépendant que de la variété et du milieu séparément sans qu'il y est effet de leur interaction sur ce paramètre phénologique. Les variétés montrent la

même différence entre elles dans les deux sites d'expérimentation tel est le cas de la variété la plus précoce et la plus tardive qui sont respectivement V3 et V6.

Dans la station d'Oued Smar, on peut retenir l'ensemble des variétés comme des variétés précoces sauf la V6 et V9 qui sont tardives et présentent respectivement les durées d'épiaison suivantes : 108 et 106 jours. La même chose au niveau de la station d'El Khroub, on peut retenir toutes les variétés comme précoces sauf pour la V2, V6, V9 et V15 qui présentent respectivement les durées d'épiaison suivantes : 148, 151, 146 et 146 jours. Ces quatre variétés peuvent être considérées comme variétés tardives au niveau de la station d'El Khroub (Annexe D, Tableau 1).

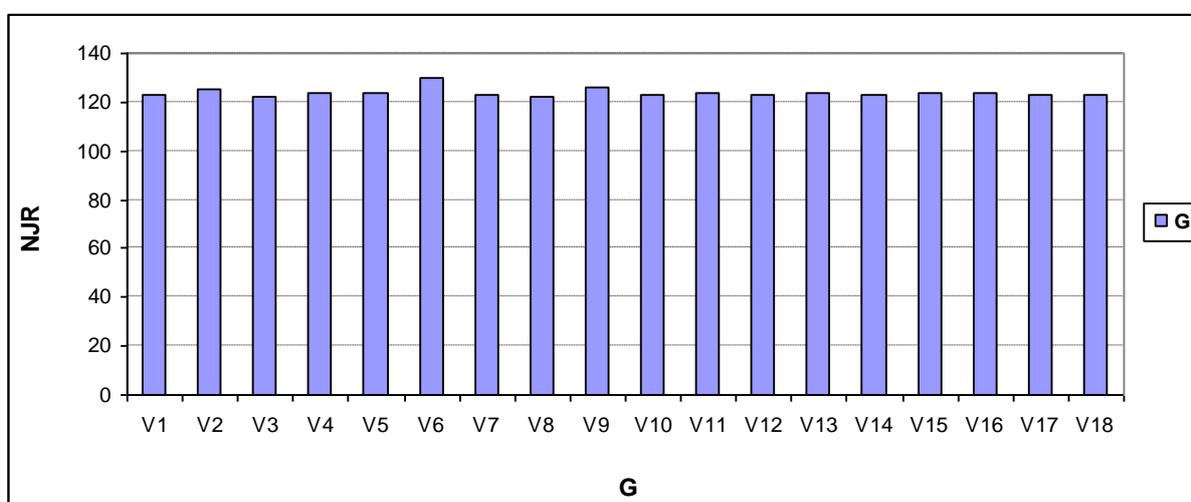


Figure 15: Epiaison (facteur génotype)

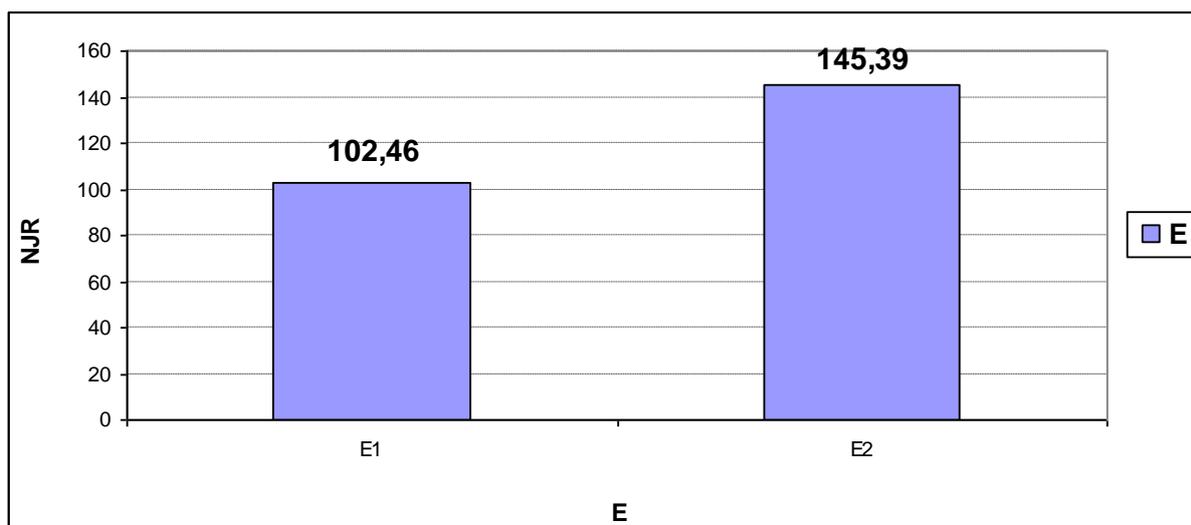


Figure 16: Epiaison (facteur environnement)

8.1.6. Hauteur de la tige

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur la hauteur de la tige (Annexe A, Tableau 6). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 8 groupes dont un présentant un groupe à part (Annexe B, Tableau 6). La moyenne la plus élevée a été enregistrée par la variété V6 (MBB Témoin) avec 96.66 cm, alors que la moyenne la plus faible a été enregistrée chez la variété V2 (OFANTO/WAHA/MBB) avec 60.05 cm. Toutes les autres variétés montrent des valeurs intermédiaires variant entre 64.16 et 75.21 cm (Figure 19).

La hauteur de la tige est fortement corrélée à la durée de la montaison en jours. Cette liaison est le plus souvent respectée dans les conditions naturelles : une montaison lente se traduit généralement par des tiges hautes [56]. La longueur réduite de la paille n'est qu'un des facteurs de résistance à la verse [33]. Les variétés à paille courte et grosse sont plus résistantes que les variétés à paille haute et fine [12].

La variabilité génotypique du taux de remplissage du grain et de la capacité de remobilisation des assimilats photosynthétiques des tiges vers les grains a été également démontrée [12]. Le pourcentage de contribution des réserves de la tige au rendement en grain a été positivement corrélé avec la longueur de la tige et avec le maximum du poids sec de la tige seulement en conditions de sécheresse [78]. Ehdaie *et al* [76], ont signalé que les cultivars à tige longue ont une contribution plus élevée que les cultivars nains et semi nains. Biddinger *et al* [150] rapportent que la contribution des tiges au rendement variait de 10 à 70 % selon les génotypes et les environnements.

Le rendement en grain est associé à une grande quantité d'assimilats stockés et transférés des tiges vers les grains. De ce fait, la variété Mbb qui possède une hauteur importante de la tige transfère plus d'assimilats. La participation des assimilats venant de la tige diminue lorsque le milieu permet l'expression d'un meilleur rendement en grain [8].

Nos résultats montrent de ce fait que la variété V6 paraît la plus intéressante pour résister à la sécheresse que les autres variétés qui sont considérées naines ou semi naines. Ces dernières à leur tour peuvent être intéressantes pour la résistance à la verse qui est un facteur qui affecte le rendement des céréales [141].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur la hauteur de la tige (Annexe A, Tableau 6). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B (Figure 20). La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne de 73.76 cm appartenant au groupe A constitué des 18 variétés cultivées à Oued Smar, tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée avec une moyenne de 67.51 cm appartenant au groupe B constitué des 18 variétés cultivées dans la station d'El Khroub.

La différence entre ces valeurs est à l'origine des conditions climatiques favorables de la zone sub-humide (Oued Smar) par rapport à celles de la zone semi-aride (El Khroub). Ces conditions favorables à Oued Smar correspondent à un total de précipitations enregistrées dans cette zone (720 mm) durant la campagne agricole, ce qui favorise le développement des tiges par rapport à la station d'El Khroub où un total de précipitations de 394 mm a été enregistré.

Dans les régions semi-arides avec la sécheresse de fin de cycle, le remplissage des grains de blé peut dépendre plus du contenu de la tige que du processus d'assimilation [78]. Le déficit hydrique influence le stockage et la mobilisation des réserves de la tige. Les plantes sous ces conditions stockent souvent de plus faibles réserves dans la tige que les plantes non stressées parce que la photosynthèse est réduite, et ainsi réduit la disponibilité de photosynthétats pour le stockage. Sous ces circonstances, le taux de réserves mobilisées de la tige est aussi réduit [76] [77].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur interaction génotype x environnement sur la hauteur de la tige (Annexe A, Tableau 6). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 3 groupes homogènes et 8 groupes chevauchants (Annexe C, Tableau 2) (Figure 21).

Dans la station d'Oued Smar, on peut distinguer les variétés V1, V3, V6 et V9 comme des variétés ayant des tiges les plus hautes avec des moyennes de 76.70, 78.00, 105.55 et 80.25 cm. Tandis que les autres variétés, elles présentent des hauteurs de tiges moyennes à faibles. Dans la station d'El Khroub, les variétés V1, V3, V6, V9, V10 et V16 peuvent être considérées comme les variétés ayant des tiges les plus hautes parmi les 18 variétés cultivées dans cette station. Leurs valeurs sont respectivement de : 69.40, 72.43, 87.78, 69.35, 72.25 et 70.88 cm. Dans les deux stations d'étude, la variété V6 est considérée comme la variété la plus haute parmi les autres variétés.

On remarque que les valeurs enregistrées dans la station d'Oued Smar sont légèrement plus élevées que celles enregistrées dans la station d'El Khroub.

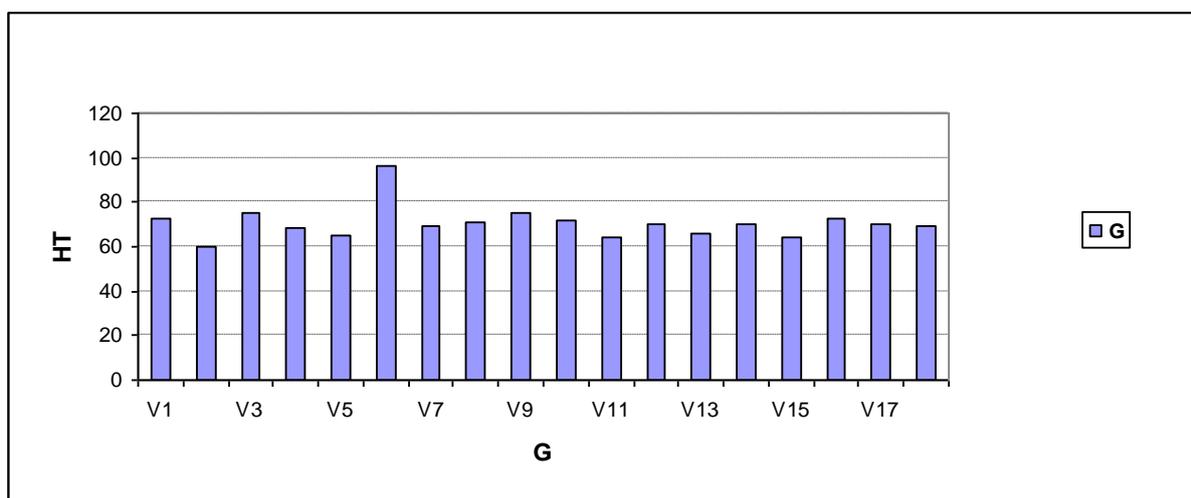


Figure 17: Hauteur de la tige (facteur génotype)

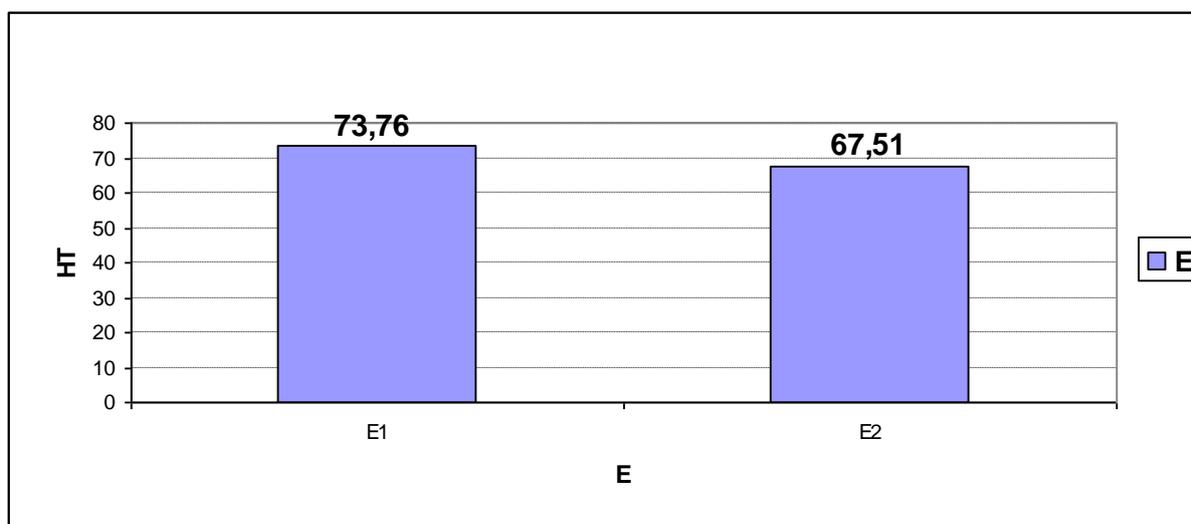


Figure 18: Hauteur de la tige (facteur environnement)

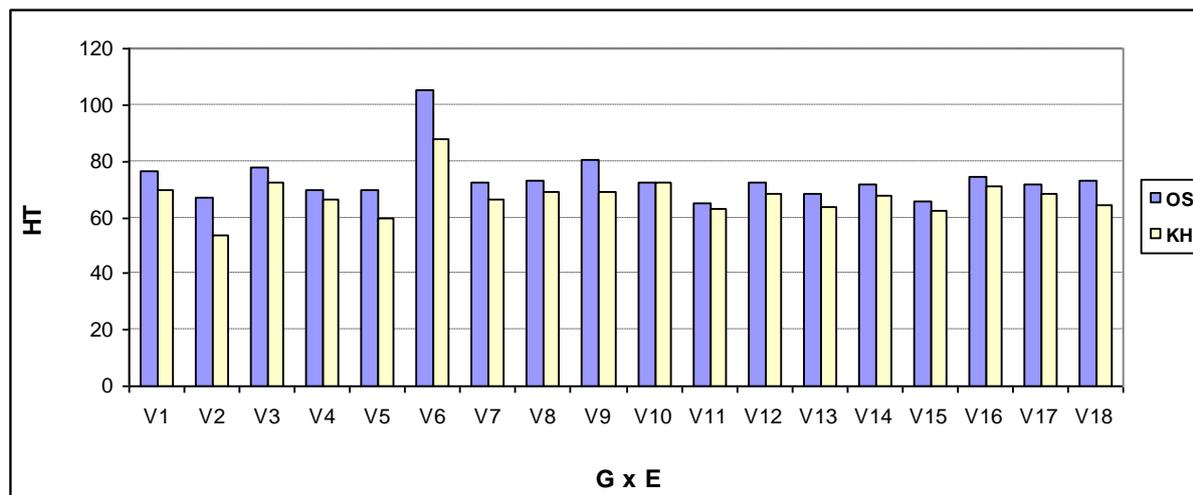


Figure 19: Hauteur de la tige (facteur interaction)

8.1.7. Nombre total d'épillets

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le nombre total d'épillets/épi (Annexe A, Tableau 11). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 7 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 11). Les meilleures valeurs ont été enregistrées chez les variétés ; V6, V5, V18, V2, V9 et V13 et qui présentent respectivement les valeurs suivantes : 22.05, 21.63, 20.50, 20.40, 19.46 et 19.13 épillets/épi. Les autres variétés présentent des valeurs moyennes à faibles variants entre 16.40 et 18.45 épillets/épi (Figure 22).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le nombre total d'épillets/épi (Annexe A, Tableau 11). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne de 19.04 épillets/épi appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées dans la station d'Oued Smar, alors que la valeur faible a été enregistrée avec une moyenne de 17.67 épillets/épi appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées au niveau de la station d'El Khroub (Figure 23).

D'après ces résultats, on s'aperçoit que les conditions climatiques d'Oued Smar ont favorisé le développement d'un grand nombre d'épillets par épi.

Contrairement aux conditions climatiques de la région d'El Khroub qui ont montré les faibles valeurs pour ce paramètre.

Le nombre total d'épillets dépend simultanément de la vitesse de production et de la durée de formation des ébauches. L'élévation de température a pour effet d'accélérer la vitesse d'initiation des ébauches et de raccourcir la durée [56].

Les facteurs qui déterminent de façon dominante la production d'épillets sont la température et la durée du jour [142][56]. Plus la température moyenne augmente, moins est important le nombre de grains par épi. Contrairement, la durée du jour est associée positivement à cette composante du rendement. Les jours relativement froids et courts de l'année favorisent la formation et le développement des épis [142].

Selon Prévot *et al* [131], il suffit d'une journée avec une température minimale inférieure à -4°C pour provoquer des baisses de fertilité des épis (gel partiel) ou même des destructions d'épis (gel total).

Lorsque la contrainte hydrique est appliquée dès le stade « épi à 1cm », l'ensemble des composantes du nombre de grains/m² est affecté [78]. Le nombre d'épillets par épi déterminé avant l'apparition de la compétition pour l'eau, reste relativement stable, alors que la fertilité des épillets diminue avec la précocité d'apparition du déficit hydrique [136].

L'influence de la date de semis sur la longueur des phases de développement avant la floraison se traduit assez régulièrement par un nombre d'épillets fertiles un peu plus élevé et par une augmentation de la fertilité de l'épi en semis précoce [135]. La fertilité de l'épi dans une moindre mesure peut être pénalisée, notamment lorsqu'il y a de fortes attaques de piétin échaudage [151]. Une déficience en assimilats au cours de la période fin tallage à montaison se traduit par l'augmentation du taux d'avortement des épillets [133].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le nombre total d'épillets/épi (Annexe A,

Tableau 11). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 5 groupes chevauchants (Annexe C, Tableau 6).

Les variétés distinguées ayant le plus grand nombre d'épillets fertiles dans la station d'Oued Smar sont : V6, V5, V2, V18 et V9 qui présentent respectivement les valeurs suivantes : 24.78, 24.10, 23.15, 22.95 et 21.30 épillets/épi. Quant aux variétés de la station d'El Khroub présentant les meilleurs valeurs pour ce paramètre, elles sont comme suit : V6, V13, V4 et V5 avec respectivement les valeurs suivantes : 19.33 19.28, 19.20 et 19.15 épillets/épi. Ces variétés peuvent être sélectionnées pour ce paramètre qui est une composante importante du rendement en grain (Figure 24) et (Annexe C, Tableau 2).

L'ensemble des variétés montre une variation légère ou négligeable pour le nombre total d'épillets par épi sauf pour la V2, V5, V6, V9 et V18 qui présentent un nombre d'épillets élevé dans la station d'Oued Smar.

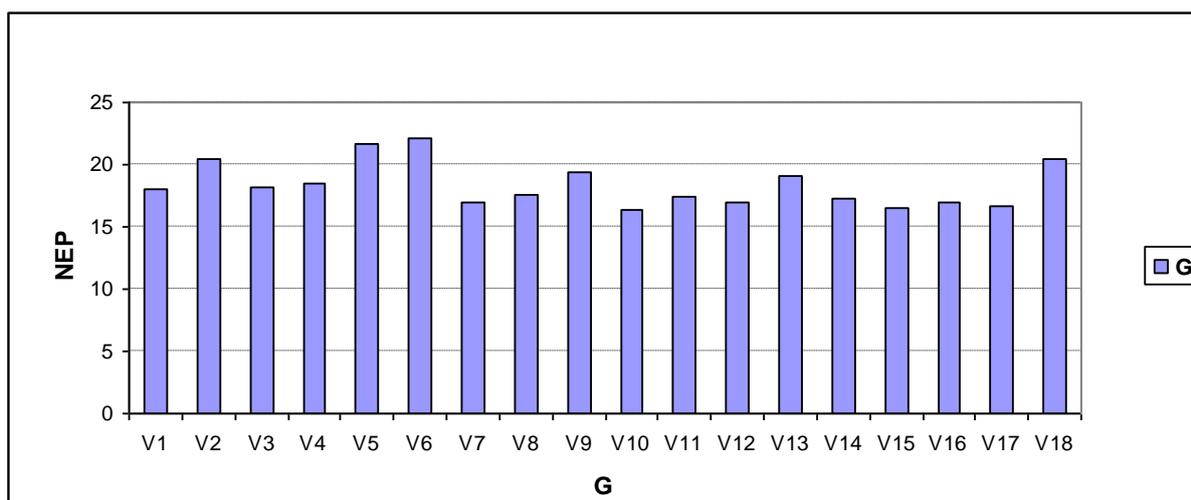


Figure 20: Nombre total d'épillets (facteur génotype)

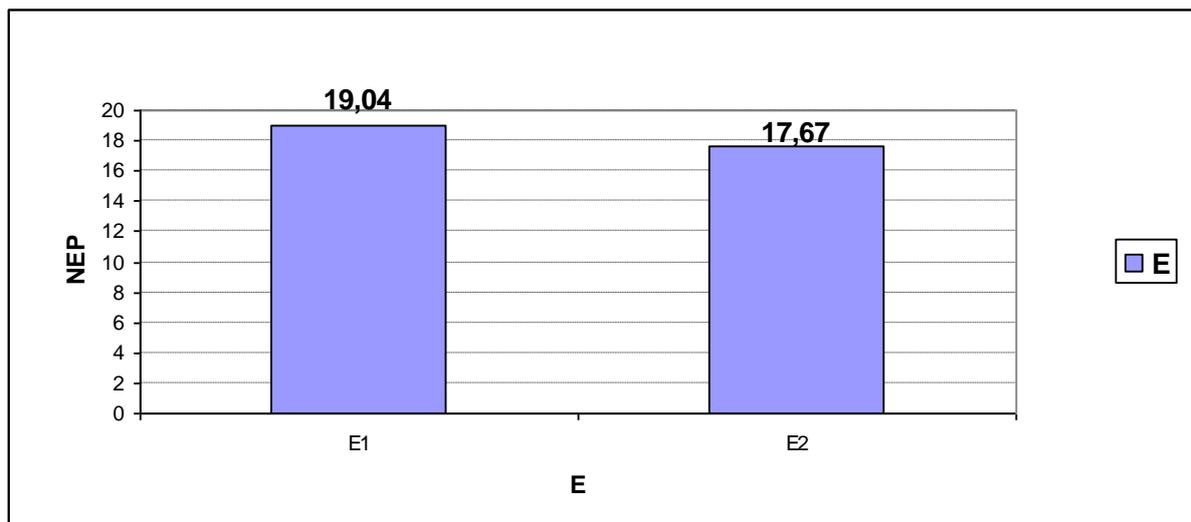


Figure 21: Nombre total d'épillets (facteur environnement)

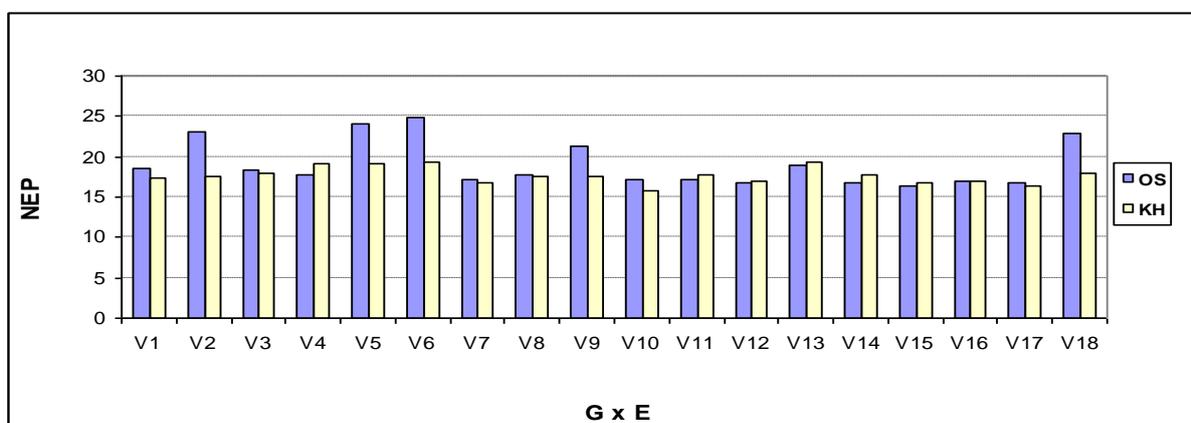


Figure 22: Nombre total d'épillets (facteur interaction)

8.1.8. Nombre d'épillets stériles et fertiles

Tableau 12 : les variétés présentant les valeurs faibles et élevées pour le nombre d'épillets stériles et fertiles

Sources de variation	Stations	Observations	Epillets fertiles/épi	Epillets stériles/épi
Facteur interaction génotype x environnement	Oued Smar	Nombre élevé	23.75 chez la V6	1.13 chez la V6
		Nombre faible	16.28 chez la V15	0 chez la V10
	El Khroub	Nombre élevé	19.05 chez la V13	2.65 chez la V6
		Nombre faible	15.65 chez la V10	0 chez la V10
Facteur environnement	Oued Smar		18.84	0.20
	El Khroub		17.09	0.77
Facteur génotype	Nombre élevé		21.14 chez la V5	1.89 chez la V6
	Nombre faible		16.34 chez la V10	0 chez la V10

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur interaction génotype x environnement sur les deux paramètres ; nombre d'épillets fertiles et stériles par épi (Annexe A, Tableaux 12, 13). Cependant, on remarque que les variétés montrent des nombres d'épillets fertiles ne variant pas beaucoup dans les deux stations sauf pour certaines variétés : V2, V5, V6, V9 et V18 qui présentent des valeurs élevées dans la station d'Oued Smar (Annexe C, Tableaux 7,8) .

La moyenne enregistrée pour la station d'Oued Smar est supérieure à celle enregistrée dans la station d'El Khroub. Elles sont respectivement de 18.84 et 17.09 épillets fertiles par épi.

En ce qui concerne les épillets stériles, on remarque que les variétés conduites dans la station d'El Khroub présentent les valeurs les plus élevées par rapport à celles de la station d'Oued Smar. La V6 dans la station d'El Khroub a

montré un nombre d'épillets stériles le plus élevé par rapport à toutes les autres variétés. Par contre, la V10 a montré un nombre d'épillets stériles nul dans les deux stations.

La station d'El Khroub montre de ce fait le nombre d'épillets stériles par épi le plus élevé par rapport à celui enregistré dans la station d'Oued Smar. Les valeurs sont respectivement comme suit : 0.77 et 0.20 épillets stériles par épi.

8.1.9. Nombre de grains par épi

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significativement du facteur génotype sur le nombre de grains/épi (Annexe A, Tableau 14). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 4 groupes dans un homogène (Annexe B, Tableau 14).

Les meilleures valeurs sont enregistrées chez les variétés ; V15, V16, V11, V12 et V13 et qui présentent respectivement les valeurs suivantes : 60.79, 57.00, 56.92, 55.00 et 54.31 grains/épi. Les autres variétés présentent des valeurs moyennes variant entre 41.29 et 51.10 grains/épi (Figure 25) et (Annexe B, Tableau 14).

La valeur la plus élevée a été enregistrée chez la variété V15 (CANELO-8//SORA/2*PLATA-12) avec 60.79 grains/épi et qui appartient au groupe homogène A, alors que les faibles valeurs ont été enregistrées chez les variétés V18 CIRTA TEMOIN, V1 (TR32225/GEDIZ//OFANTO), V9 (ACSAD1107 TEMOIN), V3 (BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-1S-OS)), V7 (BOUSSELLAM TEMOIN), et V6 (MBB Témoin) qui présentent la plus faible valeur 41.29 grains /épi et qui appartiennent toutes au groupe homogène D.

Ce paramètre est un caractère variétal [142]. L'augmentation du nombre de grains par épillet fertile permet de compenser en partie le défaut de nombre de grains [136]. Cependant, les valeurs enregistrées montrent une différence très nette entre les variétés étudiées. La variété V15 montre de ce fait la valeur la plus élevée avec 60.79 grains par épi.

Lorsque les conditions de croissance et la capacité génotypique conduisent à la réalisation d'un nombre de grains par m² élevé via les épis par m² ou les grains par épi, elles aboutissent à l'extériorisation d'une vitesse de remplissage des grains par m² et d'un indice de récolte élevé dont la résultante est l'expression d'un haut rendement en grain [8].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le nombre de grains/épi (Annexe A, Tableau 14). Le test de NEWMAN et KEULS de la PPAS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne de 60.63 grains /épi appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, alors que la faible valeur a été enregistrée avec une moyenne de 37.90 grains /épi appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées au niveau de la station d'El Khroub (Figure 26).

Le nombre de grains par épi paraît très élevé dans la station d'Oued Smar, contrairement à la station d'El Khroub qui montre une valeur inférieure de moitié par rapport à celle enregistrée à Oued Smar. Cette différence se justifie par la fertilité des épis et les conditions climatiques qui ont favorisé ce paramètre dans la zone sub-humide (Oued Smar).

La biomasse de l'épi atteinte à la floraison est un indicateur du nombre de fleurs par épi. La relation entre le nombre de grains par épi et cette biomasse peut être utilisée comme outil de diagnostic capable de révéler un déficit de fécondation. La régression apparaît exclusivement sur les épillets du sommet de l'épi [56]. Pendant la floraison, une température inférieure à 16 °C peut entraîner une diminution de la fécondation. Le nombre de fleurs par épi qui seront fertiles dépend de l'évapotranspiration potentielle. Celle-ci a donc une influence décisive au cours de cette phase sur le nombre de grains formés par épillet qui est une composante prépondérante de la productivité [33].

Bien que la fertilité de l'épi soit un caractère variétal, elle pourrait dépendre des conditions climatiques au moment de la fécondation et juste après [142]. Les faibles nombres de grains par épi ne résultent pas d'une limitation de la croissance de la plante mais directement d'un déficit de fécondation imputable à une stérilité importante du pollen des fleurs [56].

Selon Mekli *et al* [142], le nombre de grains par épi est conditionné par les moyennes de la température et de la longueur du jour relatives à la phase où la composante du rendement en question s'élabore. Plus les températures sont relativement faibles, plus le nombre de grains par épi est élevé. Contrairement, plus les jours s'allongent, plus le nombre de grains/épi augmente. Gate [56], souligne que des basses températures et un défaut de rayonnement peuvent produire les mêmes effets : un déficit de grains par épi consécutif à une absence de fécondation sans limiter pour autant la croissance. L'apparition de séquences thermiques élevées en fin de cycle provoque une limitation du nombre de grains [56].

Le nombre de grains/épi est sensible aux conditions climatiques de la période fin tallage à montaison [133]. Fisher (1973) *in* Assem *et al* [152] indique que si la sécheresse survient durant les dernières semaines précédant l'épiaison, elle peut réduire le nombre de grains par épillet.

Lorsque la contrainte hydrique est appliquée dès le stade « épi à 1cm », l'ensemble des composantes du nombre de grains par m² est affecté [78]. Selon Bouzerzour *et al* [139], l'augmentation du nombre de grains pourrait être due à l'effet positif de la sécheresse par la réduction du nombre d'épis/m² et probablement à l'effet négatif du gel pour le matériel précoce.

L'analyse statistique n'a pas révélé d'effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le nombre de grains/épi (Annexe A, Tableau 14).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés V15, V12, V16, et V11 présentent les meilleures valeurs pour ce paramètre et qui sont respectivement ; 72.82, 70.40, 67.78 et 67.30 grains/épi. Les autres variétés présentent des valeurs variant entre 50.93 et 64.88 grains/épi. Dans l'ensemble, les variétés cultivées à Oued Smar

présentent des valeurs élevées en terme du nombre de grains/épi. Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés ; V4, V11, V13, V15 et V16 présentent les meilleures valeurs parmi les 18 variétés cultivées dans cette région. Leurs valeurs sont respectivement comme suit : 40.28, 46.55, 43.95, 48.78 et 46.25 grains/épi. Les autres variétés montrent des valeurs inférieures à 40 grains/épi (Annexe D, Tableau 1).

D'après les résultats, on remarque que les variétés ont un nombre de grains par épi très élevé dans la station d'Oued Smar, contrairement au nombre enregistré dans la station d'El Khroub.

Le nombre de grains/m² est un caractère étroitement lié au rendement en grain, sous différents lieux et pour différents génotypes [147]. Pour le rendement en grain et le nombre de grains, les génotypes répondent différemment à la variation de l'environnement [153]. Selon Dakheel *et al* [154], qui a démontré que sous des environnements stressés modérément (300-350 mm de précipitations), un rendement en grain élevé de blé dur est corrélé avec un nombre de grain élevé par unité de surface et un taux de remplissage de grains élevés. Cet auteur a trouvé qu'un taux de remplissage élevé a été aussi important sous des environnements stressés sévèrement.

Ehdaie *et al* [78] souligne que la variation génotypique du nombre de grain par épi a été exprimée plus sous les conditions d'irrigation normale que sous les conditions de sécheresse.

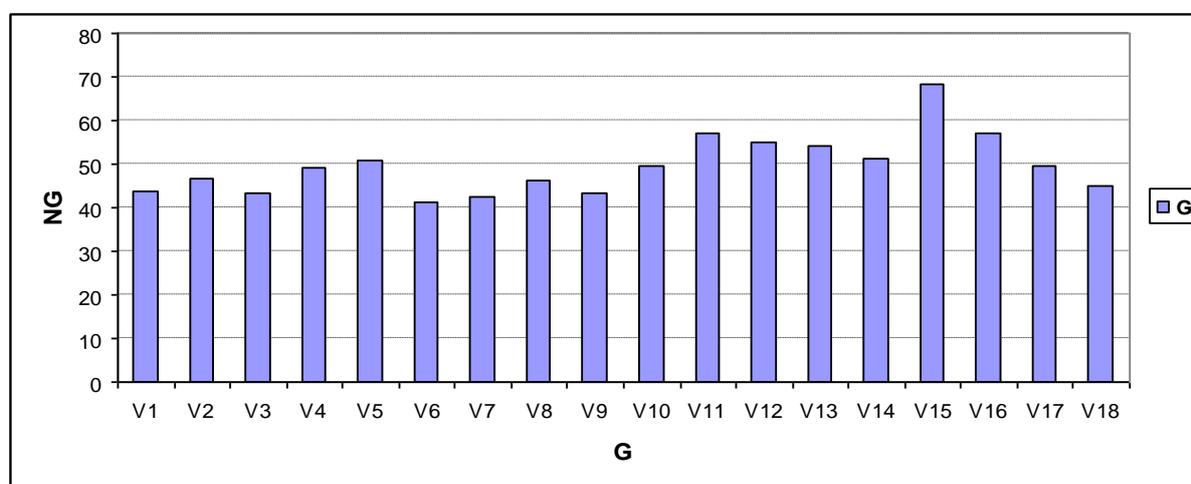


Figure 23: Nombre de grains par épi (facteur génotype)

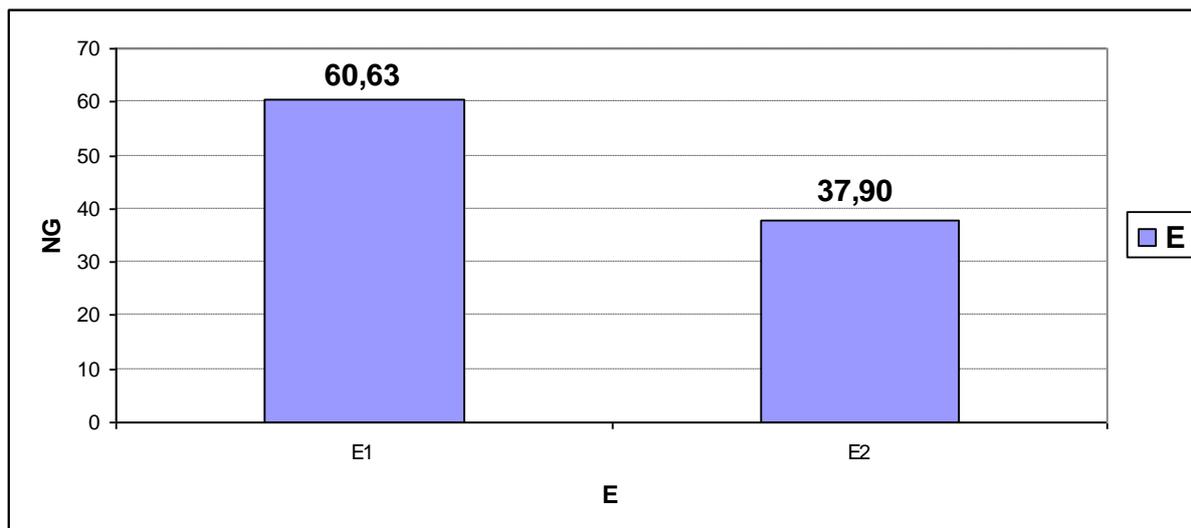


Figure 24: Nombre de grains par épi (facteur environnement)

8.1.10. Poids de mille grains

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le poids de mille grains (Annexe A, Tableau 15). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 6 groupes dont un homogène (Annexe B, Tableau 15).

Les meilleures valeurs sont enregistrées chez les variétés ; V3, V6 et V4, V7 et V1 avec respectivement les poids de mille grains/épi suivants : 38.86, 37.03, 35.56, 34.58 et 34.49 grammes. Cependant, les autres variétés présentent des PMG faibles (inférieures à 34 gr) (Figure 27) et (Annexe B, Tableau 15).

Ces résultats montrent une différence nette entre les variétés pour ce paramètre. Ceci montre que le PMG est un caractère variétal comme l'a soulevé Mekli *et al* [142].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le poids de mille grains (Annexe A, Tableau 15). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La meilleure valeur du PMG a été enregistrée avec une moyenne de 37.05 grammes appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, tandis que la faible valeur a été enregistrée avec une moyenne de 27.22 grammes appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à El Khroub. Nos

résultats montrent que le PMG est très élevé dans la station d'Oued Smar par rapport à celui enregistré dans la station d'El Khroub (Figure 28).

Le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain [2][155]. Un manque d'eau après floraison combiné aux températures élevées entraînent une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage ce qui se traduit par l'échaudage des grains [2]. L'avortement des grains sous les conditions de sécheresse est à l'origine de la réduction du poids des grains, et ceci est probablement dû à la diminution de l'approvisionnement en assimilats dans le grain [156].

Pour la grande majorité des situations, les pertes de poids de 1000 grains résultent plus de l'action des fortes températures que des manques d'eau. En effet, pour les sols à réserves en eau moyennes ou non limitantes (supérieures à 120 mm), les excès thermiques contribuent pour environ 2/3 aux limitations du poids de 1000 grains contre 1/3 pour le déficit hydrique [145]. L'apparition de séquences thermiques élevées [56] et une carence hydrique [157] en fin de cycle provoquent une limitation du poids de 1000 grains. Mekli *et al* [142] soulignent que le PMG est sensiblement influencé par les moyennes de l'évapotranspiration potentielle et de la température de la phase épiaison-maturation.

Le poids de mille grains n'est pas sensiblement influencé par la date de semis [135]. Cependant, il peut être pénalisé, notamment lorsqu'il y a de fortes attaques de piétin échaudage [151]. Par stade de croissance, la perte du poids de 1000 grains croît proportionnellement à la note de verse [141].

Selon Bouzerzour *et al* [139], la période de remplissage des grains n'est pas importante à elle seule dans la détermination du rendement. Le rôle du taux de remplissage des grains dans l'augmentation du poids des grains a été démontré [158]. La vitesse de remplissage du grain est négativement liée à la durée de remplissage [8]. Par contre, la durée de remplissage est positivement liée au poids de 1000 grains [8] [159].

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur le poids de mille grains (Annexe A, Tableau 15).

Dans la station d'Oued Smar, on peut sélectionner les variétés suivantes pour le PMG élevés et elles sont : V1, V3, V6 et V7 avec respectivement les PMG suivants : 40.98, 44.71, 41.05 et 40.66 grammes. Par contre, les autres variétés présentent des PMG inférieurs à 40 grammes. Dans la station d'El Khroub, les variétés qui se distinguent pour ce paramètre sont : V3 et V6 avec un PMG de 33.00 grammes. Le reste des variétés ont un PMG inférieur à 30 grammes (Annexe D, Tableau 1).

Dans l'ensemble, la variété V3 et V6 se distinguent pour ce paramètre dans les deux sites d'étude. Le PMG des variétés conduites à Oued Smar est élevé en le comparant à ceux des variétés conduites à El Khroub.

Bien que le poids de mille grains est un caractère essentiellement variétal [142], Il subit de façon manifeste les effets de l'environnement et de ses interactions avec les variables phénotypiques [155]. La croissance des grains dépend du degré du déficit hydrique et du stade de développement du grain [78]. Cette durée de la croissance des grains a été significativement affectée par la variation de l'environnement et du génotype et par l'interaction génotype x environnement [153].

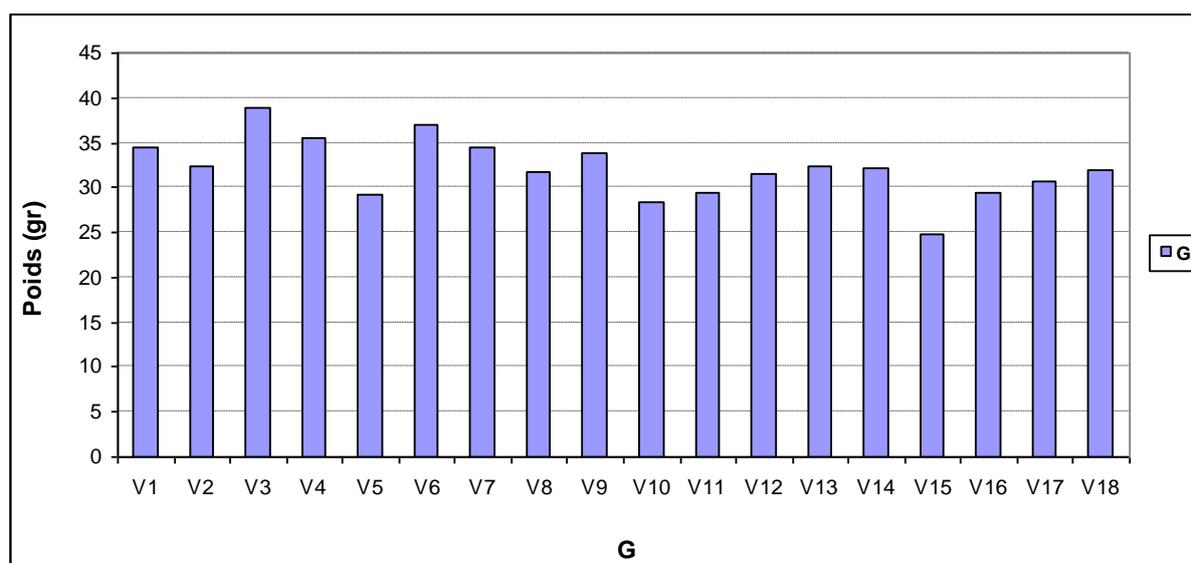


Figure 25: Poids de mille grains (facteur génotype)

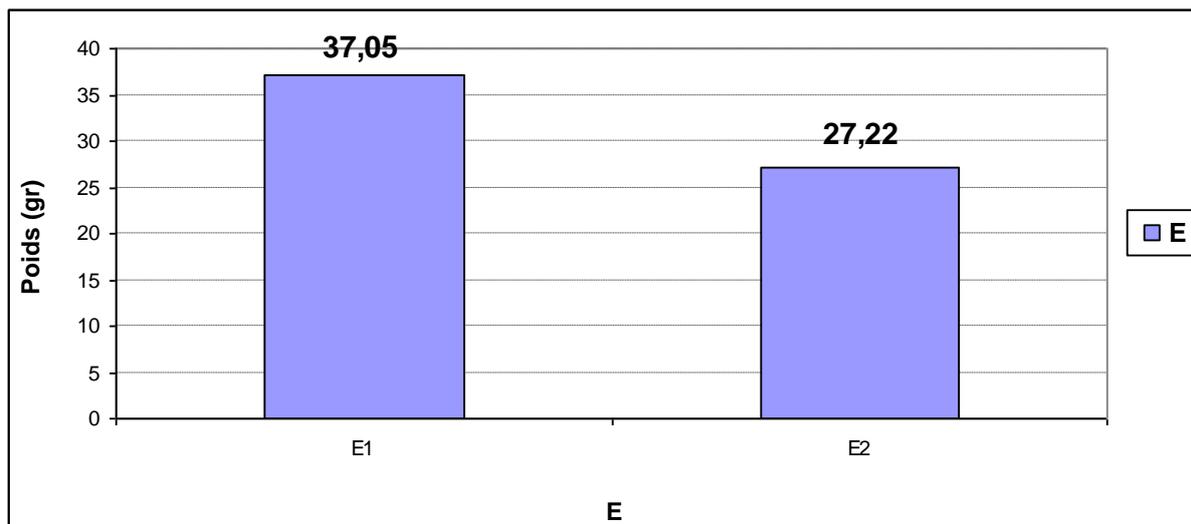


Figure 26: Poids de mille grains (facteur environnement)

8.1.11. Rendement en grain réel

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le rendement réel (Annexe A, Tableau 16). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 3 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 16). Le meilleur rendement a été enregistré chez la variété V3 (BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-1S-OS)) avec 30.04 q/ha, alors que le rendement le plus faible a été enregistré chez la variété V6 avec 14.75 q/ha. Les autres variétés ont des rendements moyens variant entre 16.27 et 25.27 q/ha (Figure 29) et (Annexe B, Tableau 16).

Les variétés montrent des valeurs différentes pour ce paramètre. Les faibles rendements enregistrés pour l'ensemble des variétés sont causés par les faibles valeurs enregistrées pour les composantes du rendement dues à un manque de précipitations pendant les périodes critiques en eau tel est le cas du remplissage des grains.

Le rendement est le produit de trois facteurs : le nombre d'épis/m², le nombre de grains/épi et le poids de mille grains [133]. Jonard *et* Koller (1950) *in* Benbelkacem *et* Kellou [133] ont conclu que la modification d'un facteur du rendement, sans variation compensatrice des autres, doit provoquer un changement de rendement.

Le rendement en grain dépend étroitement du niveau de fertilité des épis [130]. Bien que le rôle du taux de remplissage des grains dans l'augmentation du poids des grains ait été démontré, son effet sur le rendement est influencé par le nombre de grains qui est le composant de rendement le plus important, et négativement corrélé avec la durée de la croissance des grains et le nombre de grains [158].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le rendement (Annexe A, Tableau 16). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes. Le meilleur rendement a été enregistré avec une moyenne de 24.06 q/ha appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à El Khroub, alors que le faible rendement a été enregistré avec une moyenne de 20.08 q/ha appartenant au groupe B constitué des 18 variétés cultivées à Oued Smar (Figure 30).

La station d'Oued Smar montre un rendement plus faible par rapport à celui enregistré dans la station d'El Khroub. Ceci revient à la fertilité des talles qui est faible dans cette zone.

Le rendement en grain, sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, est la résultante de la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation 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 [160].

Ehdaie *et al* [78], considère que le rendement en grain réduit en conditions de sécheresse est à l'origine de la réduction du poids des grains et du nombre de grains.

Gate *et al* [137] ont noté qu'une variété à haut potentiel peut présenter une forte aptitude à tolérer la sécheresse. Passioura [161] considère le rendement en grain sous contrainte hydrique comme la résultante de la transpiration, de l'efficacité

de l'eau et de l'indice de récolte. De plus, le rendement reste tributaire des conditions de maturation qui affecteront le poids de mille grains [162].

Selon Huet [135], l'avancement de la date de semis ne provoque pas un accroissement sensible des potentialités de rendements. Contrairement à Gate [56], qui indique que le rendement diminue à une date de semis d'autant plus précoce que l'on s'adresse à une variété précoce. L'analyse des composantes de rendement montre que ce sont le nombre de grains par épi et le nombre d'épis/m² qui sont affectés. La chute de rendement se manifestait à une date de semis donnée, fonction le plus souvent du lieu et de la précocité de la variété.

Selon Dekkaki *et al* [163], le rendement grain est étroitement lié au nombre de jour à l'épiaison. Nos résultats indiquent que les variétés précoces telle est le cas de la V3 et la V10 présentent les meilleurs rendements par rapport à la variété la plus tardive qui est dans notre cas la variété MBB.

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif de l'interaction génotype x environnement sur le rendement réel (Annexe A, Tableau 16).

Dans la station d'El Khroub, les variétés ; V3, V10, V16, V17, V15, V1, V11, et V8 présentent les meilleur rendements dans cette zone avec respectivement les valeurs suivantes : 28.83, 27.42, 27.25, 26.63, 26.46, 26.08, 26.04, et 24.54 q/ha. Par contre, dans la station d'Oued Smar, les variétés qui présentent les meilleurs rendements sont : V3, V7, V14, V8, V4 et V10 avec respectivement les valeurs suivantes : 31.25, 27.50, 26.25, 24.58, 23.33 et 23.13 q/ha (Annexe D, Tableau 1).

Pour le rendement en grain et le nombre de grains, les génotypes répondent différemment pour la variation de l'environnement [154]. La variation d'une année à l'autre, des quantités de pluies reçues, de leurs distributions et du régime des températures hivernales et printanières induisent une forte variation des rendements. Sous conditions pluviales, la durée de remplissage atteint rarement sa durée maximale, suite aux effets des stress climatiques qui ne permettent pas au grain d'atteindre son poids potentiel [146].

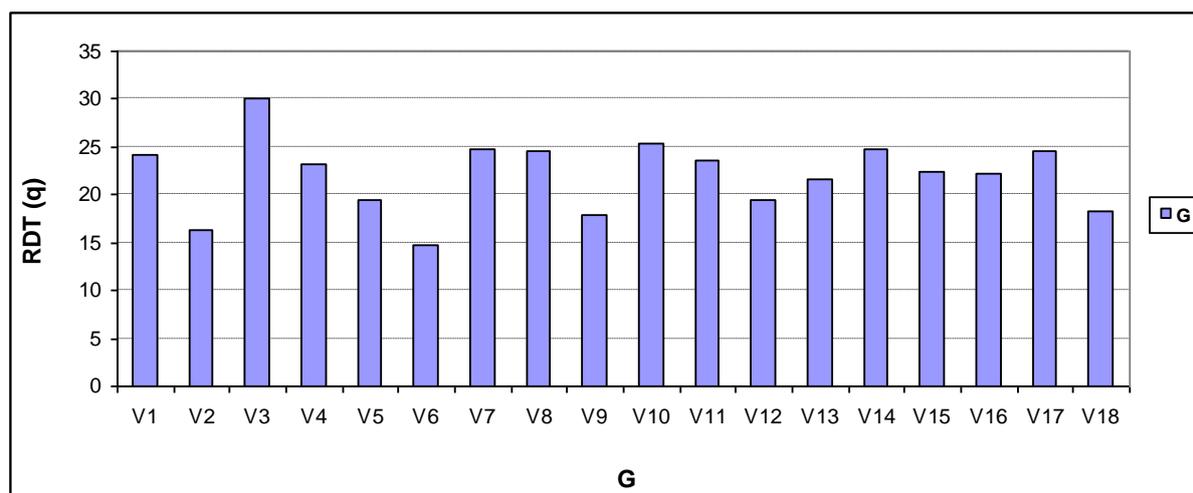


Figure 27: Rendement réel (facteur génotype)

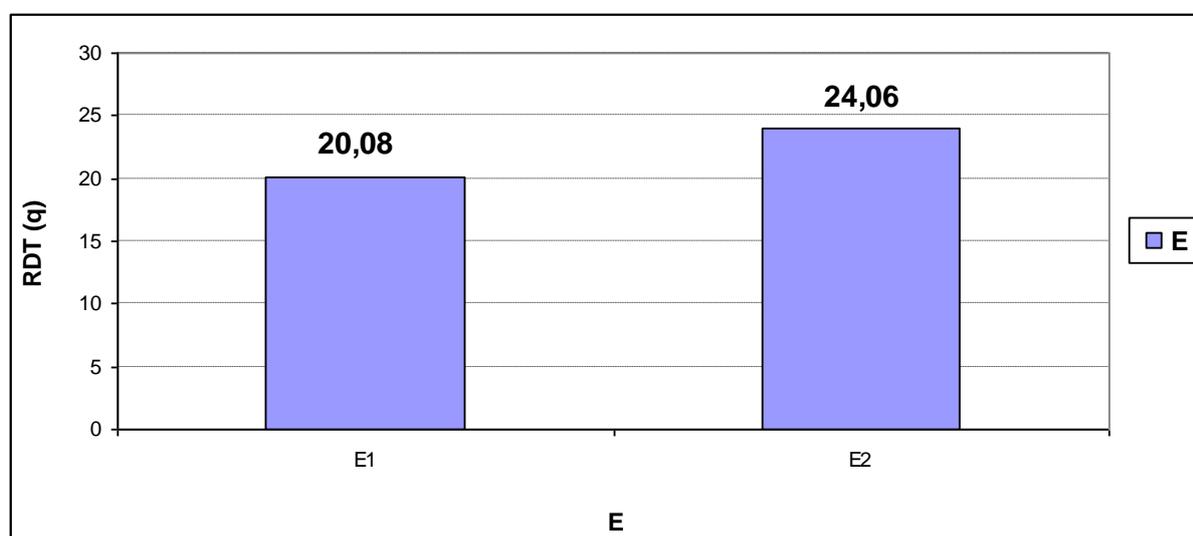


Figure 28: Rendement réel (facteur environnement)

8.1.12. Le rendement estimé

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur le rendement estimé (Annexe A, Tableau 17). Le rendement estimé le plus élevé a été enregistré chez la variété V16 (LAPDY-47/HAI-OU-17) avec 54.05 q/ha, alors que le rendement le plus faible est enregistré chez la variété V6 (MBB Témoin) avec 38.02 q/ha (Figure 31) et (Annexe B, Tableau 17).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur le rendement estimé (Annexe A, Tableau 17). Le test de NEWMAN et KEULS de la PPAS a révélé l'existence de deux groupes homogènes,

A et B. Le meilleur rendement a été enregistré avec une moyenne de 63.52 q/ha appartenant au groupe homogène A composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar, alors que le faible rendement a été enregistré avec une moyenne de 32.36 q/ha appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à EL Khroub (Figure 32).

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif de l'interaction génotype x environnement sur le rendement estimé (Annexe A, Tableau 17).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés présentant les meilleurs rendements estimés sont : V10, V16, V13, V14, V17, V3, V12 et V11 avec respectivement les valeurs suivantes : 76.09, 73.80, 72.86, 68.59, 68.44 68.15, 68.05 et 67.34q/ha. Les autres variétés présentent des rendements moyens variant entre 44.39 et 66.41 q/ha. Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés ayant les meilleurs rendements sont : V11, V15, V3, V4 et V14 avec respectivement les valeurs suivantes : 39.58, 39.24, 37.23, 35.47 et 35.08 q/ha. Toutes les autres variétés présentent des valeurs inférieures à 35 q/ha (Annexe D, Tableau 1).

Dans l'ensemble, les variétés d'Oued Smar présentent les valeurs les plus élevées par rapport à celle enregistrées dans la station d'El Khroub. Cette différence est due au nombre de grains et le PMG élevés dans la station d'Oued Smar, contrairement à la station d'El Khroub où ces paramètres sont faibles.

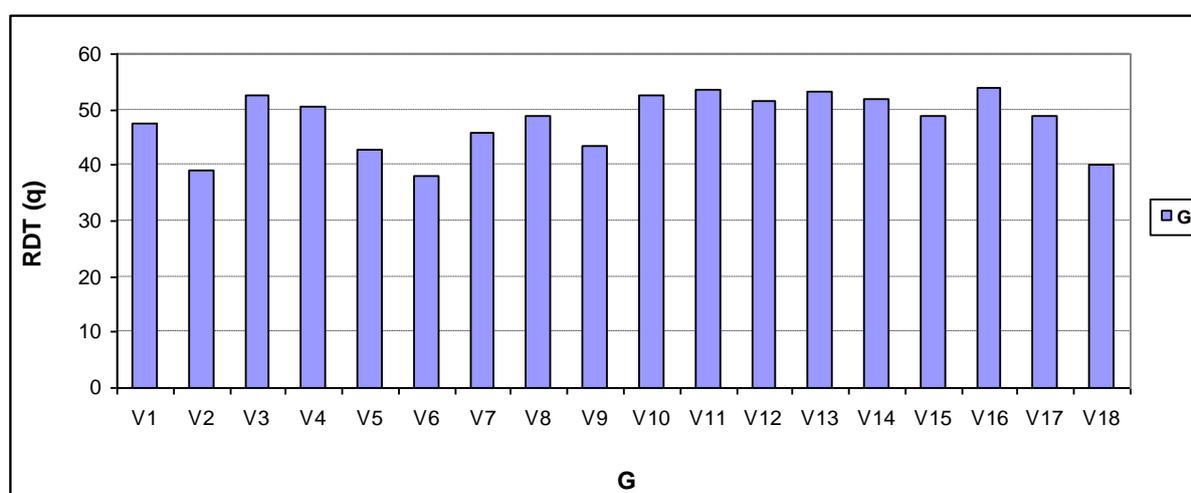


Figure 29: le rendement estimé (facteur génotype)

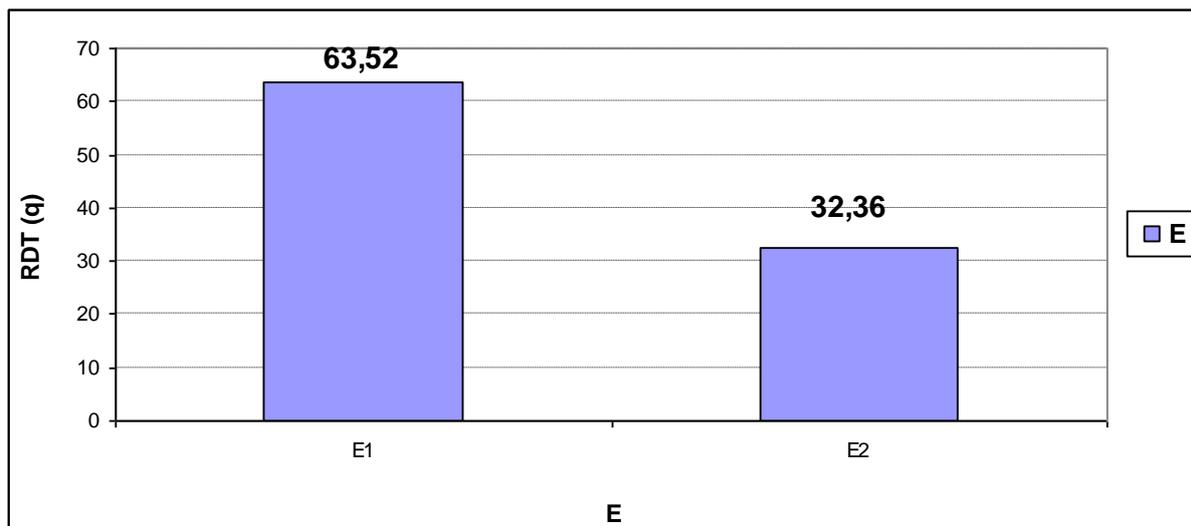


Figure 30: le rendement estimé (facteur environnement)

8.1.13. Echaudage

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur l'échaudage (Annexe A, tableau 18). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence d'un groupe homogène et 10 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 18). Les valeurs les plus élevées de l'échaudage ont été enregistrées chez les variétés V15 et V10 avec respectivement les pourcentages suivants : 7.30 et 6.76 %. Alors que les autres variétés présentent des valeurs variant entre 1.84 et 4.91 % (Figure 33) (Annexe B, Tableau 18).

Le phénomène d'échaudage se traduit par l'aspect ridé des grains qui ne peuvent faire le plein de leurs réserves [33]. C'est un accident du remplissage des grains qui se traduit à la récolte par des grains présentant un aspect plus ou moins ridé, aux contours anguleux. La teneur en amidon est faible ainsi que le poids de 1.000 grains [27].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur l'échaudage (Annexe A, Tableau 18). Le test de NEWMAN et KEULS de la PPAS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La valeur élevée de l'échaudage a été enregistrée dans la station d'El Khroub avec 4.28% (groupe A), alors que la valeur faible a été enregistrée dans la station d'Oued Smar avec 2.80 % (groupe B). Cette différence est à l'origine du déficit hydrique qui a

marqué la période de remplissage des grains et les températures un peu plus élevées enregistrées durant cette période (Figure 34).

Les causes de l'échaudage sont diverses : des attaques parasitaires, une verse physiologique ou des températures élevées associées à une alimentation en eau déficitaire provoquant un « coup de chaleur » [27]. C'est au cours du palier hydrique, que peut intervenir l'échaudage par suite du coup de chaleur lorsque pendant au moins deux jours consécutifs la température dépasse dans la journée, sous abri météorologique, un maximum de 30 ° degrés [33]. Au moment de la migration vers les grains des réserves accumulées dans les feuilles et les tiges, la plante a besoin d'eau pour assurer la circulation de la sève. L'échaudage résulte d'un déficit dans l'alimentation en eau et d'un excès d'évapotranspiration. Au cours de la maturation, le grain traverse une phase critique de sensibilité à l'échaudage [27]. La période critique se situe entre le stade grain laiteux et le stade grain pâteux. Une température avoisinant les 30°C pendant quelques jours, durant ce palier hydrique, se traduit par un grain échaudé, c'est-à-dire un grain mal rempli, à contours anguleux, à sillon large et profond, à texture vitreuse et poids de 1000 grains inférieurs à la normale [32].

Il est important que le choix variétal soit en adéquation avec l'époque de semis de manière à limiter les risques climatiques tels que le gel, les températures basses à certains stades, la sécheresse, l'échaudage [143]. Un grain de qualité chez le blé dur est aussi associé à une protection préventive de la culture des maladies foliaires, rouille brune en particulier, qui cause l'échaudage du grain [5].

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif de l'interaction génotype x environnement sur l'échaudage (Annexe A, Tableau 18). Le test de NEWMAN et KEULS de la PPAS a révélé l'existence de 12 groupes dont 11 chevauchants (Annexe B, Tableau 18).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés ayant des taux d'échaudage les plus élevés sont : V15, V10, V5, V12 et V6 avec respectivement les valeurs suivantes : 6.20, 6.05, 3.74, 3.66 et 3.05%. Le reste des variétés présentent de faibles taux d'échaudage ne dépassant pas les 3 %.

Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés ayant les taux d'échaudage les plus élevés sont V15, V10, V8, V11 et V16 avec respectivement les taux d'échaudage suivants 8.41, 7.47, 6.96, 5.90, et 5.36. Les autres variétés présentent des taux d'échaudage inférieurs à 5% (Figure 35) et (Annexe B, Tableau 18).

Les variétés se comportent différemment d'un milieu à un autre. Cependant, elles montrent des taux d'échaudage différents. Ces derniers dépendent à la fois de la variété, du milieu et de leur interaction. De ce fait, le choix variétal ainsi que le milieu de culture s'imposent pour éviter au maximum les différents risques climatiques, entre autre l'échaudage qui affecte directement le poids de mille grains, et donc le rendement.

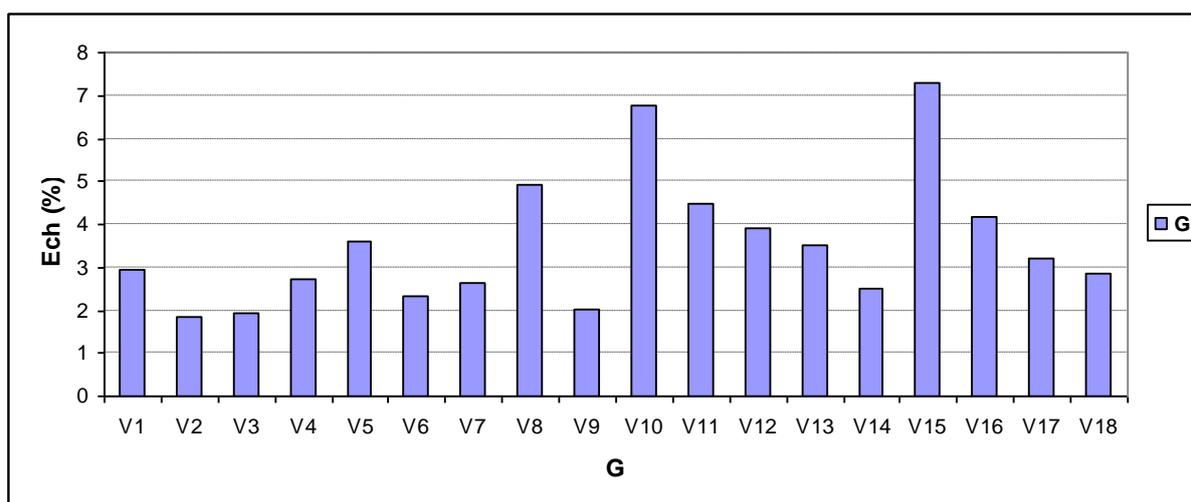


Figure 31: Echaudage (facteur génotype)

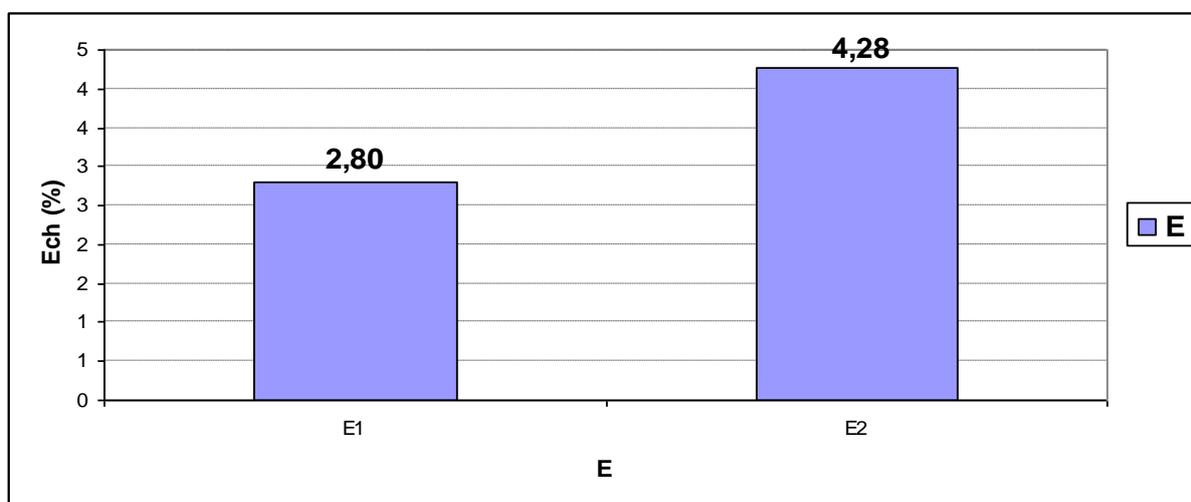


Figure 32: Echaudage (facteur environnement)

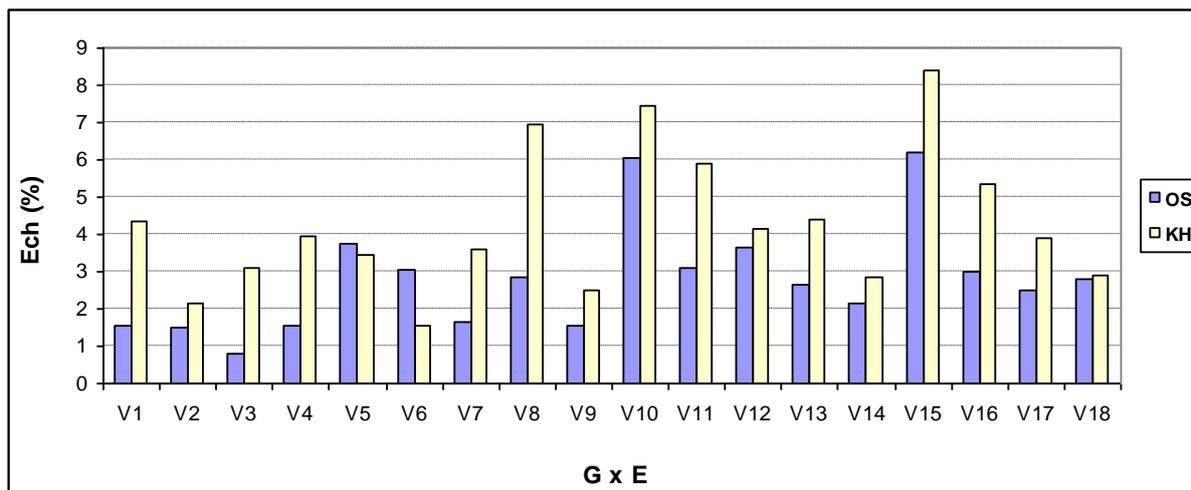


Figure 33: Echaudage (facteur interaction)

8.1.14. Les longueurs de l'épi, du col, des derniers entre-nœuds et des barbes

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif du facteur interaction génotype x environnement sur l'ensemble de ces paramètres, la longueur de l'épi, la longueur du col et la longueur du dernier entre-nœud (Annexe A, Tableaux 7,8 et 9).

8.1.14.1. La longueur de l'épi

Les valeurs enregistrées pour ce paramètre sont différentes dans les deux milieux. De ce fait, on a remarqué que les variétés d'Oued Smar ont montré des épis légèrement longs par rapport aux variétés d'El Khroub. Ceci est à l'origine des conditions climatiques de la région d'Oued Smar (Figure 37). Aggoun *et al* [156], indique qu'une amélioration de la pluviosité influe sur la longueur de l'épi.

L'accumulation des sucres pendant la pré-anthèse contribue à raison de 13 à 70 % au rendement en grain. Sous stress hydrique, le pédoncule de l'épi représente un site de stockage des réserves d'assimilats en vue d'un meilleur remplissage des grains, ces sucres accumulés proviennent de l'hydrolyse des réserves d'amidon des racines. Cependant, La part des assimilats transférés est relativement marginale en bonnes années pour devenir important lors des années défavorables, lorsque le stress hydrique affecte fortement l'appareil photosynthétique [8].

Dans la station d'Oued Smar les variétés V18, V2, V5 et V6 présentent les longueurs de l'épi les plus élevées avec respectivement les valeurs suivantes : 9.01, 8.23, 8.14 et 8.03 cm. Toutes les autres variétés présentent des valeurs inférieures à 8 cm. Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés suivantes : V2, V13, 14, V11, et V18 présentent les longueurs de l'épi les plus élevées avec 7.36, 7.05, 6.98, 6.85 et 6.83 cm. Toutes les autres variétés présentent des valeurs inférieures à 6 cm. Les meilleures variétés peuvent être retenues et sélectionnées pour une meilleure adaptation à la sécheresse (Figure 36) et (Annexe C, Tableau 4).

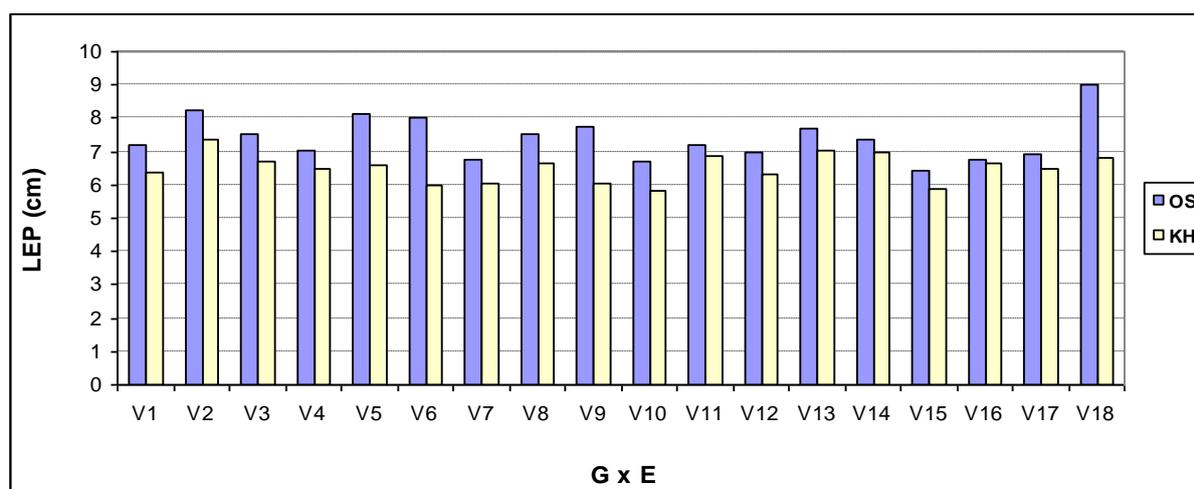


Figure 34 : longueur de l'épi (facteur interaction)

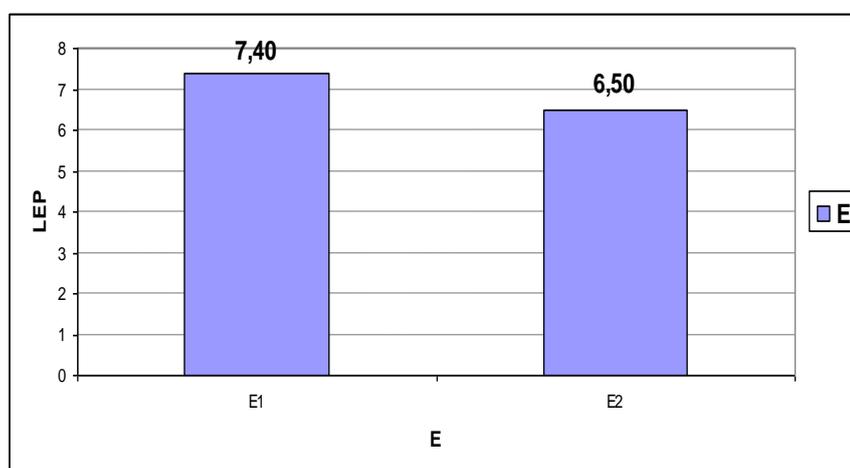


Figure 35: longueur de l'épi (facteur environnement)

8.1.14.2. La longueur du col

Le col permet le transfert des assimilats de la tige vers l'épi [164] et qu'une longueur du col de l'épi élevée est souvent associée à une meilleure tolérance au déficit hydrique [165]. GATE *et al* [166] notent qu'une paille et une longueur du col

relativement hautes confèreraient à la plante en cas de déficit hydrique une meilleure capacité à tolérer la sécheresse grâce aux quantités d'assimilats stockés dans ces organes.

Les variétés d'Oued Smar présentent des longueurs du col plus élevées (>10 cm). Contrairement aux variétés conduites à El Khroub qui présentent des longueurs ne dépassant pas 11 cm. Dans l'ensemble, les génotypes d'Oued Smar présentent des valeurs très élevées pour ce paramètre et peuvent résister aux conditions de sécheresse par rapport aux variétés d'El Khroub. La V9 et la V10 présentant les longueurs de col les plus élevées dans les deux sites peuvent être sélectionnées pour ce paramètre (Figures 38, 39) et (Annexe C, Tableau 5).

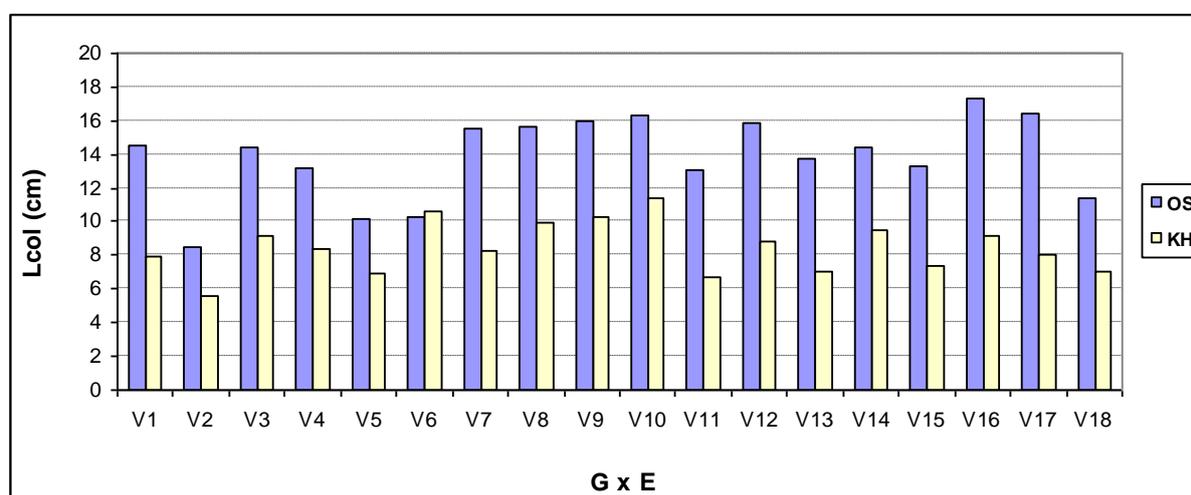


Figure 36 : la longueur du col (facteur interaction)

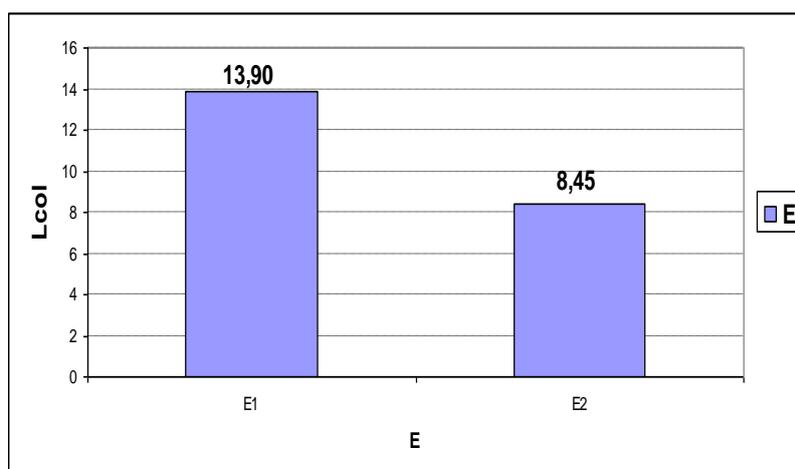


Figure 37: la longueur du col (facteur environnement)

8.1.14.3. La longueur des derniers entre-nœuds

La vitesse d'élongation des entre-nœuds par degrés jour dépend en priorité de la variété, puis de la date de semis et enfin de la densité [141]. Une température élevée pendant la montaison limite l'élongation des entre-nœuds. Intervenant en début de montaison, ce sont les premiers entre-nœuds qui sont le siège de cette réduction [56].

Les longueurs des derniers entre-nœuds enregistrés dans la station d'El Khroub sont très élevées, et elles dépassent toutes les 50 cm. Contrairement aux variétés d'Oued Smar qui présentent des valeurs faibles ne dépassant pas les 38 cm (Figures 40, 41).

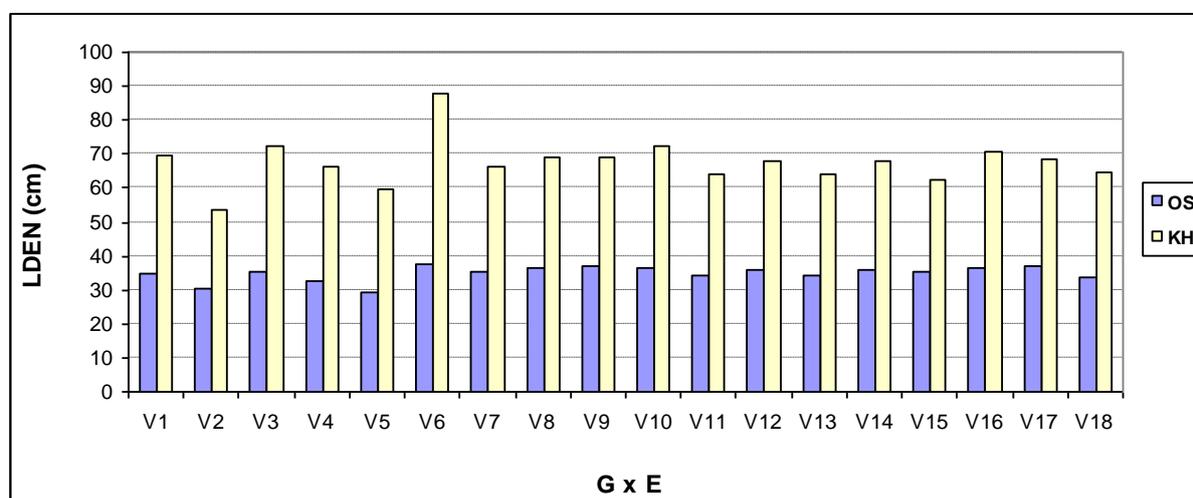


Figure 38 : la longueur du dernier entre-nœud (facteur interaction)

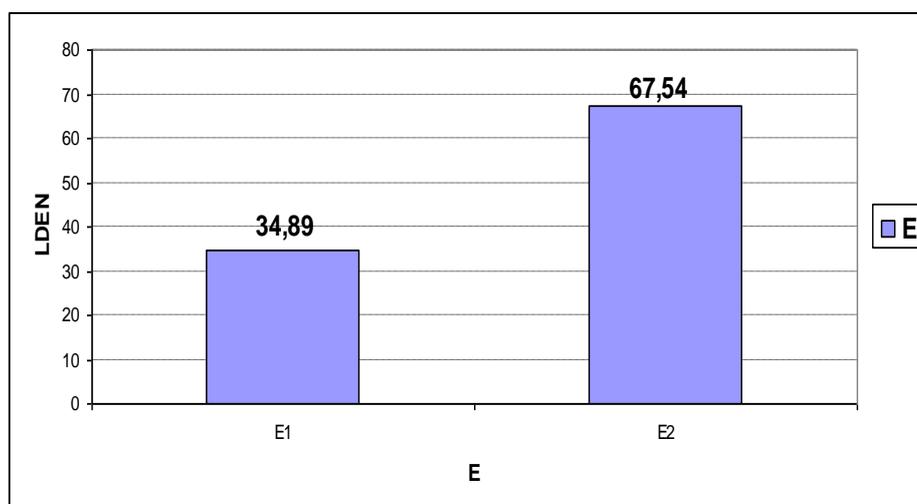


Figure 39: la longueur du dernier entre-nœud (facteur environnement)

8.1.14.4. La longueur des barbes

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif du facteur interaction génotype x environnement sur la longueur des barbes. Contrairement aux facteurs, génotype et environnement dont on enregistre un effet très hautement significatif sur ce paramètre (Annexe A, Tableau 10).

Les variétés d'Oued Smar montrent des longueurs des barbes variant entre 11 et 13 cm. Ces longueurs sont légèrement élevées par rapport aux variétés d'El Khroub qui montrent des longueurs variant entre 10 et 11 cm (Annexe B, Tableau 10).

La meilleure valeur a été enregistrée dans la station d' Oued Smar avec 12.22 cm appartenant au groupe homogène A, alors que la valeur faible a été enregistrée à El Khroub avec 10.28 cm appartenant au groupe homogène B (Figure 42).

La valeur la plus élevée a été enregistrée chez la variété V3 avec 12.53 cm, alors que la valeur la plus faible a été enregistrée chez les variétés V15 avec 10.33 (Figure 43).

Les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi [72]. De même, la persistance de la chlorophylle de la feuille étendard, celle des glumes et des barbes aident aussi à un meilleur remplissage du grain, sous stress [158].

GRUNBACHER (1963) *in* Aït Kaki [167] note que dans les régions sèches et chaudes, ces barbes augmentent le rendement .Cette hypothèse a été confirmée plus tard pour différentes conditions de l'environnement, par AUSTIN [168].

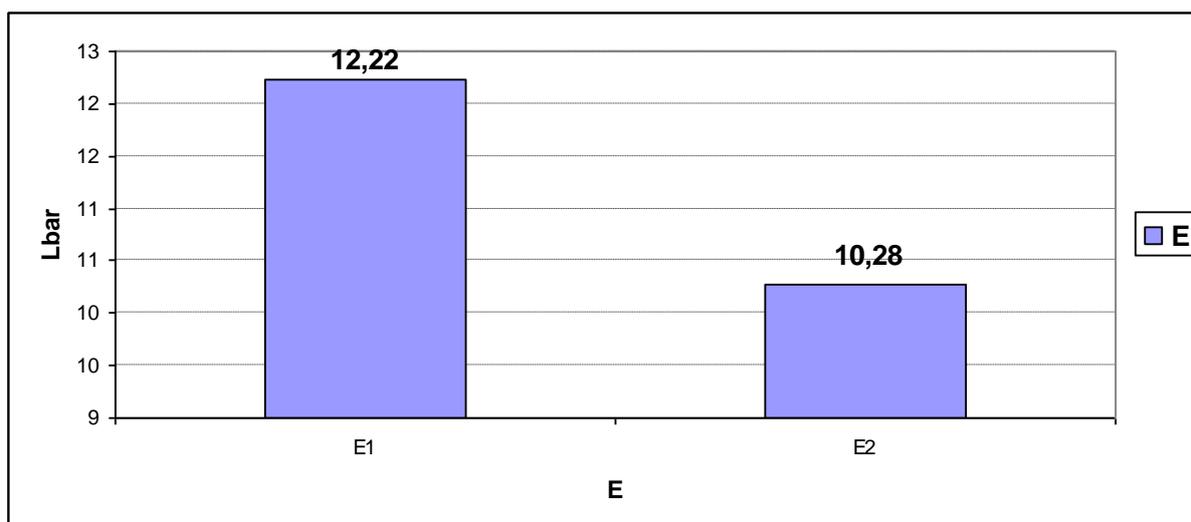


Figure 40: la longueur des barbes

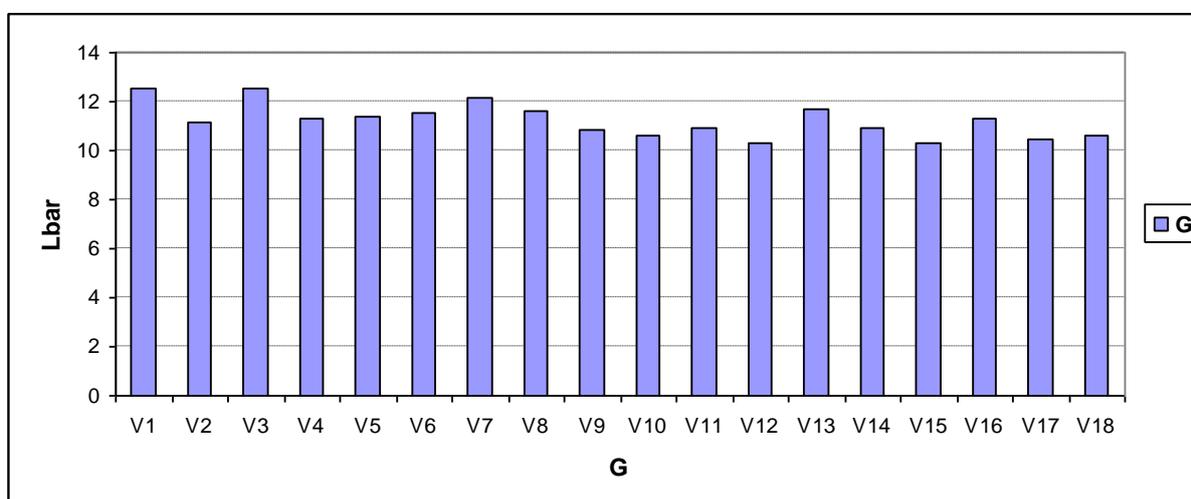


Figure 41: la longueur des barbes

8.2. Les paramètres technologiques

8.2. 1. Indice de brun

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur l'indice de brun (Annexe A, Tableau 19). Les faibles indices de brun ont été enregistrés chez la variété V9 (ACSAD1107 TEMOIN) et V14 avec respectivement les valeurs suivantes : 7.70 et 7.96., alors que la valeur la plus élevée a été enregistrée chez la variété V1 (TR32225/GEDIZ//OFANTO) avec 9.79. Les autres variétés présentent des valeurs variant entre 9.57 et 8.39 (Figure 44).

L'analyse statistique a révélé un effet significatif du facteur environnement sur l'indice de brun (Annexe A, Tableau 19). L'indice de brun le plus élevé a été enregistré dans la station Oued Smar avec 8.99 appartenant au groupe homogène A, tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée dans la station d'El Khroub avec 8.90 appartenant au groupe homogène B. Ces résultats montrent un indice de brun légèrement supérieur au niveau de la station d'Oued Smar par rapport à celui enregistré dans la station d' El Khroub (Figure 45).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif de l'interaction génotype x environnement sur l'indice de brun (Annexe A, Tableau 19). Dans la station d'Oued Smar, les variétés ; V9 et V14 présentent les indices de brun les plus faibles avec respectivement les valeurs suivantes : 7.94 et 7.92. Tandis que, dans la station d'El Khroub, les variétés ; V9 et V14 présentent aussi les valeurs les plus faibles parmi les 18 variétés cultivées dans cette région, et présentent respectivement les moyennes suivantes : 7.47 et 8.01 (Annexe c, Tableau 10) (Figure 46).

HOULIAROPOULOS [169] a montré que l'indice de brun est beaucoup plus influencé par des facteurs agroclimatiques et le taux d'extraction.

D'après l'échelle de classement des semoules, l'indice de brun élevé est > 21 , moyen : 18-21 et faible < 18 . On peut considérer que toutes nos variétés montrent un indice de brun faible. Donc, elles sont toutes intéressantes pour ce paramètre.

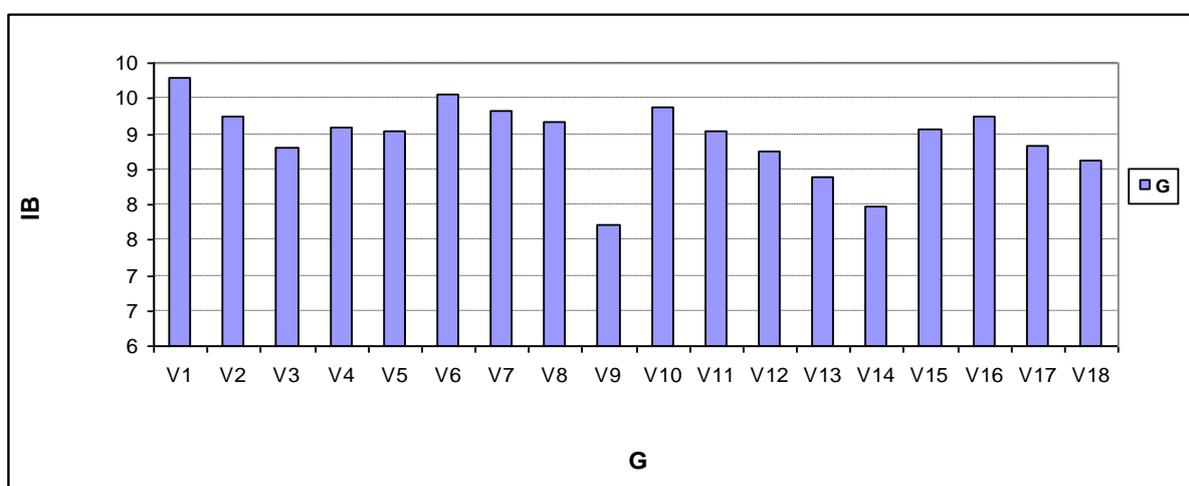


Figure 42: Indice de brun (facteur génotype)

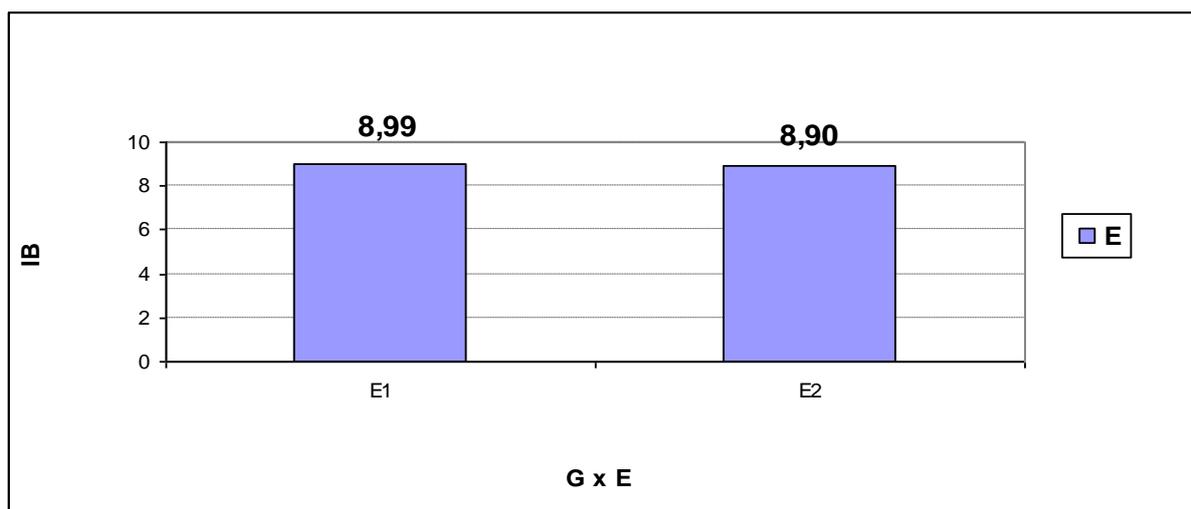


Figure 43: Indice de brun (facteur environnement)

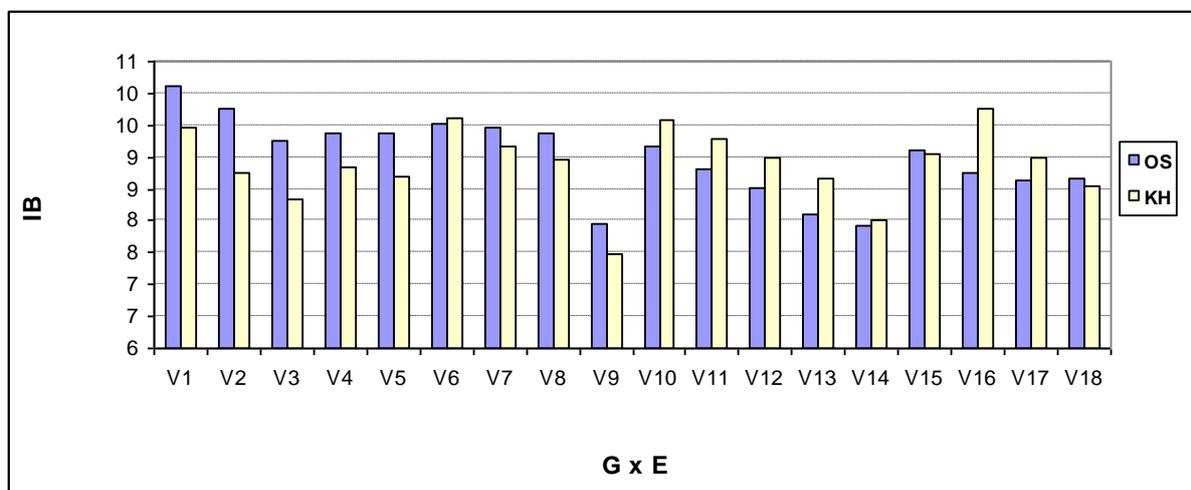


Figure 44: Indice de brun (facteur interaction)

8.2. 2. Indice de jaune

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur l'indice de jaune (Annexe A, Tableau 20). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 9 groupes homogènes (Annexe B, Tableau 20). Les meilleures valeurs sont enregistrées chez les variétés ; V15, V10, V8 et V14 avec respectivement 23.79, 23.56, 22.56 et 22.46. Les autres variétés présentent des moyennes inférieures à 22 (Figure 46) et (Annexe B, Tableau 20).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur l'indice de jaune (Annexe A, Tableau 20). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes, A et B. La

valeur élevée a été enregistrée avec une moyenne de 21.31 appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à El Khroub, alors que la valeur faible a été enregistrée avec une moyenne de 20.19 appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar (Figure 47).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif de l'interaction génotype x environnement sur l'indice de jaune (Annexe A, Tableau 20). Le test de NEWMAN et KEULS de la PPAS a révélé l'existence de 17 groupes dont six homogènes (Annexe C, Tableau 11).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés V15, V10, V17 et V14 présentent les meilleures valeurs et qui sont respectivement : 23.27, 22.84, 22.45 et 22.10. Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés ; V15, V10, V8, V14, V6 et V16 présentent les meilleures valeurs et elles sont respectivement comme suit : 24.31, 24.29, 23.23, 22.81, 22.76 et 22.04. Les autres variétés présentent des valeurs inférieures à 22.00 (Figure 48).

La couleur des pâtes alimentaires résulte de la superposition d'une composante jaune, recherchée, et d'une composante brune, indésirable [111].

Il est bien connu que la couleur jaune brune de la semoule est due à la présence dans le blé de pigments de la famille des caroténoïdes et de xanthophylles. A mesure que les pigments augmentent, la couleur jaune détectée à l'œil nu devient plus lumineuse et plus vive. Au même temps, il est également connu que les semoules avec un contenu élevé de colorants ne produisent pas toujours des pâtes très jaunes. C'est parce que les caroténoïdes et les xanthophylles ont des composants qui sont affectés par plusieurs enzymes d'oxydation. De ceci, on conclue qu'il est important d'avoir des blés durs avec de faible teneur en enzymes exerçant cet effet négatif [123]. Une teneur élevée en pigments caroténoïdes associée à de faibles activités lipoxygénasiques est recherchée pour fabriquer des pâtes possédant une belle couleur jaune ambrée [170].

Une régression linéaire entre les teneurs en protéines et les indices de clarté a permis de mettre en évidence l'importante implication des protéines dans le caractère clarté [120].

Les travaux réalisés à la fin des années 60 ont montré que le brunissement des pâtes était une caractéristique variétale des blés durs mis en oeuvre (Matsuo *et Irvine*, 1967) *in* Feillet *et al* [111]. Selon Kobrehel *et al* [171], la principale source de variation de l'indice de brun des variétés de blé dur est l'activité peroxydasique des semoules.

Les conditions de développement des blés durs sont néanmoins un facteur très important de l'expression de ce caractère [111]. Selon Matsuo *et al.* (1982) *in* Feillet *et al* [111], l'analyse de 30 variétés cultivées pendant 2 années et dans 2 lieux montre que les contributions de la variété, de l'année et du lieu de culture à la variance du brunissement des pâtes sont respectivement égaux à environ 15,7%, 0,9% et 68%.

L'efficacité de la sélection de nouvelles variétés de blé dur pour le caractère "indice de jaune élevé" des pâtes alimentaires s'explique par l'excellente héritabilité de cet indice et par la possibilité d'utiliser des méthodes chimiques d'analyse peu coûteuses et se prêtant à des déterminations en série (dosage de la teneur en pigments caroténoïdes, détermination de l'activité lipoxygénasique). Il en est différemment du caractère "indice de brun". Dans ce cas, on se trouve en effet dans la situation la plus défavorable : faible héritabilité du caractère, mise en oeuvre de méthodes lourdes d'analyse reposant sur la fabrication de semoules puis de disques de pâtes [111].

Nos résultats montrent que les variétés conduites dans la station d'El Khroub ont un indice de jaune élevé et un indice de brun faible par rapport à ceux enregistrés chez les variétés conduites dans la station d'Oued Smar. De ce fait, les variétés de la station d'El Khroub sont intéressantes pour ces deux paramètres (indice de brun et indice de jaune) par rapport aux variétés d'Oued Smar.

La V10 et la V15 sont considérées les meilleurs pour le paramètre indice de jaune dans les deux stations. Quant au paramètre indice de brun, les deux variétés V9 et V14 présentent les meilleures valeurs.

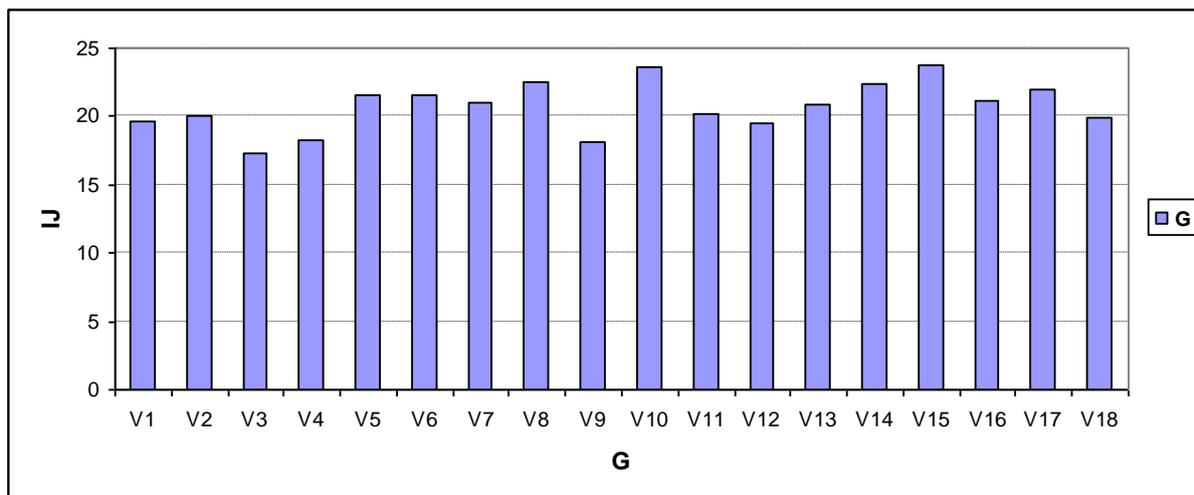


Figure 45: Indice de jaune (facteur génotype)

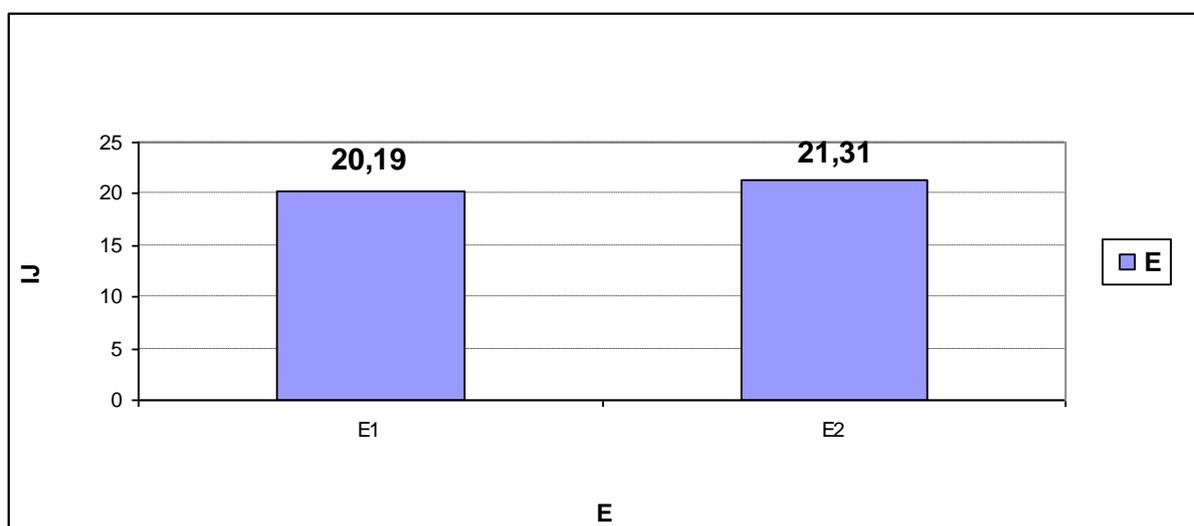


Figure 46: Indice de jaune (facteur environnement)

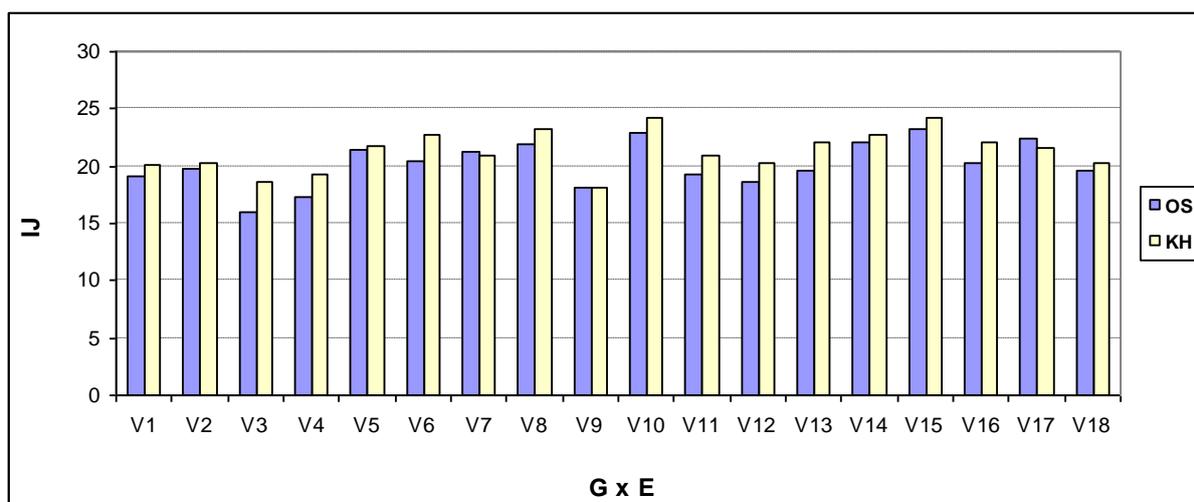


Figure 47: Indice de jaune (facteur interaction)

8.2. 3. Gluten humide

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur la teneur en gluten humide (Annexe A, Tableau 21). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 8 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 21). Les variétés V10, V14, V15, V16, V18, V12 et V13 présentent les meilleures teneurs en gluten humide. Leurs valeurs sont respectivement comme suit : 42.23, 41.63, 40.92, 40.35, 40.31, 40.24 et 39.03. Les autres variétés présentent des valeurs comprises entre 31.45 et 38.67 % (Annexe B, Tableau 21) (Figure 49).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur la teneur en gluten humide (Annexe A, Tableau 21). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes, A et B (Figure 50).

La meilleure valeur a été enregistrée avec une moyenne de 41.04 % appartenant au groupe A composé des 18 variétés cultivées à El Khroub, alors que la faible valeur a été enregistrée avec une moyenne de 34.47 % appartenant au groupe B composé des 18 variétés cultivées à Oued Smar.

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en gluten humide (Annexe A, Tableau 21). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 13 groupes chevauchants (Figure 51) et (Annexe C, Tableau 12).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés ; V1, V10, V14, V15 et V18 présentent les meilleures teneurs en gluten humide. Leurs valeurs sont respectivement comme suit : 37.24, 39.26, 38.78, 38.35 et 40.64 %. Les autres variétés présentent des teneurs en gluten humide variant entre 25.41 et 36.37 %.

Par contre, dans la station d'El Khroub, l'ensemble des variétés présente des teneurs en gluten humide supérieures à 40 %, sauf pour les variétés V3, V5, V7, V8, V9 et V18 qui présentent des valeurs inférieures à 40%.

En général, les variétés conduites à El Khroub montrent des valeurs élevées par rapport aux variétés conduites à Oued Smar.

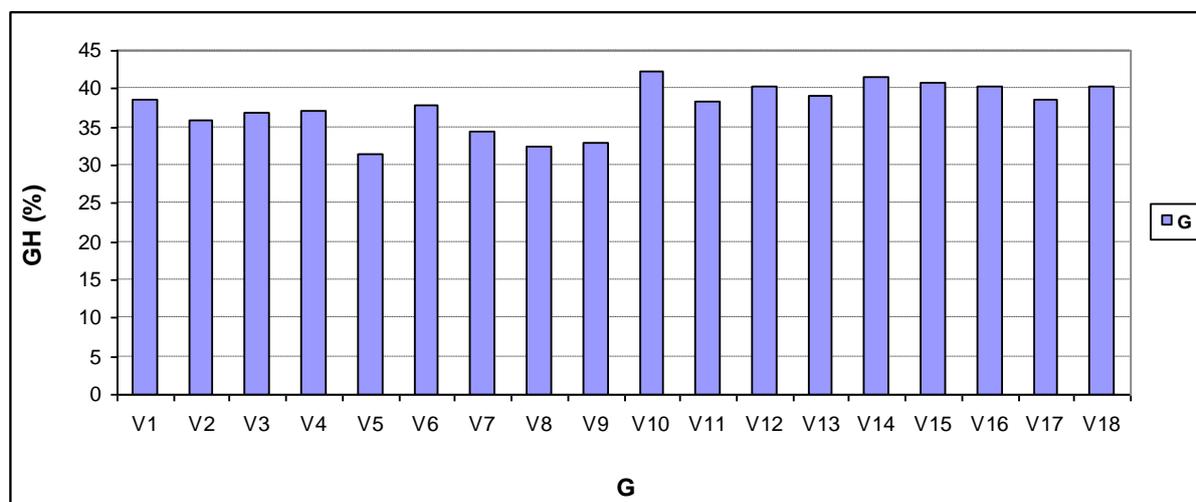


Figure 48: Gluten humide (facteur génotype)

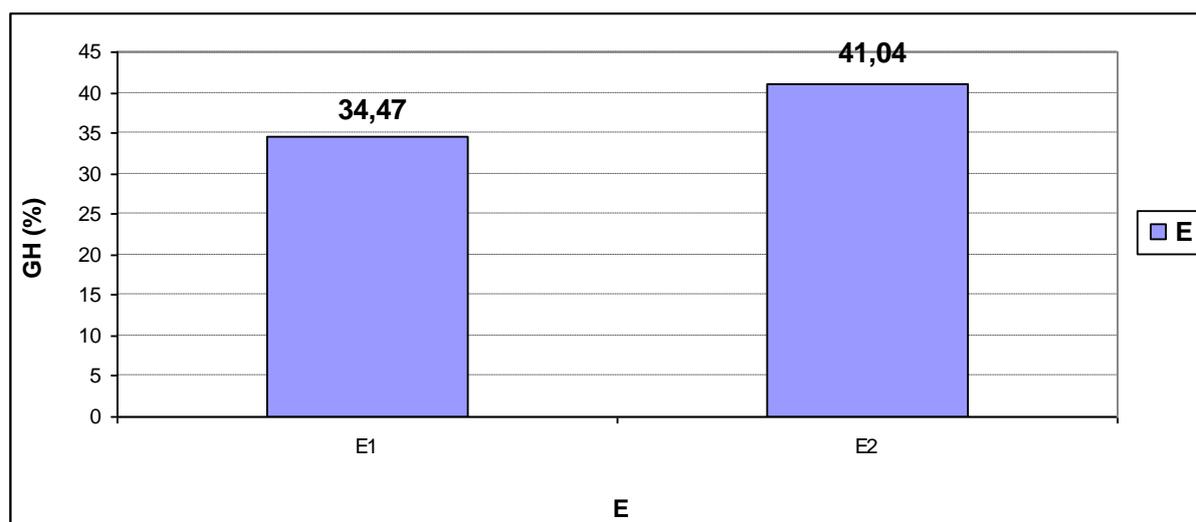


Figure 49: Gluten humide (facteur génotype)

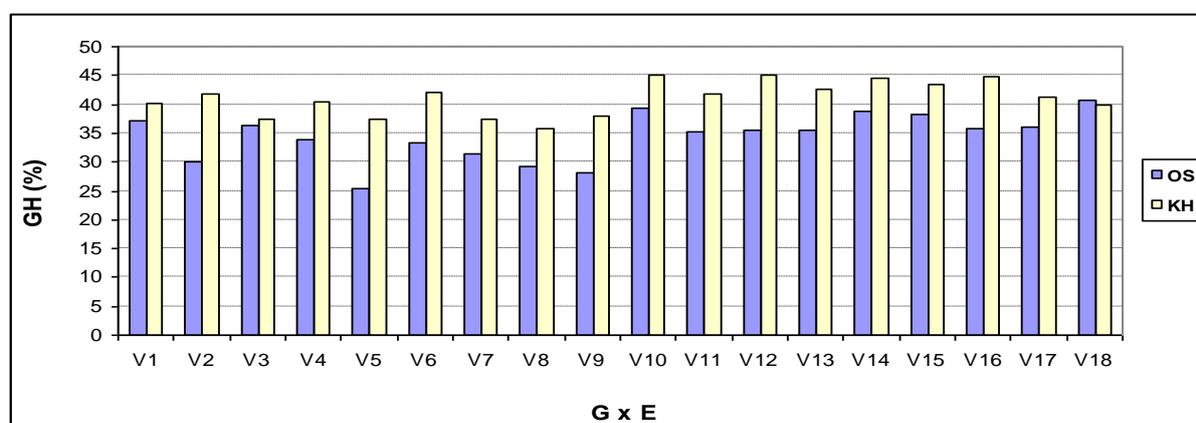


Figure 50: Gluten humide (facteur interaction)

8.2. 4. Gluten sec

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur génotype sur la teneur en gluten sec (Annexe A, Tableau 22). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 6 groupes chevauchants (Annexe B, Tableau 22). La valeur la plus élevée a été enregistrée chez la variété V10 (TILO-1.LOTUS-4) et la V14 avec respectivement les teneurs suivantes : 13.56 et 12.97 %, alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées chez la variété V9 (ACSAD1107 TEMOIN) et V10 TILO-1.LOTUS-4 avec respectivement les valeurs suivantes : 9.77et 10.15 %. Toutes les variétés présentent un taux de gluten sec variant entre 10.51 et 12.71 % (Figure 52) et (Annexe B, Tableau 22).

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif du facteur environnement sur la teneur en gluten sec (Annexe A, Tableau 22). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de deux groupes homogènes A et B. La meilleure teneur en gluten sec a été enregistrée avec une moyenne de 12.73 appartenant au groupe A composé des variétés cultivées à El Khroub, alors que la faible teneur en gluten sec a été enregistrée avec une moyenne de 10.82 appartenant au groupe B composé des variétés cultivées à Oued Smar (Figure 53). L'analyse a révélé un effet très hautement significatif de l'interaction génotype x environnement sur la teneur en gluten sec (Annexe A, Tableau 22). Le test de la PPAS de NEWMAN et KEULS a révélé l'existence de 11 groupes chevauchants (Annexe C, Tableau 13).

Dans la station d'Oued Smar, les variétés ; V10, V3, et V18 présentent les taux de gluten sec les plus élevés avec respectivement les valeurs suivantes : 13.47, 12.79 et 12.12 %. Toutes les autres variétés présentent des taux de gluten sec inférieurs à 12 %. Par contre, dans la station d'El Khroub, l'ensemble des variétés montre des taux de gluten sec supérieurs à 12 %, sauf les variétés ; V3, V5, V7, V8 et V9 qui présentent des taux inférieurs à 12 % (Figure 54) et (Annexe C, Tableau 13).

Chaque variété se caractérise par la qualité du gluten [123]. Sa composition est le principal facteur déterminant de la qualité d'utilisation du blé dur [172]. De ce fait, il

est le constituant le plus explicatif des différences d'aptitudes technologiques attribuées à la variété [127].

Les propriétés rhéologiques des pâtes dépendent de leur teneur en protéines et de la viscoélasticité du gluten : plus celles-ci sont élevées, plus les pâtes sont fermes [170].

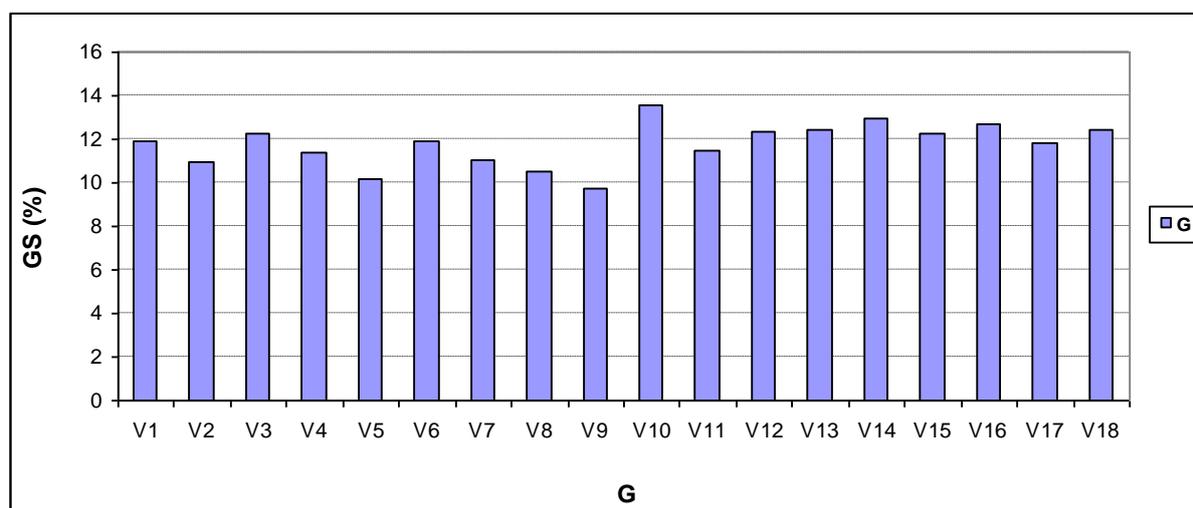


Figure 51: Gluten sec (facteur génotype)

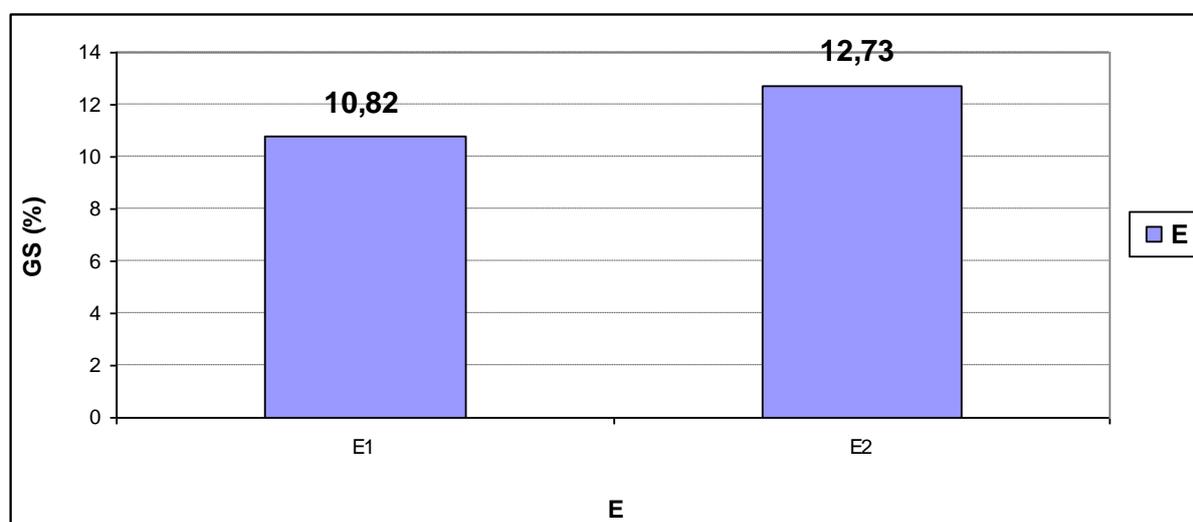


Figure 52: Gluten sec (facteur environnement)

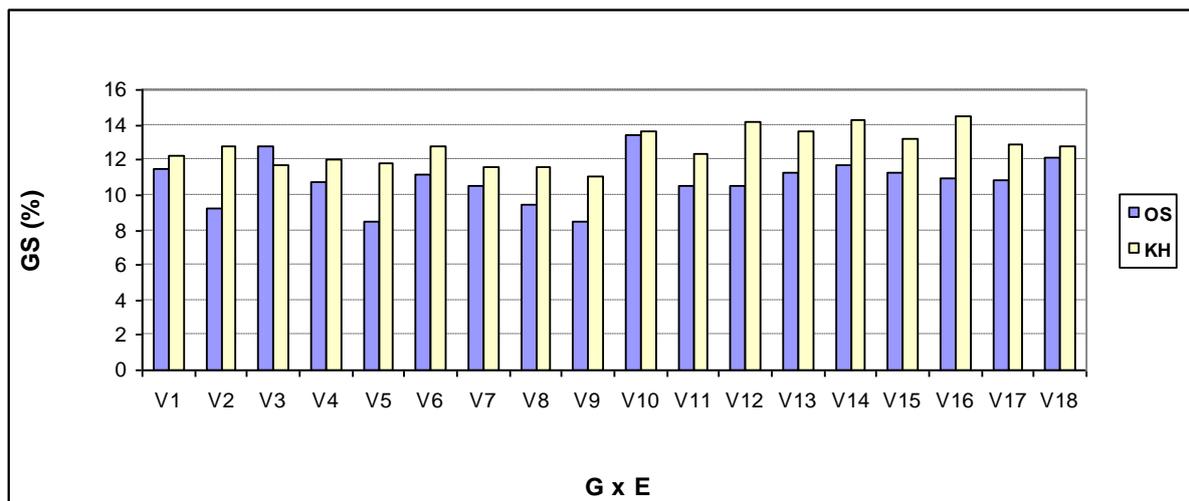


Figure 53: Gluten sec (facteur interaction)

8.2. 5. Taux d'extraction

Le taux d'extraction est très différent d'une variété à une autre. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez les variétés ; V17, V14, V18 et V11 avec respectivement les taux d'extraction suivants : 57.90, 54.16, 53.18 et 52.08%, alors que la valeur la plus faible a été enregistrée chez la variété V4 BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-2S-OS) avec 44.53%. Les autres variétés montrent des taux d'extraction variant entre 45.21 et 50.17% (Figure 55).

Les milieux présentent aussi des variations pour ce paramètre. Sachant que le milieu d'Oued Smar a présenté un taux d'extraction le plus élevé avec 53.64 %, alors que le milieu d'El Khroub a présenté un taux d'extraction de 44.95%.

Par milieu, les variétés d'Oued Smar présentant les taux d'extraction les plus élevés sont ; V17, V18, V14, V13, V9 et V11 avec respectivement les valeurs suivantes : 68.22, 56.28, 58.26, 57.00, 55.10 et 55.02 %. Par contre, dans la station d'El Khroub, les variétés ; V18, V14, V10, V11, V6 et V17 montrent les taux d'extraction les plus élevés avec respectivement les valeurs suivantes : 50.07, 50.06, 49.20, 49.14, 47.58 et 48.41%. Les variétés citées peuvent être sélectionnées pour ce paramètre (Figure 56).

Toutes les variétés d'Oued Smar ont présenté des taux d'extraction plus élevés par rapport à ceux enregistrés chez les variétés d'El Khroub. Cependant, la variété V17 LABDY-37/BUSCA-3 dans la station d'Oued Smar a montré le taux d'extraction le plus élevé avec 68.22%, alors que la V4 BOUSSELLAM/OFANTO (6S-1S-8S-2S-OS) dans la station d'El Khroub a montré le taux d'extraction le plus faible avec 38.70%. Les autres variétés présentent des taux d'extraction moyens variant entre 40.07 % et 57.00% (Figure 57) et (Annexe D, Tableau 2).

En général, les grains mitadinés donnent moins de semoule grossière et plus de farine, ce qui réduit l'aptitude à la mouture du blé dur [122][171][116][173]. Les grains entièrement mitadinés sont beaucoup plus mous et réduisent le rendement en semoule grossière [122]. Dexter *et al* [174] ont observé une forte relation entre le rendement en semoule et le poids spécifique du blé dur récolté deux années consécutives.

Bolling *et* Zwingelberg (1972) *in* Dexter *et* Edwards [122] ont observé que le rendement en semoule du blé dur est davantage relié à l'origine du blé qu'à sa vitrosité.

Le génotype apporte une contribution significative à la qualité meunière, mais s'il y a des stress, l'influence environnementale serait plus grande [103]. Les dommages provoqués par la gelée constituent un grave facteur de classement, donnant un taux d'extraction inférieur des semoules, un raffinage piètre des semoules [122]. La fusariose peut également avoir de graves conséquences pour la mouture et la transformation du blé [175].

Un faible poids de mille grains consécutif à l'échaudage aura des conséquences désastreuses sur le rendement semoulier [170].

Deux principaux objectifs de la mouture du blé dur : (i) avoir un rendement élevé en semoule ; (ii) répondre aux besoins et aux exigences des clients. En conséquence, un blé dur idéal doit avoir les bonnes qualités technologiques et un rendement adéquat en semoule [113]. Par conséquent, les variétés d'Oued Smar sont les meilleures du point de vue taux d'extraction par rapport à celles d'El Khroub.

La V17 dans la station d'Oued Smar peut à son tour être sélectionnée pour ce paramètre du fait qu'elle présente le taux d'extraction le plus élevé parmi les autres variétés menées dans les deux sites d'étude.

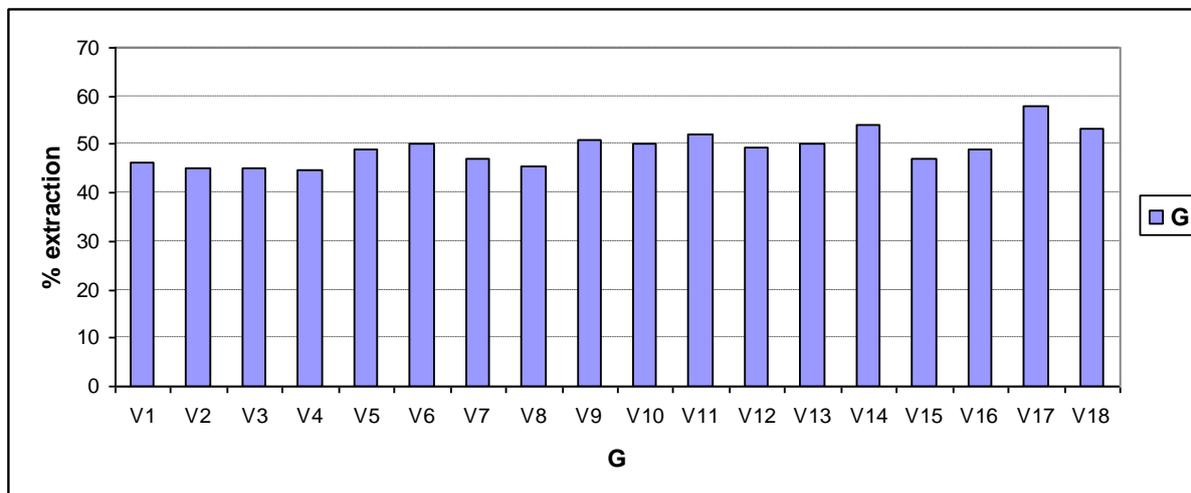


Figure 54: Taux d'extraction (facteur génotype)

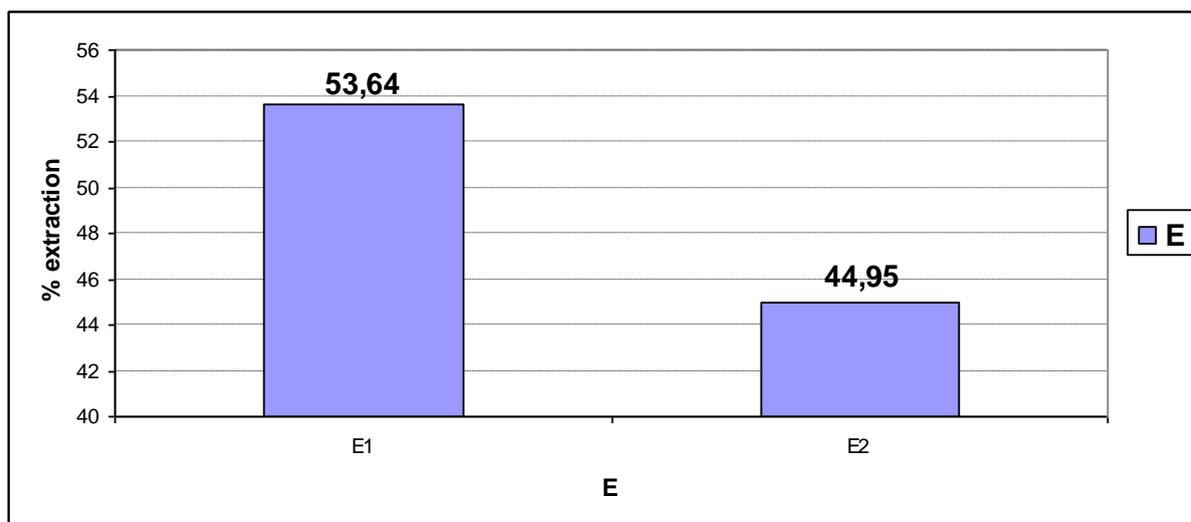


Figure 55: Taux d'extraction (facteur environnement)

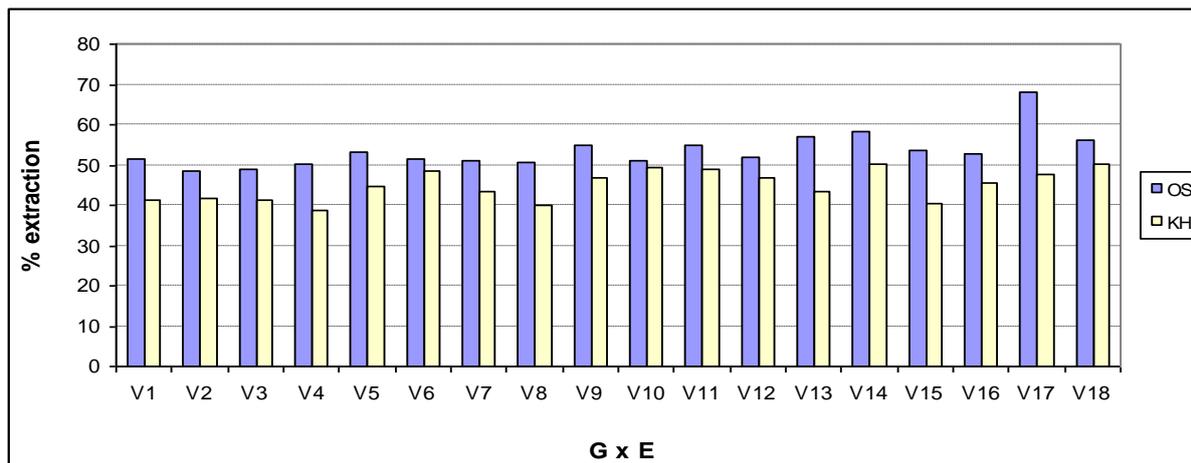


Figure 56: Taux d'extraction (facteur interaction)

8.2. 6. Mitadinage

Les variétés présentent des taux de mitadinage variables d'une variété à une autre. Sachant que les variétés V9 ACSAD1107 TEMOIN et V5 OFANTO/WAHA/WAHA présentent les taux de mitadinage les plus élevés avec respectivement les valeurs suivantes : 13.33 % et 11.33%. les autres variétés montrent des taux de mitadinage ne dépassant pas les 5.13 % (Figure 58).

Concernant le milieu de culture, la station d'Oued Smar montre le taux de mitadinage le plus élevé avec 7.43 % par rapport à celui enregistré dans la station d'El Khroub 0.90% (Figure 59).

L'étude séparée de chaque station montre que les variétés d'Oued Smar présentent des taux de mitadinage les plus élevés par rapport à celles cultivées dans la station d'El Khroub.

Les variétés d'Oued Smar présentant les taux de mitadinage les plus élevés sont V9 ACSAD1107 TEMOIN suivi de V5 OFANTO/WAHA/WAHA avec les valeurs suivantes : 23.75 % et 22.33 %. Tandis que la V1, elle montre le taux de mitadinage le plus faible avec 0.42 %. Par contre, dans la station d'El Khroub, l'ensemble des variétés présentent des taux d'extraction faibles ne dépassant pas les 3% (figure 60) et (Annexe D, Tableau 2).

Les variétés présentant les plus faibles taux de mitadinage sont intéressantes pour la sélection car le faible taux de mitadinage augmente le taux d'extraction de semoule.

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent sur les grains de blé dur. Il provoque un changement de texture de l'albumen qui normalement translucide et vitreuse devient, en partie ou en totalité, opaque et farineuse [116]. Le taux de mitadinage rend compte des proportions d'amandes farineuses et vitreuses [170]. Dans la pratique, l'expression « grains mitadinés » désigne aussi bien le grain totalement farineux que celui présentant une simple trace du dommage [116].

Il est classiquement relié à la quantité et à la nature des protéines accumulées dans le grain [121][170]. Le taux de mitadinage en C (>40%) aurait entraîné un déclassement de la récolte [176] [116]. Sur le plan biochimique, les lots de blé les moins mitadinés (<20 %) ont plus de gliadines que de gluténines [117].

Les grains mitadinés (grains amyliacés, ou amidonnés) constituent un des principaux facteurs de classement commercial du blé dur. Ces grains se forment lorsque la plante souffre d'une carence en nitrates pendant le développement du grain [122]. Un apport tardif d'azote à la floraison permet d'améliorer la teneur en protéines et de diminuer de façon significative le mitadinage et qu'un fractionnement en 4 apports est encore plus performant [117].

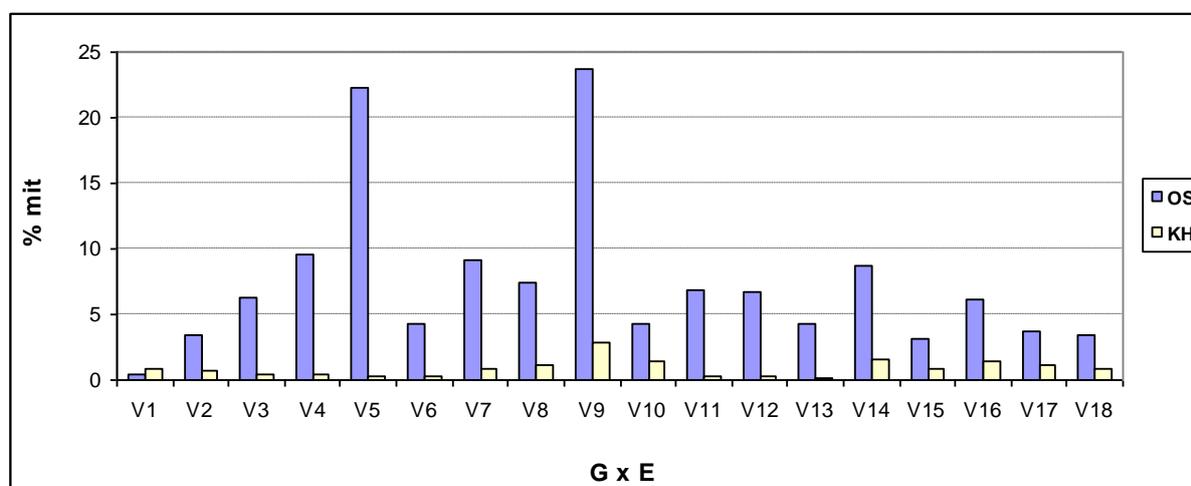


Figure 57: Mitadinage (facteur interaction)

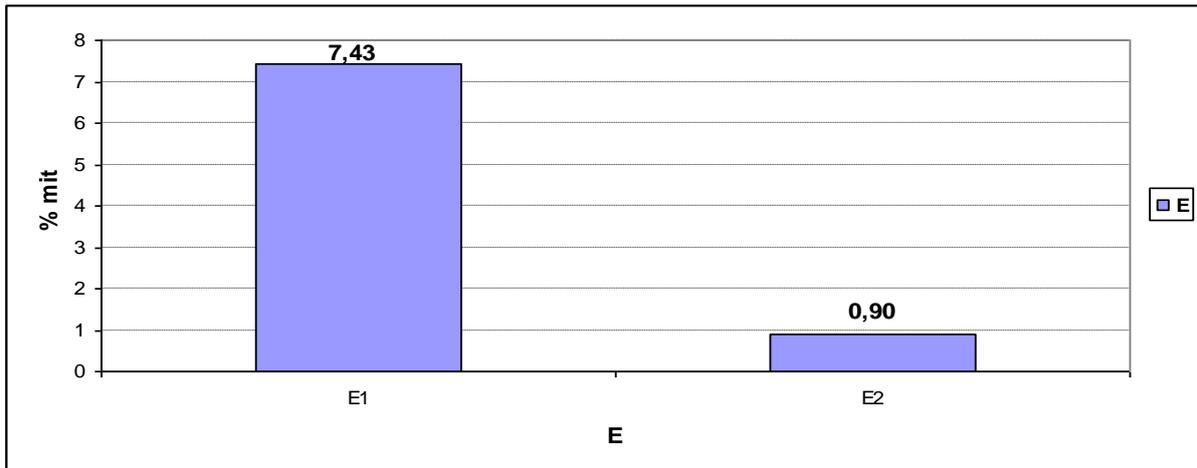


Figure 58: Mitadinage (facteur environnement)

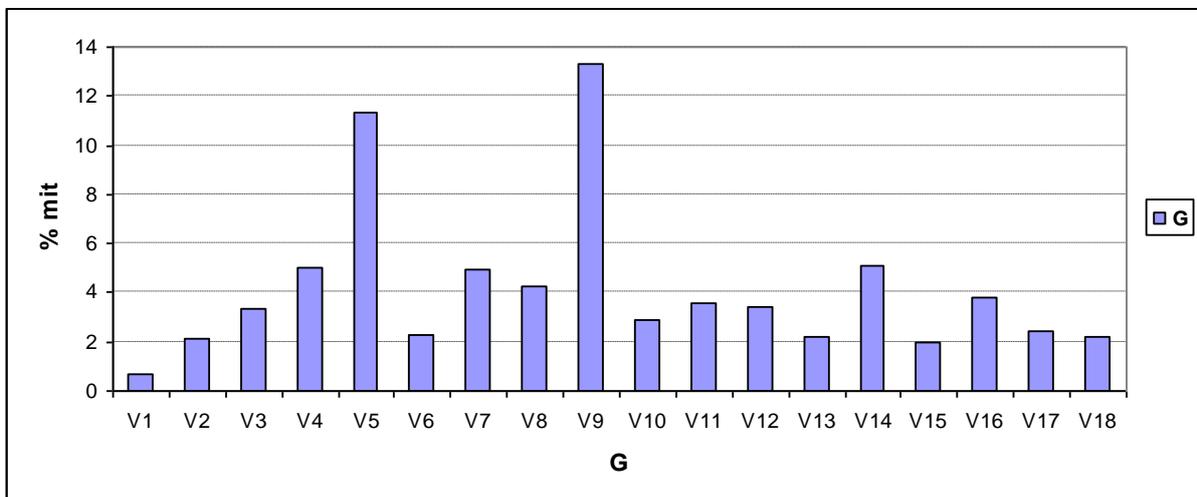


Figure 59: Mitadinage (facteur génotype)

8.3. Etude des corrélations

8.3.1. Les caractères agronomiques

Tableau 13 : les corrélations pour les paramètres agronomiques

	NP	NTAL	NEP	TR	EPIA	HT	LCOL	LDEN	LEP	LBAR	NTEP	NEPS	NEPF	NGR	PMG	RDTR	RDTE	ECH
NP	1																	
NTAL	0,288	1																
NEP	-0,026	0,188	1															
TR	0,251	0,583	-0,675	1														
EPIA	-0,538	-0,036	0,374	-0,313	1													
HT	0,050	-0,023	-0,384	0,303	-0,333	1												
LCOL	0,460	0,093	-0,028	0,054	-0,814	0,403	1											
LDEN	-0,506	-0,040	0,419	-0,355	0,958	-0,169	-0,672	1										
LEP	0,293	-0,051	-0,628	0,468	-0,625	0,236	0,218	-0,696	1									
LBAR	0,177	-0,108	-0,432	0,249	-0,801	0,405	0,650	-0,745	0,543	1								
NTEP	0,076	0,046	-0,677	0,592	-0,270	0,436	-0,115	-0,330	0,743	0,292	1							
NEPS	-0,395	-0,048	-0,118	0,070	0,535	0,243	-0,435	0,582	-0,275	-0,255	0,183	1						
NEPF	0,138	0,055	-0,692	0,614	-0,381	0,362	-0,045	-0,456	0,779	0,376	0,947	-0,012	1					
NGR	0,574	0,050	-0,227	0,216	-0,892	0,138	0,710	-0,877	0,495	0,564	0,147	-0,659	0,265	1				
PMG	0,208	-0,169	-0,535	0,279	-0,809	0,550	0,688	-0,739	0,614	0,877	0,377	-0,123	0,394	0,533	1			
RDTR	-0,146	-0,228	0,634	-0,692	0,367	-0,350	-0,094	0,419	-0,521	-0,149	-0,695	-0,049	-0,706	-0,355	-0,267	1		
RDTE	0,464	-0,020	-0,119	0,060	-0,930	0,232	0,873	-0,867	0,456	0,727	0,045	-0,571	0,137	0,898	0,738	-0,147	1	
ECH	0,084	0,207	0,606	-0,294	0,391	-0,269	-0,291	0,376	-0,476	-0,573	-0,337	-0,236	-0,284	-0,101	-0,737	0,246	-0,302	1

8.3.1.1. Caractères liés au rendement en grain

Le rendement en grain réel est corrélé positivement au nombre d'épis par mètre carré ($r=0.634$), à l'épiaison ($r=0.367$) et à la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.419$). Par contre, il est corrélé négativement au taux de régression ($r=0.692$), à la hauteur de la tige ($r=0.350$), à la longueur de l'épi ($r=0.521$), au nombre total d'épillets ($r=0.695$), au nombre d'épillets fertiles ($r=0.706$) et au nombre de grains par épi ($r=0.355$).

Le rendement estimé est corrélé positivement avec le nombre de plants par mètre carré ($r=0.446$), à la longueur du col ($r=0.873$), à la longueur de l'épi ($r=0.456$), la longueur des barbes ($r=0.727$), le nombre de grains par épi ($r=0.898$) et au poids de mille grains ($r=0.738$). Par contre, il est négativement corrélé à l'épiaison ($r=0.930$), la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.867$) et le nombre d'épillets stériles ($r=0.571$).

Parmi les composantes du rendement en grain, le poids des grains est le plus corrélé avec le rendement en grain [177]. Nos résultats montrent que le PMG est corrélé juste avec le rendement estimé, contrairement au rendement réel qui ne montre aucune relation avec le PMG.

Le rendement en grain n'a pas été corrélé significativement avec le nombre de grains sous deux types de régimes hydriques [78]. Par contre, Assem *et al* [153] indiquent que le rendement est corrélé de manière significative aux nombres de grains par épi. Dakheel *et al* [155] ont démontré que sous des environnements stressés modérément (300-350 mm de précipitations), un rendement en grain élevé de blé dur est corrélé avec un nombre de grains élevé par unité de surface et un taux de remplissage de grain élevé. De ce fait, nos résultats montrent une corrélation positive du nombre de grains par épi avec le rendement estimé et une corrélation négative avec le rendement réel.

La réponse corrélative à la sélection sur la base des épis est positive et significative pour le rendement en grain [178][151][153] et négative pour la hauteur des plantes [178]. Ces résultats corroborent avec nos données en ce qui concerne le nombre d'épis et la hauteur de la tige.

Le rendement en grain par épi et le rendement en grain par unité de surface sont corrélés sous les conditions d'irrigation normale et les conditions de sécheresse au champ [78].

Selon Dekkaki *et al* [163], le rendement grain est étroitement lié au nombre de jour à l'épiaison. Nos résultats montrent que le rendement réel est corrélé positivement avec l'épiaison, contrairement au rendement estimé qui présente une corrélation négative avec l'épiaison. Selon Gate [56], un rendement élevé est associé à une date de semis précoce donc à une variété précoce. Ceci est vérifié pour le rendement estimé qui est nettement amélioré pour les variétés précoces.

8.3.1.2. Les caractères liés aux composantes de rendement en grain

Le nombre de grains par épi est corrélé positivement au nombre de plantes par mètre carré ($r=0.574$), à la longueur du col ($r=0.0.710$), à la longueur de l'épi ($r=0.495$) et à la longueur des barbes ($r=0.564$) et au poids de mille grains ($r=0,533$). Par contre, il est négativement corrélé à l'épiaison ($r=0.809$), à la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.877$) et au nombre d'épillets stériles ($r=0.659$).

Selon Bouzerzour *et al* [139], l'augmentation du nombre de grains pourrait être due à l'effet positif de la sécheresse par la réduction du nombre d'épis/m².

Le poids de mille grains est corrélé positivement avec la hauteur de la tige ($r=0.550$), la longueur du col ($r=0.688$), la longueur de l'épi ($r=0.614$), la longueur des barbes ($r=0.877$), le nombre total d'épillets ($r=0.377$), le nombre d'épillets fertiles ($r=0.394$) et le nombre de grains par épi ($r=0.533$). Par contre, il est négativement

corrélé au nombre d'épis par mètre carré ($r=0.535$), à l'épiaison ($r=0.809$) et à la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.739$).

L'avortement des grains sous les conditions de sécheresse est à l'origine de la réduction du poids des grains [157]. Ceci est confirmé par nos résultats qui montrent que le poids de mille grains est négativement corrélé avec l'échaudage.

Le nombre total d'épillets fertiles est corrélé positivement à la hauteur de la tige ($r=0,362$), à la longueur de l'épi ($r=0,779$), à la longueur des barbes ($r=0,376$), au nombre total d'épillets ($r=0,947$) et au poids de mille grains ($r=0,394$). Par contre, il est négativement corrélé au nombre d'épis ($r=-0,692$), à l'épiaison ($r=-0,381$), à la longueur du dernier entre-nœud ($r=-0,456$) et au rendement estimé ($r=-0,706$).

Huet [135] indique qu'une date de semis précoce augmente le taux de fertilité des épis. Ceci correspond à nos résultats où le nombre d'épillets fertiles élevé est enregistré chez les variétés les plus précoces.

8.3.1.3. Les caractères liés à la hauteur de la tige, la longueur du col, la longueur de l'épi et la longueur du dernier entre-nœud :

La hauteur de la tige est corrélée positivement avec la longueur du col ($r=0.403$), la longueur des barbes ($r=0.405$), le nombre total d'épillets ($r=0.436$) et le poids de mille grains ($r=0.550$). Par contre, elle est négativement corrélée avec le rendement réel ($r=-0.350$).

La longueur du col est corrélé positivement avec le nombre de plantes ($r=0.460$), la hauteur de la tige ($r=0.403$), la longueur des barbes ($r=0.650$), le nombre de grains ($r=0.710$), le poids de mille grains ($r=0.688$) et au rendement estimé ($r=0.873$). Par contre, elle est négativement corrélée avec la longueur du dernier entre-nœud ($r=-0.672$) et le nombre d'épillets stériles ($r=-0.435$).

La longueur de l'épi est positivement corrélée avec la longueur des barbes ($r=0.543$), le nombre total d'épillets ($r=0.743$), le nombre d'épillets fertiles ($r=0.779$), le nombre de grains ($r=0.495$), le poids de mille grains ($r=0.614$) et le rendement estimé ($r=0.456$). Par contre, elle est négativement corrélée avec le nombre d'épis ($r=0.628$), à l'épiaison ($r=0.625$), à la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.696$), le rendement réel ($r=0.521$) et à l'échaudage ($r=0.476$).

La longueur du dernier entre-nœud est corrélée positivement avec le nombre d'épis ($r=0.419$), l'épiaison ($r=0.58$), le nombre d'épillets stériles ($r=0.582$), le rendement réel ($r=0.419$) et l'échaudage ($r=0.376$). Par contre, elle est négativement corrélée avec la longueur du col ($r=0.672$), la longueur de l'épi ($r=0.696$), la longueur des barbes ($r=0.745$), le nombre total d'épillets ($r=0.330$), le nombre d'épillets fertiles ($r=0.456$), le nombre de grains ($r=0.877$), le poids de mille grains ($r=0.739$), et le rendement estimé ($r=0.867$).

8.3.2. Les paramètres technologiques

Tableau 14 : les corrélations pour les paramètres technologiques

	PMG	IB	IJ	GH	GS	TEXT	MIT	ECH
PMG	1							
IB	-0,066	1						
IJ	-0,592	-0,179	1					
GH	-0,631	0,039	0,357	1				
GS	-0,547	-0,052	0,341	0,940	1			
TEXT	0,528	0,168	-0,041	-0,348	-0,382	1		
MIT	0,475	0,142	-0,261	-0,752	-0,712	0,445	1	
ECH	-0,737	-0,153	0,663	0,444	0,409	-0,353	-0,309	1

8.3.2.1. Les indices de coloration

La matrice des corrélations montre que l'indice de brun n'est corrélé à aucun autre paramètre. Par contre, l'indice de jaune est corrélé positivement avec le gluten

humide ($r=0.357$), le gluten sec ($r=0.341$) et l'échaudage ($r=0.663$) alors qu'il est négativement corrélé avec le poids de mille grains ($r=-0.592$).

DEXTER et MATSUO [179] ont trouvé des corrélations négatives entre le taux d'extraction et la teneur en pigments caroténoïdes de la semoule. Par opposition à DJEMA [180] qui ont trouvé un effet très hautement significatif du taux d'extraction sur l'indice de brun et aucun effet sur l'indice de jaune. Nos résultats montrent qu'il n'y a pas de corrélations entre les indices de colorations et le taux d'extraction.

DEXTER et MATSUO [181] ont noté une corrélation positive entre le brunissement des pâtes et le taux d'extraction.

Les résultats de DJEMA [180] montrent que l'indice de jaune du couscous est hautement corrélé et négativement avec la teneur en gluten humide. Par opposition à nos résultats qui indiquent l'existence d'une corrélation positive entre l'indice de jaune et la teneur en gluten humide.

L'indice de jaune du couscous est aussi hautement corrélé et négativement à l'indice de brun DJEMA [180]. Contrairement à nos résultats qui ne montrent pas de corrélations entre les deux indices de coloration.

8.3.2.2. La teneur en gluten

Le gluten humide est corrélé positivement avec le gluten sec ($r=0.940$), l'échaudage ($r=0.444$) et l'indice de jaune ($r=0.357$). Par contre, il est négativement corrélé au poids de mille grains ($r=0.631$), à l'humidité des grains ($r=0.679$), au taux d'extraction ($r=0.348$) et au taux de mitadinage ($r=0.752$).

Le gluten sec est corrélé positivement à l'indice de jaune ($r=0.341$), le gluten humide ($r=0.940$) et l'échaudage ($r=0.409$). Par contre, il est négativement corrélé au poids de mille grains ($r=0.547$), l'humidité des grains ($r=0.623$), le taux d'extraction ($r=0.382$) et le mitadinage ($r=0.712$).

Selon OKANDZA [182], il y a une corrélation positive et hautement significative entre le gluten sec et le gluten humide. Ceci est confirmé par nos résultats avec une corrélation de + 0,940.

D'après DEXTER et MATSUO [179], le gluten humide n'est pas lié au taux d'extraction.

Les résultats de DJEMA [180] montrent que les teneurs en gluten sec évoluent non seulement en fonction du taux d'extraction mais aussi de la granulométrie de la semoule. Ses résultats montrent que les semoules fines présentent généralement des teneurs en gluten sec plus élevées que celles des semoules grosses et intermédiaires. Nos résultats confirment ceux de Djema [180], c'est-à-dire qu'on enregistre une corrélation négative entre le taux d'extraction et la teneur en gluten sec et humide de la semoule. Par opposition à Boukhemia [183] qui a trouvé une corrélation positive entre le gluten sec et le taux d'extraction.

Le taux d'extraction est corrélé positivement au poids de mille grains ($r=0.528$), à l'humidité des grains ($r= 0.746$) et au mitadinage ($r=0.445$). Par contre, il est négativement corrélé au gluten humide ($r=0.348$), au gluten sec ($r=0.382$) et à l'échaudage ($r=0.353$).

Un faible poids de mille grains consécutif à l'échaudage aura des conséquences désastreuses sur le rendement semoulier [111]. Sur le plan technologique, les blés durs mitadinés entraînent une baisse du rendement semoulier [116].

Nos résultats corroborent avec ceux de Feillet [111] et Godon et Loisel [116] qui indiquent qu'une augmentation du taux de mitadinage, un faible poids de mille grains et un taux d'échaudage élevé diminuent le taux d'extraction en semoule. Le mitadinage est corrélé positivement au poids de mille grains ($r=0.475$), à l'humidité des grains ($r=0.621$) et au taux d'extraction ($r=0.445$). Par contre, il est négativement corrélé au gluten humide ($r=0.752$) et au gluten sec ($r=0.712$).

8.4. Discussion générale

Notre travail a été réalisé dans le but de sélectionner les meilleurs génotypes en fonction de leurs caractéristiques agronomiques et technologiques. Cette étude a été menée dans deux sites différents à savoir le site d'Oued Smar à climat subhumide et le site d'El Khroub à climat semi-aride.

De ce fait, notre étude a montré l'effet de l'interaction génotype x environnement sur certains caractères morphologiques qui sont : le nombre de plantes/m², la hauteur de la tige, la longueur du col, la longueur du dernier entrenœud, la longueur de l'épi, le nombre total d'épillets, le nombre d'épillets stériles et fertiles par épi et l'échaudage. L'interaction génotype x environnement a montré son effet significatif sur l'ensemble des paramètres technologiques étudiés. Ces caractères se montrent très influencés par les conditions du milieu.

L'effet de l'interaction G x E n'a pas eu lieu pour les paramètres nombre de talles, nombre d'épis, taux de régression, épiaison, longueur des barbes, nombre de grains par épi, PMG, rendement réel et estimé.

8.4. 1. La sélection de certaines variétés en fonction des paramètres étudiés

Les variétés V10 et V15 paraissent très intéressantes dans les deux milieux du point de vue nombre d'épis/m², du fait qu'elles présentent des valeurs élevées dans les deux sites d'étude. On peut même recommander la V8 dans le milieu d'El Khroub, puisqu'elle montre un nombre élevé d'épis/m².

Toutes les variétés peuvent être considérées comme des variétés précoces, du fait qu'elles présentent des nombres de jours à l'épiaison similaires, à l'exception de la variété V6 qui peut être considérée comme la variété la plus tardive dans les deux sites, alors que la V3 et V8 peuvent être considérées respectivement dans la station d'Oued Smar et El Khroub comme les variétés les plus précoces.

La hauteur de la tige est très variable entre les variétés. Cependant la variété V6 possède la hauteur de la tige la plus élevée parmi les 18 variétés cultivées dans les deux milieux. Cette variété est très intéressante pour l'adaptation au stress hydrique du fait qu'elle peut transférer plus d'assimilats lors d'un déficit hydrique. Les

variétés conduites à Oued Smar possèdent des hauteurs de la tige plus élevées que celles enregistrées chez les variétés cultivées à El Khroub.

Le nombre d'épillets/épi enregistré chez les variétés cultivées à Oued Smar est supérieur à celui enregistré chez les variétés d'El Khroub. Cependant, la V6, la V5, et la V2 présentent les meilleures valeurs dans la station d'Oued Smar avec respectivement les valeurs suivantes : 24.78, 24.10 et 23.15 épillets/épi. Par contre, dans la station d'El Khroub la V6, la V13 la V4, et la V5 se distinguent pour ce paramètre avec respectivement les valeurs suivantes : 19.33, 19.28 19.20 et 19.15 épillets/épi.

Le poids de mille grains enregistré chez les variétés cultivées dans la station d'Oued Smar est très élevé par rapport à celui enregistré chez les variétés cultivées dans la station d'El Khroub. La V3 et la V7 montrent les PMG les plus élevés dans les deux stations avec respectivement les valeurs suivantes : 44.71 et 41.05 grammes dans la station d'Oued Smar et 33.00 grammes dans la station d'El Khroub pour les deux variétés.

Dans l'ensemble, le nombre de grains/épi enregistré chez les variétés d'Oued Smar est très élevé par rapport à celui enregistré chez les variétés d'El Khroub. Cependant, la V15, la V12, la V16 et la V11 se distinguent pour ce paramètre dans la station d'Oued Smar avec respectivement les valeurs suivantes : 72.82, 70.40, 67.78 et 67.30 grains/épi. Alors que, dans la station d'El Khroub, la V15 la V11 et la V16 montrent les meilleures valeurs pour ce paramètre avec respectivement les valeurs suivantes : 48.78, 46.55 et 46.25 grains/épi.

La moyenne des rendements enregistrés chez les variétés conduites dans la station d'El Khroub est supérieure par rapport à celle enregistrée chez les variétés cultivées à Oued Smar. Cependant, la V3 montre le rendement réel en grain le plus élevé dans les deux stations, avec les valeurs suivantes : 31.25 q/ha à Oued Smar et 28.83 q/ha.

En plus de la V3, la V7, V8, V10 et V14 présentent les rendements les plus élevés dans la station d'Oued Smar. Alors que dans la station d'El Khroub, la V1,

V10, V11, V15, V16 et V17 présentent les rendements réels en grain les plus élevés.

Le taux d'échaudage enregistré dans la station d'El Khroub est supérieur à celui enregistré dans la station d'Oued Smar. Cependant, les variétés V10 et V15 se montrent très sensibles à l'échaudage du fait qu'elles présentent les taux les plus élevés pour ce paramètre. Les autres variétés peuvent être considérées comme résistantes à cet accident.

Quant aux paramètres technologiques, les variétés conduites dans la station d'El Khroub se distinguent pour les indices de coloration et la teneur en gluten. Les variétés V9 et V14 se distinguent pour les indices de coloration (indice de jaune et indice de brun) et ceci dans les deux stations. La variété V3, V10 et V18 montrent les teneurs en gluten (sec et humide) les plus élevées dans la station d'Oued Smar. Alors que dans la station d'El Khroub, c'est la V10, V12, V14 et V16 qui montrent les valeurs les plus élevées. La station d'Oued Smar se distingue juste pour le taux d'extraction de la semoule.

Les variétés d'Oued Smar montrent des taux de mitadinage plus élevés que ceux enregistrés chez les variétés d'El Khroub. Les variétés V5 et V9 cultivées à Oued Smar sont les variétés les plus sensibles aux mitadinage.

8.4. 2. Etude des témoins

Les témoins utilisés sont des variétés connues et adaptées au climat algérien.

Elles sont :

V6 : MBB Témoin

V7 : BOUSSELLAM TEMOIN

V8 : WAHA TEMOIN

V9 : ACSAD1107 TEMOIN

V13 : GTA X DUR TEMOIN

V18 : CIRTA TEMOIN

La variété MBB se distingue pour un ensemble de caractères favorables parmi les autres variétés. Elle est considérée comme une variété tardive dans les deux milieux (Oued Smar et El Khroub). Elle montre encore la hauteur de la tige, la

longueur de derniers entre-noeuds les plus élevés dans les deux sites. Elle se distingue aussi pour le nombre total d'épillets/épi. Quant au rendement en grain, elle présente le rendement le plus faible parmi les autres variétés dans les deux stations. Cette variété ne se distingue pour aucun caractère technologique.

La variété BOUSSELLAM est une variété précoce. Elle se distingue par ses longues barbes. De plus, elle présente le rendement en grain le plus élevé parmi tous les témoins utilisés. Quant aux caractères technologiques, elle ne se distingue pour aucun paramètre donné.

La variété WAHA est une variété précoce. Elle montre un rendement élevé après la variété BOUSSELLAM. En ce qui concerne les caractères technologiques, elle ne se distingue pas parmi les 18 variétés cultivées dans les deux stations.

La variété ACSAD1107 se distingue par une grande production de talles herbacées, d'un faible taux de fertilité des talles herbacées. Sa tige est haute après la variété MBB. Quant aux caractères technologiques, elle montre un indice de brun le plus élevé et sa teneur faible en gluten sec dans les deux sites étudiés. Elle est très sensible au mitadinage, du fait qu'elle présente le taux de mitadinage le plus élevé parmi toutes les variétés, dans les deux stations étudiées.

Les variétés GTA X DUR et CIRTA sont des variétés précoces. Elles montrent une teneur en gluten humide et sec élevées.

8.4. 3. Rendement et l'interaction génotype x environnement

Le rendement en grain chez le blé est un caractère complexe et il est le produit des composantes du rendement tel que la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi et le poids du grain. Les interactions génotype x environnement sont induites par des réponses différentes des génotypes pour les facteurs environnementaux présents durant le développement des différentes composantes [177]. Selon Abdelhamid Mekhlouf *et al* [146], une part importante de la variation du rendement en grains s'explique par la variation environnementale.

La stratification des environnements indique que plus le potentiel du milieu est faible moins nette est la différence entre génotypes, d'où un gain génétique très faible voire négatif. Lorsque le potentiel du milieu est plus élevé, la présence de l'interaction $G \times E$ suggère une sélection pour l'adaptation spécifique aux environnements les plus fréquents. La performance est peu corrélée à la stabilité de rendement et à la tolérance aux stress [18].

L'irrégularité des rendements, en région semi-aride, est liée à l'intensité et à la nature aléatoire des stress abiotiques qui caractérisent ces environnements [155]. Pfeiffer *et al.* 1993 in Bouzerzour *et al.* [18] indiquent que l'association entre productivité et adaptation est plus difficile à réaliser dans les environnements variables, lorsque la sélection est faite sur la seule base du rendement grain.

Les génotypes stables peuvent être tolérants ou sensibles aux stress. Les génotypes tolérants ont tendance, donc, à être moins performants, cependant la moyenne marginale ne discrimine pas entre tolérance et sensibilité aux stress [18].

La sélection sur la seule base du rendement en grain n'assure pas la stabilité ni la tolérance aux stress, qui sont conditionnées, en partie, par le degré d'alternativité des nouvelles sélections qui divergent fortement pour cette caractéristique [18]. La classification des génotypes de blé pour le rendement en grain dans différents environnements est habituellement changée en raison de la présence des interactions génotype \times environnement. [177]. Si la réponse des génotypes à la variation des facteurs climatiques est prévisible, l'avènement de ces contraintes reste du domaine de l'imprévisible, de sorte que la sélection d'un génotype donné doit exprimer, certes, que ce génotype est potentiellement productif, mais aussi qu'il possède la capacité d'amortir les variations des environnements qu'il aura à subir, une fois adopté [18].

Lorsque l'interaction génotype \times environnement est significative, le sélectionneur ne peut utiliser les moyennes X_i . Pour choisir le meilleur génotype, parce qu'une interaction génotype \times environnement significative indique que chaque environnement a son classement spécifique des génotypes évalués [18].

Nos résultats indiquent que l'interaction génotype x environnement n'a pas d'influence sur le rendement en grain. Ceci est dû en partie aux conditions de chaque milieu qui sont sévères durant la campagne agricole, ceci n'a pas permis aux variétés d'extérioriser leurs aptitudes génétiques. Après le semis, on a enregistré une période de sécheresse dans les deux stations, ceci a entravé en partie la levée, ce qui a réduit d'une manière importante le nombre de plantes par mètre carré. Dans l'ensemble, on peut dire que tous les paramètres par la suite sont affectés d'une manière directe ou indirecte par cette sécheresse qui s'est étalée dans le temps.

CONCLUSION

Au terme de notre travail, nous avons pu mettre en relief l'influence des facteurs ; variétés, environnement et interaction génotype x environnement sur les caractères morphologiques et technologiques. Cette étude nous a permis aussi de sélectionner des variétés sur la base de certains caractères en relation étroite avec le rendement ou la qualité technologique ou éventuellement à la résistance au stress hydrique qui constitue un des principaux facteurs limitant la production céréalière.

En général, l'effet du facteur génotype est significatif sur l'ensemble des paramètres étudiés ; à savoir les caractères agronomiques et technologiques. De ce fait, le choix variétal s'impose pour le caractère d'intérêt recherché.

Le facteur environnement a à son tour un effet significatif sur l'ensemble des paramètres étudiés. Les caractères agronomiques sont nettement améliorés dans la région sub-humide (Oued Smar) ; à savoir le nombre de plantes/m², le nombre de tiges/m², le nombre d'épis/m², la hauteur de la tige, la longueur de l'épi, la longueur des barbes, le nombre d'épillets/épi, le nombre de grains/épi et le PMG. Contrairement aux caractères suivants : le nombre d'épis/m², la longueur des derniers entre-nœuds et le rendement réel qui montrent des valeurs élevées chez les variétés conduites dans la région semi-aride (El Khroub).

En ce qui concerne les caractères technologiques, la station d'Oued Smar se distingue pour le paramètre taux d'extraction. Tandis que la station d'El Khroub, elle se distingue pour les caractères suivants : indice de brun, indice de jaune, la teneur en gluten humide et sec et le taux de mitadinage. Les variétés conduites au niveau de la station d'El Khroub sont très intéressantes de point de vue caractères technologiques surtout pour la teneur en gluten et le taux de mitadinage. L'indice de brun est faible dans les deux stations, ceci est très intéressant pour ce caractère.

Tandis que les valeurs enregistrées de l'indice de jaune sont faibles dans les deux sites, ce qui fait que nos variétés demeurent moins intéressantes pour ce caractère commercial.

L'interaction génotype x environnement montre son effet sur certains caractères agronomiques à savoir ; le nombre de plantes/m², la hauteur de la tige, la longueur du dernier entre-nœud, la longueur de l'épi, la longueur du col de l'épi, le nombre d'épillets stériles, fertiles et total/épi et l'échaudage. Tandis que les autres caractères agronomiques ne montrent pas de différences nettes dans les deux milieux.

L'interaction génotype x environnement présentent son effet sur l'ensemble des caractères technologiques étudiés ; indices de coloration et teneur en gluten. De ce fait, on peut conclure que les caractères technologiques changent en fonction de l'environnement. D'après nos résultats, on peut dire que les caractères technologiques s'améliorent dans des milieux stressés tel est le cas de la station d'El Khroub (région semi-aride) où le stress hydrique est très sévère par rapport à celui enregistré dans la station d'Oued Smar (région sub-humide).

Les résultats obtenus constituent une étude préliminaire de l'influence de l'interaction génotype x environnement sur le rendement et ses composantes, les caractères morphologiques et la qualité technologique du blé. Une sélection des variétés sur la base de nos résultats paraît insuffisante. Cependant, des études ultérieures sont intéressantes pour confirmer ou infirmer nos résultats.

Pour que la sélection des variétés étudiées soit plus efficace, on suggère :

- Une étude du comportement de ces variétés pendant plusieurs années afin d'étudier l'interaction génotype x année ou éventuellement l'interaction génotype x environnement x année. Ceci, permet de faire une bonne sélection des variétés.
- Mieux conduire les essais sur champs. Et ceci, dès la préparation du sol jusqu'à la récolte. Une bonne maîtrise des techniques culturales permet d'avoir de bons résultats à savoir le rendement et tous les autres caractères. Par la suite, on peut déduire que la différence enregistrée est attribuée aux variétés étudiées.

- La sélection sur la base du rendement en grain paraît difficile, du fait que ce paramètre est tributaire de plusieurs autres caractères, à savoir le PMG, le nombre de grains/épi, le nombre d'épis/m², le nombre de plantes/m², la précocité, la hauteur de la tige. De plus, les conditions climatiques conditionnent en grande partie l'expression du rendement et ses composantes. De ce fait, la sélection doit être faite sur la base de plusieurs caractères favorables en relation étroite avec le rendement en grain.
- La sélection sur la base des caractères technologiques est aussi importante. Nos résultats montrent de ce fait, que les indices de coloration et la teneur en gluten sont nettement améliorés dans la région la plus stressée (la région semi-aride d'El Khroub).
- L'étude des caractères technologiques s'est limitée juste à quelques paramètres. Cependant, l'étude d'autres caractères tels, la teneur en protéine, la teneur en cendre, la teneur en gluténines et en gliadines ; principaux constituant du gluten paraît indispensable pour mieux sélectionner ces variétés.

REFERENCES

1. Talamali, L, «La libéralisation du marché des céréales en Algérie». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/Alger, 7-9 février 2000, pp11- 20.
2. Benbelkacem, A et Kellou, K, « Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie ». CIHEAM, 2001, pp105-110.
3. Mebarkia, A et Guechi, A, « Résistance de quelques variétés de blé dur contre le ravageur des stocks *Rhizopertha dominica* (F) ». X^{ème} Journées Scientifiques – AUF- Constantine 8- 11 mai 2006, pp155-156.
4. AYCICEK, M et YILDIRIM, T, « Adaptability Performances of Some Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes in The Eastern Region of Turkey ». International Journal of Science & Technology, 2006, Volume 1, No 2, pp83-89.
5. Hamadache, A., Abdellaoui, Z et Aklane, M, « Facteurs agrotechniques d'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie ». Cas de la zone Sub-humide. INRAA, 2002, N°10. pp5-18.
6. Larbi, A., Mekliche, A., Abed, R et Badis, M, « Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) en région semi-aride ». CIHEAM, 2000, pp295-297.
7. Hazmoune, T, « Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie ». Perspectives, CIHEAM, 2000, pp291-294.
8. Bahlouli, F., Bouzerzour, H et Benmahammed, A, « Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 2008, 12(1). pp 31-39.

9. Bousba, R., Ykhlef, N et Djekoune, A, « Efficience hydrique et sénescence foliaire chez le blé dur (*Triticum durum* .Desf) sous contraintes hydrique : analyse de variabilité génotypique ». X^{ème} Journées Scientifiques –AUF- Constantine 8- 11 mai 2006, pp149-150.
10. Bouzerzour, H. et Oudina, M, « Association de certains caractères morphologiques au rendement grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en conditions semi-arides ». Ann. Inst. Nat. Agr. El Harrach, 1989, 13(1), pp157-167.
11. Assemn,N., El Hafid, L., Haloui, B et El Atmani, K, « Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental ». Sécheresse, 2006, 17(4), pp499-505.
12. Karrou, M, « Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc ». CIHEAM, 2000, pp 559-567.
13. Trentesaux, E, « Évaluation de la qualité du blé dur ». CIHEAM, 1995, pp53-59.
14. Anonyme, « Le bulletin bimensuel ». Agriculture et Agroalimentaire Canada, 23 juin 2000, Vol. 13 N°11.
15. Sadli, F, « Qualité des blés en Algérie : Etat actuel et perspectives ». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/ Algérie, 7-9 février 2000, pp255-260.
16. ANJUM, F.M., IJAZ, A., BUTT, M.S., ARSHAD, M.U et PASHA, I, «Improvement in end-use quality of spring wheat varieties grown in different eras ». Food Chemistry, 2008, 106, pp482-486.
17. Sassi, K et Boubaker, M, « Comportement agronomique de lignées allochtones de blé dur dans un milieu semi-aride de Tunisie ». Cahiers Agriculture, 2006, 15 (4), pp 355-361.
18. Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N et Hassous, KH, « Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L) dans l'étage bioclimatique semi-aride ». INRAA, 2002, 10, pp45-58.

19. Lillemo, M., van Ginkel, M., Trethowan, R. M, Hernandez, E et Crossa, J, «Differential Adaptation of CIMMYT Bread Wheat to Global High Temperature Environments». *Crop Sci*, 2005, 45, pp2443–2453.
20. Bouzerzour, A., Benmahammed, A., Benbelkacem, T., Hazmoune, H., Mimouni, S., Bourmel, et Mekhlouf, A, « Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) issues d'une sélection multilocale ». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/Alger, 7-9 février 2000, pp187-195.
21. Rosielle, A. A. et Hamblin, J, «Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment ». *Crop Sci* 21, 1981, pp943-946.
22. Ph. Burny. Production et échanges mondiaux de céréales en 2009-2010 et production communautaire en 2009. Livre Blanc « Céréales » ULg Gembloux Agro-Bio Tech et CRA-W Gembloux-Février 2010. 14p.
23. Ministère de l'agriculture, «Les statistiques agricoles», 2007
24. Anonyme, « commerce extérieur de l'Algérie ». Ministre du commerce, 2008, 15p.
25. Morancho, J, « Production et commercialisation du blé dur dans le monde ». Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000, pp29-33.
26. Stan S et Glenn L, « Le blé dur en Afrique du Nord ». Bulletin bimensuel. 23 juin 2000, Vol. 13 N°11, 4p.
27. CAVELIER, M., COUVREUR, L., CROHAIN, A., DARCHEVILLE, M., DELHAYE, R., DE PROFT, M., DESTAIN, J-P., DETROUX, L., DROEVEN, G., FRANKINET, M., GUIOT, J. , HAQUENNE, W., HERMAN, J-L., LATTEUR, G., LECOMTE, R., MEEUS, P., MOENS, R., NOULARD, L., PARMENTIER, G., RIXHON, L., SALEMBIER, J-F., SEUTIN, E., TAHLON, J., VANDAM, J-B., BODSON, B., DETRAUX, M., DOHET, J., FALISSE, A., LANGE, B., LEDENT, A., NYST, P., NOIRFALISE, A., POELAERT, J et WALRAVENS, M, « Le froment d'hiver. Conduite de sa culture ». Ed : LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux, A.S.B.L, 1990, 212p.

28. Nyabyenda, P, « Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique ». Ed : LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX, 2005.
29. Cook, J., Johnson, V.A. et Allan, R. E. 1991. « Le blé ». Pp27-38. In Méthodes traditionnelles de sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie moderne. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 249p.
30. Shearerw, « La biologie de *Triticum turgidum* ssp. *Durum* ». Agence canadienne d'inspection des aliments, 2006, 13p.
31. Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M et Rezgui, S, « Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) ». ITGC, 2007, 176p.
32. Simon, H., Codccioni, P et le cœur, X, « produire des céréales à paille ». Lavoisier, 1989, 333p.
33. Clément – Grandcourt M. et Prats J, « Les céréales ». J B -Baillière et fils, 1971, 351 p.
34. Soltner, D, « les grandes productions végétales ». Collection et techniques agricoles, 2005, 464 p.
35. Boufenar-Zaghouane, F et Zaghouane, O, « Guide des principales variétés de céréales à paille en Algrie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) ». ITGC, 2006, 154p.
36. Gate, P et Giban, M. Stades du blé. ITCF, 2003. 68p.
37. Moule, « Les céréales ». maison rustique, 1980, 235 p.
38. Gallais, A et Bannerot, H, « Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection », INRA, Paris, 1992, 687p.
39. Ledent, J.F et Girardin, P, «Ecophysiologie et amélioration des plantes, une relation utile ? .In Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? ». Ed. AUPELF-UREF.John Libbey Eurotext. Paris © 1995, pp 23-30.
40. Demol, J., Baudoin, J.P., Louant, B-P., Marechal, R., Mergeai, G et Otoul, E, « Amélioration des plantes, application aux principales espèces cultivées en régions tropicales ». Les presses de Gembloux, A.S.B.L, 2002, 583p.
41. Monneveux, Ph, « Quelles stratégies pour l'amélioration génétiques de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides ». Ed. AUPELP. UREE. John Libbey Eurotext.Paris, 1991, pp165-186.

42. Lafon. J.P, « La biologie des plantes cultivées ». Édition de l'I.R.P.E.P.S., 1988, 172 p.
43. Gallais, A, « Théorie de la sélection en amélioration des plantes ». Masson paris, 1989, 588 p.
44. Doussinault, G, « Cent ans de sélection du blé en France et en Belgique ». In Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 1995, pp3-8.
45. Demarly, Y, « Génétique et amélioration des plantes ». Ed Masson, Paris, 1977, 287p.
46. Maciejewski, J, « Semences et plants ». Ed Technique et Documentation-Lavoisier, 1991, 231p.
47. Anonyme, « les semences de céréales à paille ». Ed La nouvelle Librairie-Département Agri-Nathan international, 1987, 96p.
48. Zahour, A, « Éléments d'amélioration génétiques des plantes ». Actes éditions-Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Rabat, 1992, 230 p.
49. Genevès, L, « Biologie cellulaire ». Ed BORDAS, Paris, 1983, 267p.
50. Najimi, B., El Jaafari, S., Jlibène, M et Jacquemin, J-M, « Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2003, 7 (1), pp17–35.
51. Gallais, A, « La sélection assistée par marqueurs, Quel avenir pour l'amélioration des plantes ». Ed AUPELF. John Libbey Eurotext. Paris, 1994, pp387-397.
52. Dubois, J, « La transformation génétique des céréales. In Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes ? ». Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, 1993, pp89-94.
53. Demarly, Y et Monique, S, « Amélioration des plantes et biotechnologies ». Ed. John Libbey Eurotext, Paris, 1996, 151p.

54. Tardieu, F et Zivy, M, « Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse ». Sécheresse et Agriculture, INRA Montpellier, 2006, pp242-257.
55. Shepherd, T et Wynne Griffiths, D, «The effects of stress on plant cuticular waxes». *New Phytologist*, 171, 2006, pp 469–499.
56. Gate, P, « Ecophysiologie du blé. De la plante à la culture ». Ed. Lavoisier, 1995, 417 p.
57. Sreenivasulu, N., Sopory, S.K et Kavi Kishor, P.B, «Deciphering the regulatory mechanisms of abiotic stress tolerance in plants by genomic approaches». *Science direct. Elsevier Gene* 388, 2007, pp1–13.
58. Hare, P. D., Cress, W. A et Van Staden, J, «Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress ». *Plant, Cell and Environment*, 21, 1998, pp535–553.
59. Roussel, L, « Un nouveau venu en physiologie végétale : le phytochrome ». *Bois et Forêts des Tropiques*, n°149, 1973, p53.
60. Franquin, P, « Production de masse, production de nombre et rendement ». *Cah. O.R.S.T.O.M.*, n°42, 1980, pp5-7.
61. Hirt, H et Shinozaki, K., « Plant Responses To Abiotic Stress ».Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Topics in Current Genetics*, Vol. 4, 2003, 320p.
62. Heino, P et Tapio Palva, E, « Signal transduction in plant cold acclimation ». Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Topics in Current Genetics*, Vol. 4,2003, pp 151-187.
63. Gate, P et Couvreur, F, « Le gel constitue t-il un risque important ? ». *Perspectives agricoles*, n°178-Mars 1993, pp76-82.
64. Braun, P, « Diagnostic des accidents du bé dur ». Ed. Lavoisier, 2005, 105p.
65. Priti K, «Plant responses to heat stress ». Ed Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003 *Topics in Current Genetics*, Vol 4, 2003, pp73-103.
66. Shilpi, M et Narendra, T, «Cold, salinity and drought stresses: An overview ». ELSEVIER. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444, 2005, pp139–158.
67. Viswanathan, Ch et Jian-Kang, Z, «Plant salt tolerance». Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003 *Topics in Current Genetics*, Vol. 4, 2003, pp241-271.

68. Kijne, J.W, « Abiotic stress and water scarcity: Identifying and resolving conflicts from plant level to global level ». ELSEVIER. SCIENCE DIRECT. Field Crops Research 97, 2006, pp3–18.
69. Taylor, J, « Plantes tolérant la sécheresse ». Ed. La Maison Rustique, 1994, 192p.
70. Debaeke, P., Cabelguenne, M., Casals, M.L et 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.
71. Triboï, E, « Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre ». Agronomie ; 10, 1990, pp191-200.
72. Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M et Zid Ezzidine, « Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance ». Sécheresse ; 16(3), 2005, pp 225-229.
73. El Jaafari, S., Lepoivre, P et Semal, J, « Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. In Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? ». Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 1995, pp141-148.
74. Teulat-Merah, B., Ben Salem, M., Zoumarou, W., Bahri, H., Douimi, R et This, D, « Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales ». 2001, pp493-516.
75. Levitt, J, « Responses of plants to environmental stresses». Ed. Academic Press, INC.USA, 1980, 607p.
76. Ehdaie, B., Alloush, G.A, Madore, M.A et Waines, J.G, « Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat». I. Postanthesis changes in internode dry matter. Crop Sci. 46, 2006a, pp735-746.
77. Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A et Waines, J.G, «Genotypic variation for stemreserves and mobilization in wheat. II Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates ». Crop Sci. 46, 2006b, pp2093–2103.
78. Ehdaie. B, Alloush.G.A et Waines.J.G, « Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat». Field Crops Research 106, 2008, pp34-43.
79. Zhang, J., Nguyen, H.T et Blum, A, « Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants ». *Journal of Experimental Botany*, 50, 1999, pp291-302

80. Chimenti, C.A., Marcantonio, M et Hall, A.J, «Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases ». *Field Crops Research*, 95, 2006, pp305-315.
81. Erchidi,A.E., Benbella, M et Talouizte, A, « Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique ». CIHEAM, 2000, pp279-282.
82. Boyer, J.S, «Leaf enlargement and metabolic rates in corn, bean and sunflower at various leaf water potential ». *Plant Physiology*, 46, 1970, pp233-235.
83. Saab, I.N et Sharp R.E. « Non-hydraulic signals from maize roots in drying soil: inhibition of leaf elongation but not stomatal conductance ». *Planta*, 1989, pp466-474.
84. Benlaribi, M., Monneveux, P et Grignac, P, « Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) ». Elsevier/INRA Agronomie 10, 1990, pp305-322.
85. Monneveux, P. et Belhassen, E, « The diversity of drought adaptation in the wide». *Plant Growth Regul.*, 20, 1996, pp85-92.
86. Hazmoune, T, « Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie ». Perspectives. CIHEAM, 2000, pp291-294.
87. Chaib, G et Benlaribi, M, « Accumulation de proline des sucres solubles chez le blé dur (*Triticum durum*.Desf) sous stress hydrique ». X^{ème} Journées Scientifiques –AUF- Constantine 8- 11 mai 2006, pp207-208.
88. Zerrad, W., Hillali, S., Mataoui, B., S.El Antri, S et Et Hmyene, A, « Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur ». *Biochimie, Substances Naturelles et Environnement*, 2006, pp371-376.
89. Bajji, M., Lutts et Kinet, J.M, « La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière ». CIHEAM, 2000, Pp227-231.
90. Bouharmont, J, « Sélection *in vitro* et caractérisation de mutants de blé dur (*Triticum durum* Desf.) tolérants à la sécheresse ». *Sécheresse* n°4, vol. 5, novembre 1994, p283.

91. Sorrells, M.E., Diab, A et Nachit, M, « Comparative genetics of drought tolerance ». Options méditerranéennes série A (Séminaires Méditerranéens); 40, 2000, pp191-201.
92. Turner, N.C, « Adaptation to water deficits ; a changing perspective ». Aust J Plant Physiol 13, 1986, pp175-190.
93. Di Fonzo, N., Flagella, Z., Camplanile, R.G., Stoppelli, M.C., Spano, G., Rascio, A., Russo, M., Trono, D., Padalino, L., Laus, M., De Vita, P., Shewry, P.R., Lawlor, D et Troccoli, A, «Resistance to abiotic stresses in durum wheat : Which ideotype ?». CIHEAM, 2000, pp215-225.
94. GonzaÁleza, A., MartõÁnb, I et Ayerbeb, L, «The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance». Field Crops Research 62, 1999, pp23-34.
95. Archie, M., Trust, B., Harry, D et Sapirstein, «Effects of genotype, environment and genotype- environment interaction on the antioxidant Properties of wheat ». In Yu L.2008. by John Wiley & Sons, Inc. Wheat antioxidants. 2008, pp 24-42.
96. Bondari, K, « Statistical Analysis of Genotype X Environment Interaction in Agricultural Research ». Experimental Statistics, Coastal Plain Station, University of Georgia, 2003, 6p.
97. ELROD, S et Stanfield, W, « Génétique ». Éd, DUNOD, Paris, 2003, 490p.
98. McGraw-Hill R, «Biology 11». Publishers, Toronto, 2001, 687p.
99. GENEVES, L, «Biologie cellulaire». Ed, BORDAS, Paris, 1983, 267p
100. Bazettoux, S., Laurent, J et Orcival, J, « Génétique ». Ed. Dunod, Paris, 2001, 180p.
101. FALOCNER, D.S, « Introduction à la génétique quantitative ». Ed Masson et CIE, paris, 1974, 284p.
102. Yan, W et Hunt, L. A, « Interpretation of Genotype x Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario ». Crop Sci. 41, 2001, pp19–25.
103. Wrigley, C.W, « Mitigating the Damaging Effects of Growth and Storage Conditions on Grain Quality». In WHEAT PRODUCTION IN STRESSED ENVIRONMENTS. H. T. BUCK. J. E. NISI. N. SALOMÓN. Ed. Springer, 2007, 794p.
104. Reitz, L.P, «Breeding for more efficient water-use-is it real or mirage? ». Agric Meeorol : 14, 1974, pp 3-7.

105. Lints, F, « génétique 3 ». Ed : Copyright by Office International de Librairie, 1991, 675p.
106. Falconer, D.S., Trudy, F et Mackay, C. « quantitative genetics ». Ed : Longman Group Ltd, 1996, 464p.
107. HARRY, M, « Génétique moléculaire et évolutive ». Ed, Edition Maloine, 2001, 326p.
108. Noirot, M, « Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances en génétique quantitative ». Notion de phénotypes majeurs. Ed, Laboratoire des Ressources Génétiques et Amélioration des Plantes Tropicales, 1992, pp313-317.
109. Comeau, A., Caetano, V.R., Langevin, F et Haber, S. 2007. « A Systemic Approach to Germplasm Development Shows Promise ». In WHEAT PRODUCTION IN STRESSED ENVIRONMENTS. H. T. BUCK. J. E. NISI. N. SALOMÓN. Ed. Springer, 2007, 794p.
110. Maich, R., Ortega, D., Masgrau, A et Manera, G, « Genetic Achievements under Rainfed Conditions». Pp321-331. In WHEAT PRODUCTION IN STRESSED ENVIRONMENTS. H. T. BUCK. J. E. NISI. N. SALOMÓN. Ed. Springer, 2007, 794p.
111. Feillet, P., Autran, J.C. et Icard-Vernière, C, « Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires ». "Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000, pp431-438.
112. DAUSSINAULT, G, « Recherche sur la qualité du blé. *IN* L'INRA et les céréales à paille ». INRA, 1982, pp51-63.
113. JIMENEZ GONZALEZ, A.T, « Milling process of durum wheat ». CIHEAM-IAMZ. n. 22, 1995, pp43-51.
114. Abecassis, J, « Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés ». *Ind. Céréales*: 81,1991, pp 25-37.
115. Ripetti-Ballester.V., Chaurand.M et Roumet,P, « Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers ». CIHEAM. pp 489-491.
116. SCOTTI, G et MONT, J-M, « Analyse physique des grains : blé tendre et blé dur ». pp 76-119. IN GODON. B ; LOISEL. W.. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed : Technique et Documentation, 1997, 819p.
117. Samson, M.F. et Desclaux, D, « Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de

- mitadin ». Colloque régional du 21 juin 2006. Campus Inra-Agro Montpellier.pp1-4.
118. Braun, P, « Blé dur : le progrès technique au service de la qualité ». Perspectives Agricoles - n°218 – Novembre 1996, pp36-41.
119. ALEM,M, « La conservation et le traitement des denrées stockées ». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/Alger, 7-9 février 2000, pp321.
120. Alix, K. Bru, D. Ripetti, V. Santoni, S. David, J et Roumet, P, « Clarté des pâtes et polymorphisme moléculaire des peroxydases – Développement de marqueurs S-SAP ». "Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000, p. 475-478.
121. LE BAIL, M, « Spécificité locale pour un produit banal : le blé dur destiné à la fabrication de pâtes alimentaire ». *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 32, 2001, pp37-50.
122. Dexter, J.E et Edwards, N.M, « Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur ». Commission canadienne des grains, 1998, 35p.
123. Landi, A, « Durum Wheat, semolina and pasta quality characteristics for an Italian food company ». CIHEAM-IAMZ, n. 22, 1995, pp33-42.
124. Autran, J.C et Galterio G, « Association between electrophoretic composition of proteins, quality characteristic and agronomic attributes of durum wheats ». II. Protein-quality association.*J. Cereal Sci.*, 9 (3), 1989, pp195-215.
125. KHELIFI, D, « Application des marqueurs biochimiques et génétiques dans l'amélioration du blé pour la qualité ». X^{ème} Journées Scientifiques –AUF-Constantine 8- 11 mai 2006, pp67-68.
126. Dexter, J.E et Tipples, K.H, « Wheat milling at the Grain Research Laboratory ». Part 3. Effect of grading factors on wheat quality. *Milling* 180 (7):16, 1987, pp18-20.
127. Cherdouh, A., Khelifi, D., Carrillo, J.M. et Niéto-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, pp311-314.

128. Abecassis, J., Cauthier, M. F et Autran, J-C, « La filière blé dur- pâtes alimentaire : apports complémentaires de la technologie et de la génétique dans l'amélioration de la qualité ». IAA, Juin 1990, pp475-482.
129. D. Boisgontier, « semis : assurer dès le départ ». Perspectives agricoles n°183 septembre 1993, pp19-23.
130. Abdellaoui Z, Fettih S et Zaghouane O, « Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur ». Options méditerranéennes, série A, Numéro 69, 2006, pp 115-120.
131. J.P.Prévot ; PH.Pellot et V. Verhaeghe, « La culture du blé en Nord-Picardie ». Perspectives agricoles N°178-Mars 1993, pp29-48.
132. Benchohra Benseddik, Khelloufi Benabdelli, « Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique ». Sécheresse. Volume 11, Numéro 1, 2000, pp45-51.
133. Benbelkacem.A et Kellou.K, « Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*T. durum*. Desf) cultivées en Algérie ». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/Alger, 7-9 février 2000, pp123-132.
134. Couvreur Fet Robert D, « L'époque de semis conditionne la densité ». Perspectives agricoles. ITCF. n°183-Septembre 1993, pp8-12.
135. Huet, P, « Influence de la précocité du semis sur le blé tendre en monoculture ». In Ed INRA. Paris. Les rotations céréalières intensives. Dix années d'études concertées INRA-ONIC-ITCF, 1973-1983. INRA, Paris, 1986, pp400-412.
136. P. Debaeke, J. Puech, ML Casal, « Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique.I. Etude en lysimètres ». Revue Agronomie, 16(1), volume 16, 1998, pp 3-23.
137. GATE P, « Comment choisir sa densité de semis ». Perspectives Agricoles, 169, 1992, pp57- 61.
138. Benbelkacem, A., Mekni, M.S. et Rasmusson, D.C, « Breeding for high tiller number and yield in barley ». Crop. Sci. 24, 1984, pp 968-972.
139. Bouzerzour.H, Zerargui.H, Dekhili.M, «Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat». Al Awamia-89-juin 1995, pp25-38.

140. Couvreur, F, « Formation du rendement du blé et risque climatique ». Perspectives agricoles, 95, 1985, pp10-14.
141. Gate, P., Crosson, P et Lehe D, « Peut-on déterminer et prévoir le risque de verse ? ». Perspectives Agricoles - n°209 - Janvier 1996, pp 84-88.
142. M.Mekli, A.B.K. Dahmane et A. Garoui, « Effet de la variation saisonnière des facteurs climatiques sur les composantes du rendement des céréales (blé dur et orge) ». I.N.A.T. Vol.10, n°1-juin 1995, pp105-114.
143. Couvreur, F, « Blé tendre Choisir et ajuster la densité de semis ». Perspectives Agricoles — n° 216 — septembre 1996, pp36-41.
144. Brisoon, N et Guevara, E, « Réponse de 5 cultivars de blé à une sécheresse précoce dans la Pampa argentine. II Utilisation du modèle STICS pour analyser les stratégies de résistance à la sécheresse ». Colloque Franco-Argentin sur l'écophysiologie des cultures et prairies naturelles, 13 et 14 novembre 1997. Buenos Aires, Argentine, 1997, pp 1-9.
145. Gate, p, « La variété et le milieu imposent la date de semis ». Perspectives agricoles, n°183, septembre 1993, pp 13-18.
146. Mekhlouf., Bouzerzoure, A H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui., A. et Harkati, N, « Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride » ; 17(4), 2006, pp 507-13.
147. Fisher, R.A et Maurer, R, « Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yields responses ». Aust. J. Agr. Res. 29, 1978, pp 897-912.
148. Ceccarelli. S, Grando. S, Hamid. J, «Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments». Euphytica; 64, 1992, pp49-58.
149. Van Oosterom. EJ, Ceccarelli. S, Peacock. JM. «Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments ». J Agric Sci (Cambridge) 1993; 121: pp304-313.
150. Biddinger F., Musgrave R.B. & Fischer R.A., «Contribution of stored pre-anthesis assimilates to grain yield in wheat and barley». *Nature*, 20, 1977. pp431-433.
151. Ambolet, B, « Dans quelles conditions la monoculture du blé est-elle possible ? ». In ©INRA. Paris. Les rotations céréalières intensives. Dix années

- d'études concertées INRA-ONIC-ITCF, 1973-1983. INRA, Paris, 1986, pp400-412.
152. Assemn,N., El Hafid, L., Haloui, B et El Atmani, K, « Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental ». *Sécheresse*, 17(4) : 2006, pp499-505.
 153. Karrou.M, « Identification of potential grain growth characteristics to be used in breeding durum wheat under semi-arid Mediterranean type of environment ». *Al Awamia* 108-December 2003, pp57-72.
 154. Dakheel, A., Naji, I., Mahalakshmi, V., Peacock, J.M, «Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environment». *Aspects of Applied Biology* 34, 1993, pp297-307.
 155. 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.), 2006.
 156. Saini.H.S et Westgate.M.E, « Reproductive development in grain crops during droughts ». *Adv. Agron.* 68, 2000, pp59-96.
 157. kabata, T., Palta, JA et Turner, NC, «Rate of development of post-anthesis water deficit and grain filling of spring wheat». *Crop Sci*, 32, 1992, pp1238-1242.
 158. Whan, B. R., Carlton, G. P. et Anderson, W. K., «Potential for increasing growth in spring wheat. I. Identification of genetics improvements». *Aust. J. Agri. Res.* 47, 1996, pp17-31
 159. Ben Amar F et Ben Abdellah N. « Problèmes de production du blé dur dans la region semi-aride du Kef (Tunisie) ». *Sécheresse* ; 7(4) 1996, pp311-314.
 160. 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, pp24-36.
 161. Passioura, J.B, « Grain yield harvest index and water use of wheat». *J.Aust. Inst. Agric. Sci.*, 43, 1977, pp117-120.
 162. Sebillotte, M, « Plante, peuplement végétal, système de culture en production céréalière *IN L'INRA et les céréales à paille* ». INRA, 1982, pp31-39.

163. Dekkaki. M, Amssa. M et Qariani. L, « Identification des critères agrophysiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse ». CIHEAM, 2000, pp 245-149.
164. Gate, P., Bouthier A., Wornica K et Manzo M.E., « La tolérance des variétés de blé tendre d'hiver à la sécheresse : premières résultats ITCF ». Persp Agri. N° 145, 1990, pp17-23.
165. EL HAKIMI A., « Evaluation de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitives (Sauvage et cultivée) de blé tétraploïde ». Thèse de DEA. Montpellier. France. 1992, 60 p.
166. Gate, P., Bouthier A., Casablanca H et Deleens E, « Caractéristiques physiologiques décrivant la tolérance des blés cultivés en France : interprétations des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains ». In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. P Monneveux et Ben Salem éd. INRA., Paris, le colloque n°64, 1992, pp61-74.
167. Aït Kaki Y, « Contribution à l'étude des mécanismes. morphophysiologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) ». Thèse magister I.S.N. Annaba, 1993, 129 p.
168. Austin R. B, « Improvement of barley of dryland farming inproceeding of a symposium on plant improvement for arid zones». Ahwaz (Iran), 1977, 12-27.
169. Houliaropoulos S, Abecassis J, Autran J.C, « produits de mouture du blé dur : coloration et caractéristiques culinaires ». Ind Céréalière : 2-3, 1981, pp13-18.
170. Feillet, P, « Le grain de blé ». INRA, Paris, 2000, 308p.
171. Kobrehel K., Gautier M.F, « Variability in peroxylase isozymes in wheat quality». J. Cereal Sci. 18, 1974, pp43-51.
172. M. T. Niéto-Taladriz, m. Rodriguez-Quijano et J. M. Carrillo, « Glutein proteins as markers for durum wheat quality selection». Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies/Alger, 7-9 février 2000, pp 67-70.
173. ROUSSET, M, « Caractéristiques génétiques et physico-chimiques et valeur d'utilisation du blé tendre et du blé dur ». Le monde des moulins n°12 - avril 2005, pp4-5.
174. Dexter, J.E., Matsuo, R.R., et Martin, D.G, « The effect of test weight on durum wheat quality». Cereal Foods World 32, 1987, pp772-777.

175. Dexter, J.E., Clear, R.M., et Preston, K.R, « Fusarium head blight: Effect on the milling and baking of some Canadian wheats ». Cereal Chem. 73, 1996, pp695-701.
176. Ph. Debaeke, J.M. Nolot, P. Bataillon et D. Raffailac. « Evaluation d'itinéraires techniques pour le blé dur dans le Sud-Ouest de la France». CIHEAM-IAMZ, 2000, pp 587-590.
177. Ehdai, B., Reza Shakiba, M et Waines, G, «Path analysis of genotype x environment interactions of wheats to nitrogen». Agronomie 19, 1999, pp45-56.
178. Mekhlouf, A et Bouzerzour,H, « Comparaison de l'efficacité de la sélection précoce, directe et indirecte, pour améliorer le rendement en grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude ».INRA. N°9, 2001, pp17-29.
179. DEXTER, J.E et MATSUO, R.R, « Effect of semolina extraction rate on semolina characteristics ad spaghetti quality». Cereal Chem. V55 (6), 1978, pp841-852.
180. DJEMA, I « Influence du taux d'extraction et de la granulométrie de la semoule sur la qualité technologique du couscous de blé dur ». Thèse de Magister, 2000, 84p.
181. DEXTER, J.E et MATSUO, R.R. « Effect of water content on changes in semolina proteins during dough mixing». Cereal Chem. 56, 1979, 15p.
182. Yves OKANDZA, « Caractérisation technologiques et biochimiques de quelques variétés de blés durs algérien ». Magister, 2000, 96p.
183. BOUKHEMIA ANNOU SADA. « Aptitude technologiques de quelques variétés de blé dur local : Interaction amidon-protéines ». Thèse de Magister, 2003, 100p.

Tableau 1 : Nombre de plantes par mètre carré

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	82057.50	17	4826.91	4.92	0.0000	31.33	16.8%
VAR.FACTEUR 2	50981.88	1	50981.88	51.95	0.0000		
VAR.INTER F1*2	48900.34	17	2876.49	2.93	0.0004		
VAR.BLOCS	1705.78	3	568.59	0.58	0.6339		
VAR.RESIDUELLE 1	103040.03	105	981.33				
VAR.TOTALE	286685.53	143	2004.79				

Tableau 2 : nombre de talles par mètre carré

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	507420.00	17	29848.23	5.61	0.0000	72.96	11.7%
VAR.FACTEUR 2	1778.13	1	1778.13	0.33	0.5717		
VAR.INTER F1*2	59953.38	17	3526.67	0.66	0.8328		
VAR.BLOCS	189425.88	3	63141.96	11.86	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	558871.50	105	5322.59				
VAR.TOTALE	1317448.88	143	9212.93				

Tableau 3 : nombre d'épis par mètre carré

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	96085.47	17	5652.09	2.43	0.0032	48.25	16.0%
VAR.FACTEUR 2	29042.13	1	29042.13	12.48	0.0007		
VAR.INTER F1*2	49666.34	17	2921.55	1.25	0.2365		
VAR.BLOCS	25298.72	3	8432.91	3.62	0.0155		
VAR.RESIDUELLE 1	244436.97	105	2327.97				
VAR.TOTALE	444529.63	143	3108.60				

Tableau 4 : taux de régression

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	3939.46	17	231.73	2.76	0.0008	9.16	18.1%
VAR.FACTEUR 2	819.86	1	819.86	9.78	0.0024		
VAR.INTER F1*2	1747.90	17	102.82	1.23	0.2572		
VAR.BLOCS	278.88	3	92.96	1.11	0.3494		
VAR.RESIDUELLE 1	8803.53	105	83.84				
VAR.TOTALE	15589.63	143	109.02				

Tableau 5 : Epiaison

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	423.54	17	24.91	3.64	0.0000	2.62	2.1%
VAR.FACTEUR 2	66349.18	1	66349.18	9700.66	0.0000		
VAR.INTER F1*2	71.70	17	4.22	0.62	0.8725		
VAR.BLOCS	207.59	3	69.20	10.12	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	718.16	105	6.84				
VAR.TOTALE	67770.16	143	473.92				

Tableau 6 : hauteur de la tige

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	7936.69	17	466.86	34.85	0.0000	3.66	5.2%
VAR.FACTEUR 2	1408.12	1	1408.12	105.10	0.0000		
VAR.INTER F1*2	681.70	17	40.10	2.99	0.0003		
VAR.BLOCS	149.61	3	49.87	3.72	0.0137		
VAR.RESIDUELLE 1	1406.80	105	13.40				
VAR.TOTALE	11582.92	143	81.00				

Tableau 7 : longueur du col de l'épi

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	431.18	17	25.36	10.89	0.0000	1.53	13.7%
VAR.FACTEUR 2	1071.74	1	1071.74	460.28	0.0000		
VAR.INTER F1*2	144.25	17	8.49	3.64	0.0000		
VAR.BLOCS	0.08	3	0.03	0.01	0.9900		
VAR.RESIDUELLE 1	244.49	105	2.33				
VAR.TOTALE	1891.74	143	13.23				

Tableau 8 : La longueur du dernier entre nœud

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	2569.93	17	151.17	20.44	0.0000	2.72	5.3%
VAR.FACTEUR 2	38360.48	1	38360.48	5187.34	0.0000		
VAR.INTER F1*2	983.59	17	57.86	7.82	0.0000		
VAR.BLOCS	34.68	3	11.56	1.56	0.2013		
VAR.RESIDUELLE 1	776.48	105	7.40				
VAR.TOTALE	42725.16	143	298.78				

Tableau 9 : La longueur de l'épi

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	30.25	17	1.78	4.51	0.0000	0.63	9.0%
VAR.FACTEUR 2	28.84	1	28.84	73.11	0.0000		
VAR.INTER F1*2	11.54	17	0.68	1.72	0.0498		
VAR.BLOCS	0.88	3	0.29	0.74	0.5337		
VAR.RESIDUELLE 1	41.41	105	0.39				
VAR.TOTALE	112.93	143	0.79				

Tableau 10 : la longueur des barbes

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	64.25	17	3.78	8.11	0.0000	0.68	6.1%
VAR.FACTEUR 2	136.50	1	136.50	293.08	0.0000		
VAR.INTER F1*2	11.15	17	0.66	1.41	0.1473		
VAR.BLOCS	7.88	3	2.63	5.64	0.0014		
VAR.RESIDUELLE 1	48.90	105	0.47				
VAR.TOTALE	268.67	143	1.88				

Tableau 11 : Nombre totale d'épillets

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	432.15	17	25.42	18.90	0.0000	1.16	6.3%
VAR.FACTEUR 2	67.93	1	67.93	50.50	0.0000		
VAR.INTER F1*2	191.37	17	11.26	8.37	0.0000		
VAR.BLOCS	11.45	3	3.82	2.84	0.0410		
VAR.RESIDUELLE 1	141.22	105	1.34				
VAR.TOTALE	844.12	143	5.90				

Tableau 12 : Nombre d'épillets stériles

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	28.79	17	1.69	21.53	0.0000	0.28	57.9%
VAR.FACTEUR 2	11.39	1	11.39	144.80	0.0000		
VAR.INTER F1*2	6.07	17	0.36	4.54	0.0000		
VAR.BLOCS	0.03	3	0.01	0.12	0.9494		
VAR.RESIDUELLE 1	8.26	105	0.08				
VAR.TOTALE	54.53	143	0.38				

Tableau 13 : Nombre d'épillet fertiles

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	312.95	17	18.41	11.15	0.0000	1.29	7.2%
VAR.FACTEUR 2	136.31	1	136.31	82.53	0.0000		
VAR.INTER F1*2	226.20	17	13.31	8.06	0.0000		
VAR.BLOCS	11.79	3	3.93	2.38	0.0726		
VAR.RESIDUELLE 1	173.42	105	1.65				
VAR.TOTALE	860.66	143	6.02				

Tableau 14 : Nombre de grains par épis

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	44.6483	17	262.64	7.68	0.0000	5.85	11.9%
VAR.FACTEUR 2	18558.61	1	18558.61	542.58	0.0000		
VAR.INTER F1*2	578.97	17	34.06	1.00	0.4692		
VAR.BLOCS	283.59	3	94.53	2.76	0.0449		
VAR.RESIDUELLE 1	3591.48	105	34.20				
VAR.TOTALE	27477.49	143	192.15				

Tableau 15 : PMG

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	1518.19	17	89.31	14.53	0.0000	2.48	7.7%
VAR.FACTEUR 2	3474.31	1	3474.31	565.29	0.0000		
VAR.INTER F1*2	145.68	17	8.57	1.39	0.1538		
VAR.BLOCS	189.50	3	63.17	10.28	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	645.34	105	6.15				
VAR.TOTALE	5973.03	143	41.77				

Tableau 16 : Rendement réel

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	1945.92	17	114.47	3.75	0.0000	5.52	25.0%
VAR.FACTEUR 2	570.57	1	570.57	18.70	0.0001		
VAR.INTER F1*2	846.25	17	49.78	1.63	0.0688		
VAR.BLOCS	680.63	3	226.88	7.44	0.0002		
VAR.RESIDUELLE 1	3203.70	105	30.51				
VAR.TOTALE	7247.07	143	50.68				

Tableau 17 : Rendement estimé

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	3714.25	17	218.49	2.24	0.0067	9.87	20.6
VAR.FACTEUR 2	34944.08	1	34944.08	359.00	0.0000		
VAR.INTER F1*2	2714.91	17	159.70	1.64	0.0666		
VAR.BLOCS	3300.25	3	1100.08	11.30	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	10220.39	105	97.34				
VAR.TOTALE	54893.88	143	383.87				

Tableau 18 : l'échaudage

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	324.62	17	19.10	47.57	0.0000	0.63	17.9%
VAR.FACTEUR 2	78.85	1	78.85	196.44	0.0000		
VAR.INTER F1*2	59.56	17	3.50	8.73	0.0000		
VAR.BLOCS	2.54	3	0.85	2.11	0.1017		
VAR.RESIDUELLE 1	42.15	105	0.40				
VAR.TOTALE	507.72	143	3.55				

Tableau 19 : Indice de brun

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	95.64	17	5.63	32.27	0.0000	0.41	4.6 %
VAR.FACTEUR 2	0.80	1	0.80	4.72	0.0288		
VAR.INTER F1*2	28.56	17	1.68	9.93	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	54.79	324	0.17				
VAR.TOTALE	179.79	359	0.50				

Tableau 20 : indice de jaune

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	1115.86	17	65.64	436.51	0.0000	0.39	1.9%
VAR.FACTEUR 2	113.17	1	113.17	752.59	0.0000		
VAR.INTER F1*2	85.12	17	5.01	33.30	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	48.72	324	0.15				
VAR.TOTALE	1362.87	359	3.80				

Tableau 21 : Le gluten humide

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	691.48	17	40.68	18.19	0.0000	1.50	4.0%
VAR.FACTEUR 2	776.97	1	776.97	347.52	0.0000		
VAR.INTER F1*2	183.37	17	10.79	4.82	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	80.49	36	2.24				
VAR.TOTALE	1732.30	71	24.40				

Tableau 22 : Le gluten sec

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V
VAR.FACTEUR 1	67.38	17	3.96	17.27	0.0000	0.48	4.1%
VAR.FACTEUR 2	66.07	1	66.07	287.91	0.0000		
VAR.INTER F1*2	27.73	17	1.63	7.11	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	8.26	36	0.23				
VAR.TOTALE	169.43	71	2.39				

Tableau 1 : Nombre de plantes par m²

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V15	240.25 \pm 27.12	A
2	V18	219.63 \pm 26.20	A B
3	V17	219.38 \pm 19.05	A B
4	V10	213.06 \pm 35.19	A B C
5	V12	202.31 \pm 10.35	A B C D
6	V9	201.69 \pm 21.01	A B C D
7	V5	198.81 \pm 36.27	A B C D
8	V3	185.31 \pm 25.55	B C D
9	V11	174.81 \pm 41.57	B C D
10	V14	172.38 \pm 28.90	B C D
11	V16	172.25 \pm 37.29	B C D
12	V2	171.81 \pm 23.65	B C D
13	V7	170.75 \pm 26.88	B C D
14	V8	170.31 \pm 18.18	B C D
15	V13	164.94 \pm 29.74	C D
16	V1	162.56 \pm 19.75	C D
17	V6	160.19 \pm 34.48	C D
18	V4	157.25 \pm 33.91	D

Tableau 2 : Nombre de talles par m²

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V9	761.75 \pm 53.96	A
2	V10	723.88 \pm 93.42	A B
3	V11	697.69 \pm 51.87	A B C
4	V2	676.81 \pm 24.97	A B C D
5	V15	645.94 \pm 61.72	B C D E
6	V5	635.56 \pm 31.09	B C D E
7	V8	632.19 \pm 86.75	B C D E
8	V17	631.06 \pm 74.71	B C D E
9	V1	624.44 \pm 54.57	B C D E
10	V6	619.25 \pm 45.52	B C D E
11	V16	606.38 \pm 131.98	B C D E
12	V7	601.00 \pm 69.16	C D E
13	V12	588.06 \pm 43.87	C D E
14	V13	578.25 \pm 38.87	C D E
15	V18	576.25 \pm 38.43	C D E
16	V14	555.88 \pm 43.86	D E
17	V3	550.56 \pm 72.53	E
18	V4	529.31 \pm 87.50	E

Tableau 3 : Nombre d'épis par m²

N°	Traitement	Génotypes ± écart type	Groupes homogènes
1	V10	354.38 ± 43.04	A
2	V15	350.42 ± 37.80	A
3	V8	334.90 ± 46.97	A B
4	V11	313.65 ± 48.62	A B
5	V14	312.92 ± 30.51	A B
6	V17	311.35 ± 53.47	A B
7	V3	308.44 ± 48.63	A B
8	V16	306.46 ± 50.79	A B
9	V1	304.48 ± 70.58	A B
10	V9	300.21 ± 36.98	A B
11	V7	297.92 ± 41.63	A B
12	V13	293.75 ± 16.69	A B
13	V12	292.40 ± 37.28	A B
14	V4	280.21 ± 35.64	A B
15	V5	279.06 ± 52.84	A B
16	V18	270.21 ± 34.62	A B
17	V2	269.90 ± 38.86	A B
18	V6	255.00 ± 42.56	B

Tableau 4 : Taux de régression

N°	Traitement	Génotypes ± écart type	Groupes homogènes
1	V9	60.10 ± 6.50	A
2	V2	59.88 ± 6.06	A
3	V6	58.93 ± 6.23	A B
4	V5	55.77 ± 8.22	A B C
5	V11	54.62 ± 8.87	A B C
6	V18	52.32 ± 7.41	A B C
7	V1	50.95 ± 9.79	A B C
8	V10	50.72 ± 7.30	A B C
9	V12	50.36 ± 5.05	A B C
10	V17	50.09 ± 9.79	A B C
11	V7	49.21 ± 9.61	A B C
12	V13	48.97 ± 2.45	A B C
13	V16	48.09 ± 8.11	A B C
14	V8	46.22 ± 10.95	A B C
15	V4	45.38 ± 11.96	A B C
16	V15	45.25 ± 6.51	A B C
17	V14	43.25 ± 5.59	B C
18	V3	42.82 ± 12.95	C

Tableau 5 : Epiaison

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V6	129.63 \pm 3.15	A
2	V9	126.13 \pm 2.63	B
3	V2	125.63 \pm 3.65	B
4	V13	124.13 \pm 1.30	B
5	V15	124.13 \pm 1.41	B
6	V5	124.00 \pm 0.96	B
7	V11	124.00 \pm 2.41	B
8	V4	123.88 \pm 1.96	B
9	V16	123.75 \pm 3.43	B
10	V14	123.25 \pm 2.66	B
11	V17	123.13 \pm 2.67	B
12	V18	123.13 \pm 1.59	B
13	V1	123.00 \pm 2.60	B
14	V7	123.00 \pm 2.32	B
15	V12	123.00 \pm 2.18	B
16	V10	122.63 \pm 2.68	B
17	V8	122.38 \pm 1.69	B
18	V3	121.88 \pm 1.65	B

Tableau 6 : Hauteur de la tige

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V6	96.66 \pm 5.05	A
2	V3	75.21 \pm 3.88	B
3	V9	74.80 \pm 3.58	B C
4	V1	73.05 \pm 0.77	B C D
5	V16	72.64 \pm 3.93	B C D
6	V10	72.19 \pm 2.20	B C D
7	V8	71.01 \pm 2.96	B C D E
8	V12	70.35 \pm 3.76	B C D E
9	V17	70.27 \pm 2.44	B C D E
10	V14	69.85 \pm 3.87	B C D E F
11	V7	69.19 \pm 2.87	C D E F G
12	V18	68.95 \pm 2.61	C D E F G
13	V4	68.05 \pm 3.96	D E F G
14	V13	66.13 \pm 2.40	E F G
15	V5	64.66 \pm 2.53	F G H
16	V11	64.19 \pm 2.56	G H
17	V15	64.16 \pm 3.64	G H
18	V2	60.05 \pm 2.48	H

Tableau 7 : La longueur du col

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V10	13.85 \pm 0.83	A
2	V16	13.26 \pm 2.21	A B
3	V9	13.16 \pm 1.51	A B
4	V8	12.80 \pm 1.06	A B C
5	V12	12.36 \pm 1.27	A B C D
6	V17	12.24 \pm 1.46	A B C D
7	V14	11.95 \pm 1.23	A B C D
8	V7	11.86 \pm 0.94	A B C D
9	V3	11.79 \pm 1.04	A B C D
10	V1	11.22 \pm 1.82	B C D E
11	V4	10.83 \pm 1.22	B C D E
12	V6	10.44 \pm 1.71	C D E F
13	V13	10.39 \pm 1.63	C D E F
14	V15	10.34 \pm 0.96	C D E F
15	V11	9.89 \pm 0.89	D E F
16	V18	9.21 \pm 1.78	E F
17	V5	8.52 \pm 1.29	F G
18	V2	7.02 \pm 1.34	G

Tableau 8 : La longueur du dernier entre-nœud

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V6	62.71 \pm 4.43	A
2	V10	54.36 \pm 1.44	B
3	V3	53.88 \pm 3.14	B C
4	V16	53.77 \pm 3.52	B C
5	V9	53.06 \pm 2.78	B C D
6	V17	52.74 \pm 2.34	B C D
7	V8	52.58 \pm 2.94	B C D
8	V1	52.19 \pm 1.89	B C D
9	V12	51.87 \pm 1.26	B C D
10	V14	51.86 \pm 1.94	B C D
11	V7	50.86 \pm 1.69	B C D
12	V4	49.49 \pm 1.62	C D
13	V11	49.13 \pm 2.17	D
14	V13	49.11 \pm 2.35	D
15	V18	49.09 \pm 2.01	D
16	V15	48.91 \pm 2.58	D
17	V5	44.45 \pm 1.75	E
18	V2	41.80 \pm 2.60	E

Tableau 9 : La longueur de l'épi

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V18	7.92 \pm 0.60	A
2	V2	7.79 \pm 1.53	A B
3	V13	7.37 \pm 0.63	A B C
4	V5	7.36 \pm 0.40	A B C
5	V14	7.17 \pm 0.53	A B C D
6	V3	7.13 \pm 0.43	A B C D
7	V8	7.07 \pm 0.18	A B C D
8	V11	7.03 \pm 0.39	A B C D
9	V6	7.02 \pm 0.52	A B C D
10	V9	6.90 \pm 0.68	B C D
11	V1	6.77 \pm 0.45	C D
12	V4	6.74 \pm 0.33	C D
13	V17	6.69 \pm 0.28	C D
14	V16	6.69 \pm 0.30	C D
15	V12	6.64 \pm 0.36	C D
16	V7	6.38 \pm 0.53	C D
17	V10	6.29 \pm 0.33	C D
18	V15	6.17 \pm 0.53	D

Tableau 10 : La longueur des barbes

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V3	12.53 \pm 0.45	A
2	V1	12.52 \pm 0.56	A
3	V7	12.18 \pm 0.89	A B
4	V13	11.72 \pm 0.45	A B C
5	V8	11.64 \pm 0.75	A B C
6	V6	11.55 \pm 0.34	A B C D
7	V5	11.41 \pm 0.73	B C D E
8	V16	11.33 \pm 0.53	B C D E
9	V4	11.31 \pm 1.12	B C D E
10	V2	11.18 \pm 0.75	B C D E
11	V14	10.96 \pm 0.43	C D E
12	V11	10.96 \pm 0.49	C D E
13	V9	10.85 \pm 0.61	C D E
14	V10	10.64 \pm 0.38	C D E
15	V18	10.59 \pm 0.47	C D E
16	V17	10.49 \pm 0.63	D E
17	V15	10.32 \pm 0.69	E
18	V12	10.32 \pm 0.37	E

Tableau 11 : Nombre d'épillets total

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V6	22.05 \pm 1.28	A
2	V5	21.63 \pm 1.04	A B
3	V18	20.50 \pm 1.29	B C
4	V2	20.40 \pm 0.89	B C
5	V9	19.46 \pm 1.45	C D
6	V13	19.13 \pm 1.59	C D E
7	V4	18.45 \pm 0.86	D E F
8	V3	18.15 \pm 0.97	D E F G
9	V1	17.98 \pm 0.59	D E F G
10	V8	17.65 \pm 0.43	E F G
11	V11	17.39 \pm 1.41	F G
12	V14	17.25 \pm 1.09	F G
13	V16	17.04 \pm 0.92	F G
14	V12	16.90 \pm 0.71	F G
15	V7	16.90 \pm 0.94	F G
16	V17	16.60 \pm 0.99	F G
17	V15	16.53 \pm 1.16	G
18	V10	16.40 \pm 0.64	G

Tableau 12 : Les épillets stériles

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V6	1.89 \pm 0.51	A
2	V9	0.90 \pm 0.32	B
3	V18	0.81 \pm 0.45	B
4	V7	0.80 \pm 0.33	B
5	V3	0.71 \pm 0.07	B C
6	V1	0.67 \pm 0.24	B C D
7	V4	0.65 \pm 0.27	B C D
8	V5	0.49 \pm 0.19	B C D E
9	V2	0.49 \pm 0.21	B C D E
10	V14	0.32 \pm 0.30	C D E F
11	V11	0.29 \pm 0.35	D E F
12	V17	0.19 \pm 0.11	E F
13	V15	0.15 \pm 0.11	E F
14	V13	0.11 \pm 0.14	E F
15	V16	0.11 \pm 0.12	E F
16	V8	0.10 \pm 0.12	E F
17	V12	0.03 \pm 0.05	F
18	V10	0.00 \pm 0.01	F

Tableau 13 : Les épillets fertiles

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V5	21.14 \pm 1.15	A
2	V6	20.21 \pm 1.48	A B
3	V2	19.91 \pm 1.03	A B
4	V18	19.70 \pm 1.61	A B
5	V13	19.01 \pm 1.72	B C
6	V9	18.48 \pm 1.66	B C D
7	V4	17.79 \pm 1.08	C D E
8	V8	17.59 \pm 0.44	C D E
9	V3	17.39 \pm 1.03	C D E
10	V1	17.30 \pm 0.64	C D E
11	V11	17.10 \pm 1.34	C D E
12	V16	16.95 \pm 0.87	D E
13	V14	16.93 \pm 1.34	D E
14	V12	16.89 \pm 0.73	D E
15	V17	16.44 \pm 1.05	D E
16	V15	16.39 \pm 1.15	D E
17	V10	16.34 \pm 0.58	D E
18	V7	16.08 \pm 1.16	E

Tableau 14 : Le nombre de grains/épi

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V15	60.79 \pm 7.63	A
2	V16	57.00 \pm 5.93	A B
3	V11	56.92 \pm 4.77	A B
4	V12	55.00 \pm 5.68	A B C
5	V13	54.31 \pm 7.83	A B C D
6	V14	51.10 \pm 6.33	B C D
7	V5	50.78 \pm 3.58	B C D
8	V17	49.60 \pm 5.78	B C D
9	V10	49.57 \pm 4.46	B C D
10	V4	49.08 \pm 3.92	B C D
11	V2	46.53 \pm 5.27	C D
12	V8	46.36 \pm 3.18	C D
13	V18	45.05 \pm 4.69	D
14	V1	43.91 \pm 2.42	D
15	V9	43.51 \pm 5.85	D
16	V3	43.35 \pm 3.24	D
17	V7	42.31 \pm 7.45	D
18	V6	41.29 \pm 3.98	D

Tableau 15 : Le poids de mille grains

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V3	38.86 \pm 3.68	A
2	V6	37.03 \pm 2.26	A B
3	V4	35.56 \pm 2.99	B C
4	V7	34.58 \pm 2.47	B C D
5	V1	34.49 \pm 1.97	B C D
6	V9	33.85 \pm 3.04	B C D
7	V13	32.41 \pm 1.65	C D E
8	V2	32.33 \pm 1.78	C D E
9	V14	32.09 \pm 1.13	C D E
10	V18	32.05 \pm 2.89	C D E
11	V8	31.74 \pm 2.26	C D E
12	V12	31.59 \pm 1.69	C D E
13	V17	30.71 \pm 2.95	D E
14	V16	29.45 \pm 1.35	E
15	V11	29.37 \pm 1.52	E
16	V5	29.19 \pm 2.04	E
17	V10	28.35 \pm 1.21	E
18	V15	24.78 \pm 1.82	F

Tableau 16 : Le rendement réel

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V3	30.04 \pm 3.56	A
2	V10	25.27 \pm 3.20	A B
3	V7	24.75 \pm 4.45	A B
4	V14	24.69 \pm 5.72	A B
5	V17	24.67 \pm 5.77	A B
6	V8	24.56 \pm 6.50	A B
7	V1	24.19 \pm 7.42	A B
8	V11	23.65 \pm 4.08	A B C
9	V4	23.29 \pm 6.06	A B C
10	V15	22.40 \pm 7.13	A B C
11	V16	22.17 \pm 3.09	A B C
12	V13	21.67 \pm 3.24	A B C
13	V12	19.44 \pm 3.37	B C
14	V5	19.42 \pm 4.85	B C
15	V18	18.27 \pm 5.25	B C
16	V9	17.81 \pm 6.74	B C
17	V2	16.27 \pm 3.16	B C
18	V6	14.75 \pm 3.09	C

Tableau 17 : Le rendement estimé

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V16	54.05 \pm 14.01	A
2	V11	53.46 \pm 10.73	A
3	V13	53.26 \pm 8.71	A
4	V3	52.69 \pm 7.51	A
5	V10	52.60 \pm 8.52	A
6	V14	51.83 \pm 5.97	A
7	V12	51.45 \pm 9.27	A
8	V4	50.40 \pm 11.49	A
9	V15	48.84 \pm 11.38	A
10	V17	48.84 \pm 8.35	A
11	V8	48.75 \pm 4.11	A
12	V1	47.41 \pm 9.08	A
13	V7	45.88 \pm 8.09	A
14	V9	43.44 \pm 9.88	A
15	V5	42.76 \pm 9.93	A
16	V18	40.05 \pm 5.12	A
17	V2	39.23 \pm 6.38	A
18	V6	38.02 \pm 10.69	A

Tableau 18 : L'échaudage

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V15	7.30 \pm 0.72	A
2	V10	6.76 \pm 1.23	A
3	V8	4.91 \pm 0.55	B
4	V11	4.50 \pm 0.51	B C
5	V16	4.17 \pm 0.47	B C D
6	V12	3.91 \pm 0.47	C D E
7	V5	3.59 \pm 0.64	D E F
8	V13	3.52 \pm 0.69	D E F G
9	V17	3.21 \pm 0.67	E F G H
10	V1	2.94 \pm 0.59	F G H I
11	V18	2.84 \pm 0.20	F G H I J
12	V4	2.74 \pm 0.24	F G H I J K
13	V7	2.63 \pm 0.90	G H I J K
14	V14	2.50 \pm 0.35	H I J K
15	V6	2.31 \pm 0.11	H I J K
16	V9	2.04 \pm 0.34	I J K
17	V3	1.94 \pm 0.37	J K
18	V2	1.84 \pm 0.11	K

Tableau 19 : L'indice de brun

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V1	9.79 \pm 0.25	A
2	V6	9.57 \pm 0.18	A B
3	V10	9.38 \pm 0.25	B C
4	V7	9.36 \pm 0.28	B C
5	V2	9.25 \pm 0.50	B C
6	V16	9.25 \pm 0.42	B C
7	V8	9.16 \pm 0.30	C D
8	V4	9.10 \pm 0.34	C D E
9	V15	9.08 \pm 0.59	C D E
10	V11	9.05 \pm 0.71	C D E
11	V5	8.98 \pm 0.27	C D E
12	V17	8.83 \pm 0.37	D E F
13	V3	8.80 \pm 0.27	D E F
14	V12	8.75 \pm 0.42	E F
15	V18	8.61 \pm 0.51	F G
16	V13	8.39 \pm 0.31	G
17	V14	7.96 \pm 0.44	H
18	V9	7.70 \pm 0.39	I

Tableau 20 : L'indice de jaune

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V15	23.79 \pm 0.39	A
2	V10	23.56 \pm 0.48	A
3	V8	22.56 \pm 0.32	B
4	V14	22.46 \pm 0.40	B
5	V17	21.99 \pm 0.40	C
6	V5	21.59 \pm 0.37	D
7	V6	21.59 \pm 0.30	D
8	V16	21.13 \pm 0.29	E
9	V7	21.04 \pm 0.24	E
10	V13	20.88 \pm 0.25	E
11	V11	20.15 \pm 0.39	F
12	V2	20.08 \pm 0.43	F
13	V18	19.94 \pm 0.39	F
14	V1	19.60 \pm 0.25	G
15	V12	19.46 \pm 0.49	G
16	V4	18.33 \pm 0.29	H
17	V9	18.08 \pm 0.62	H
18	V3	17.31 \pm 0.26	I

Tableau 21 : Le gluten humide

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V10	42.23 \pm 0.57	A
2	V14	41.63 \pm 0.50	A B
3	V15	40.92 \pm 1.85	A B C
4	V16	40.35 \pm 0.93	A B C D
5	V18	40.31 \pm 0.33	A B C D
6	V12	40.24 \pm 0.29	A B C D
7	V13	39.03 \pm 1.07	A B C D E
8	V1	38.67 \pm 1.53	B C D E
9	V17	38.64 \pm 1.71	B C D E
10	V11	38.44 \pm 0.85	B C D E
11	V6	37.80 \pm 0.99	C D E
12	V4	37.05 \pm 0.64	D E F
13	V3	36.96 \pm 0.38	D E F
14	V2	35.90 \pm 3.14	E F
15	V7	34.39 \pm 0.70	F G
16	V9	33.06 \pm 1.19	G H
17	V8	32.57 \pm 0.45	G H
18	V5	31.45 \pm 1.07	H

Tableau 22 : Le gluten sec

N°	Traitement	Génotypes \pm écart type	Groupes homogènes
1	V10	13.56 \pm 0.25	A
2	V14	12.97 \pm 0.04	A B
3	V16	12.71 \pm 0.87	B
4	V18	12.48 \pm 0.14	B C
5	V13	12.41 \pm 0.12	B C
6	V12	12.34 \pm 0.09	B C
7	V3	12.26 \pm 0.57	B C
8	V15	12.23 \pm 0.23	B C
9	V6	11.93 \pm 0.28	B C D
10	V1	11.88 \pm 0.61	B C D
11	V17	11.83 \pm 0.37	B C D
12	V11	11.46 \pm 0.19	C D E
13	V4	11.37 \pm 0.16	C D E
14	V7	11.06 \pm 0.16	D E
15	V2	11.00 \pm 0.19	D E
16	V8	10.51 \pm 0.33	E F
17	V5	10.15 \pm 0.52	F
18	V9	9.77 \pm 0.64	F

Tableau 1 : Nombre de plantes par mètre carré

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V15	285.50±38.49	A	0.0004	31.33	16.8%
2	E1 V17	256.75±16.11	A B			
3	E1 V18	254.50±24.95	A B			
4	E1 V5	245.63±31.30	A B C			
5	E1 V9	233.13±4.91	A B C D			
6	E1 V12	232.13±12.48	A B C D			
7	E1 V3	226.13±34.21	A B C D E			
8	E1 V10	225.63±47.47	A B C D E			
9	E2 V10	200.50±25.21	B C D E			
10	E2 V15	195.00±15.34	B C D E			
11	E2 V16	194.00±55.46	B C D E			
12	E1 V11	193.88±56.31	B C D E			
13	E1 V14	191.25±39.13	B C D E			
14	E1 V8	189.88±10.75	B C D E			
15	E1 V7	188.75±38.77	B C D E			
16	E2 V18	184.75±31.29	B C D E			
17	E2 V17	182.00±24.24	B C D E			
18	E1 V2	174.88±33.41	C D E			
19	E2 V12	172.50±9.71	C D E			
20	E2 V9	170.25±31.72	C D E			
21	E2 V2	168.75±13.73	C D E			
22	E1 V13	167.38±26.27	C D E			
23	E1 V1	165.38±14.43	C D E			
24	E2 V6	163.25±27.10	D E			
25	E2 V13	162.50±37.06	D E			
26	E2 V1	159.75±26.49	D E			
27	E1 V4	158.00±50.41	D E			
28	E1 V6	157.13±45.16	D E			
29	E2 V4	156.50±11.90	D E			
30	E2 V11	155.75±29.36	D E			
31	E2 V14	153.50±20.43	D E			
32	E2 V7	152.75±13.54	D E			
33	E2 V5	152.00±45.72	D E			
34	E2 V8	150.75±25.61	D E			
35	E1 V16	150.50±13.01	D E			
36	E2 V3	144.50±18.79	E			

Tableau 2 : La hauteur de la tige

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V6	105.55±3.33	A	0.0003	3.66	5.2%
2	E2 V6	87.78±6.97	B			
3	E1 V9	80.25±3.08	C			
4	E1 V3	78.00±4.69	C D			
5	E1 V1	76.70±0.52	C D E			
6	E1 V16	74.40±1.98	C D E F			
7	E1 V18	73.32±2.73	C D E F G			
8	E1 V8	73.15±3.36	C D E F G			
9	E1 V12	72.65±5.27	C D E F G H			
10	E2 V3	72.43±3.63	C D E F G H			
11	E2 V10	72.25±1.76	C D E F G H I			
12	E1 V7	72.18±3.59	C D E F G H I			
13	E1 V10	72.13±2.86	C D E F G H I			
14	E1 V14	71.93±5.81	C D E F G H I			
15	E1 V17	71.85±2.37	C D E F G H I			
16	E2 V16	70.88±5.67	D E F G H I			
17	E1 V5	69.93±2.59	D E F G H I			
18	E1 V4	69.78±5.77	D E F G H I			
19	E2 V1	69.40±1.05	D E F G H I			
20	E2 V9	69.35±4.52	D E F G H I			
21	E2 V8	68.88±3.03	D E F G H I			
22	E2 V17	68.70±2.87	D E F G H I			
23	E1 V13	68.43±2.18	E F G H I			
24	E2 V12	68.05±2.27	E F G H I J			
25	E2 V14	67.78±1.09	E F G H I J			
26	E1 V2	66.72±5.14	F G H I J			
27	E2 V4	66.33±1.82	F G H I J			
28	E2 V7	66.20±2.51	F G H I J			
29	E1 V15	65.70±2.90	F G H I J			
30	E1 V11	65.05±2.93	F G H I J			
31	E2 V18	64.58±2.90	G H I J			
32	E2 V13	63.83±2.94	G H I J			
33	E2 V11	63.33±2.60	H I J			
34	E2 V15	62.63±4.75	I J			
35	E2 V5	59.40±2.56	J			
36	E2 V2	53.38±4.53	K			

Tableau 3 : La longueur du dernier entre noeud

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E2 V6	87.78±6.19	A	0.0000	2.72	5.3%
2	E2 V3	72.45±4.39	B			
3	E2 V10	72.20±1.61	B			
4	E2 V16	70.88±5.18	B			
5	E2 V1	69.40±1.04	B C			
6	E2 V9	69.13±3.80	B C			
7	E2 V8	68.88±3.99	B C			
8	E2 V17	68.70±2.67	B C D			
9	E2 V12	68.05±1.64	B C D			
10	E2 V14	67.78±2.03	B C D			
11	E2 V4	66.33±1.72	B C D			
12	E2 V7	66.20±2.50	B C D			
13	E2 V18	64.58±2.17	C D E			
14	E2 V11	64.08±2.27	C D E			
15	E2 V13	63.83±2.73	C D E			
16	E2 V15	62.63±3.83	D E			
17	E2 V5	59.40±2.35	E			
18	E2 V2	53.40±3.61	F			
19	E1 V6	37.65±2.72	G			
20	E1 V9	37.00±1.89	G			
21	E1 V17	36.78±2.37	G H			
22	E1 V16	36.67±1.46	G H			
23	E1 V10	36.52±1.49	G H			
24	E1 V8	36.27±2.06	G H			
25	E1 V14	35.95±2.17	G H			
26	E1 V12	35.70±1.01	G H I			
27	E1 V7	35.53±0.65	G H I			
28	E1 V3	35.30±1.92	G H I			
29	E1 V15	35.20±0.91	G H I			
30	E1 V1	34.97±2.70	G H I			
31	E1 V13	34.40±2.33	G H I			
32	E1 V11	34.18±2.41	G H I			
33	E1 V18	33.60±2.17	G H I			
34	E1 V4	32.65±1.78	G H I			
35	E1 V2	30.20±1.66	H I			
36	E1 V5	29.50±1.28	I			

Tableau 4 : La longueur de l'épi

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V18	9.01±0.83	A	0.0498	0.63	9.0%
2	E1 V2	8.23±0.67	A B			
3	E1 V5	8.14±0.23	A B C			
4	E1 V6	8.03±0.59	A B C D			
5	E1 V9	7.75±0.46	B C D E			
6	E1 V13	7.69±0.49	B C D E F			
7	E1 V3	7.55±0.50	B C D E F G			
8	E1 V8	7.51±0.25	B C D E F G			
9	E1 V14	7.36±0.44	B C D E F G			
10	E2 V2	7.36±2.23	B C D E F G			
11	E1 V11	7.20±0.52	B C D E F G			
12	E1 V1	7.19±0.45	B C D E F G			
13	E2 V13	7.05±0.82	B C D E F G			
14	E1 V4	7.01±0.36	B C D E F G			
15	E2 V14	6.97±0.67	B C D E F G			
16	E1 V12	6.96±0.55	B C D E F G			
17	E1 V17	6.90±0.37	B C D E F G			
18	E2 V11	6.85±0.31	B C D E F G			
19	E2 V18	6.83±0.40	B C D E F G			
20	E1 V16	6.76±0.33	B C D E F G			
21	E1 V7	6.74±0.34	B C D E F G			
22	E1 V10	6.72±0.22	B C D E F G			
23	E2 V3	6.71±0.44	B C D E F G			
24	E2 V16	6.63±0.33	B C D E F G			
25	E2 V8	6.62±0.13	B C D E F G			
26	E2 V5	6.59±0.56	B C D E F G			
27	E2 V17	6.49±0.22	C D E F G			
28	E2 V4	6.46±0.35	C D E F G			
29	E1 V15	6.44±0.70	D E F G			
30	E2 V1	6.35±0.52	D E F G			
31	E2 V12	6.32±0.09	E F G			
32	E2 V9	6.05±0.94	F G			
33	E2 V7	6.02±0.73	F G			
34	E2 V6	6.01±0.53	F G			
35	E2 V15	5.90±0.43	G			
36	E2 V10	5.85±0.45	G			

Tableau 5 : La longueur du col de l'épi

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V16	17.35±1.58	A	0.0000	1.53	13.7%
2	E1 V17	16.38±1.28	A B			
3	E1 V10	16.29±1.16	A B			
4	E1 V9	16.01±0.90	A B			
5	E1 V12	15.90±1.04	A B			
6	E1 V8	15.60±0.54	A B			
7	E1 V7	15.51±1.02	A B			
8	E1 V1	14.55±1.72	A B C			
9	E1 V3	14.45±1.18	A B C			
10	E1 V14	14.43±1.47	A B C			
11	E1 V13	13.79±1.20	B C D			
12	E1 V15	13.31±0.67	B C D E			
13	E1 V4	13.24±1.40	B C D E			
14	E1 V11	13.13±1.27	B C D E			
15	E2 V10	11.41±0.53	C D E F			
16	E1 V18	11.38±2.54	C D E F			
17	E2 V6	10.56±2.18	D E F G			
18	E2 V9	10.31±2.12	E F G H			
19	E1 V6	10.31±1.44	E F G H			
20	E1 V5	10.15±1.16	E F G H			
21	E2 V8	10.00±1.53	E F G H			
22	E2 V14	9.48±1.17	F G H			
23	E2 V16	9.18±2.98	F G H I			
24	E2 V3	9.13±1.07	F G H I			
25	E2 V12	8.82±1.63	F G H I			
26	E1 V2	8.47±1.87	F G H I			
27	E2 V4	8.43±1.24	F G H I			
28	E2 V7	8.21±1.01	F G H I			
29	E2 V17	8.10±1.83	F G H I			
30	E2 V1	7.89±2.18	F G H I			
31	E2 V15	7.36±1.30	G H I			
32	E2 V18	7.04±0.97	G H I			
33	E2 V13	7.00±2.17	G H I			
34	E2 V5	6.90±1.59	G H I			
35	E2 V11	6.65±0.47	H I			
36	E2 V2	5.56±0.83	I			

Tableau 6 : Le nombre d'épillets total

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V6	24.77±1.63	A	0.0000	1.16	6.3%
2	E1 V5	24.10±0.73	A			
3	E1 V2	23.15±1.18	A B			
4	E1 V18	22.95±1.89	A B			
5	E1 V9	21.30±1.00	B C			
6	E2 V6	19.33±1.21	C D			
7	E2 V13	19.28±2.24	C D			
8	E2 V4	19.20±1.09	C D			
9	E2 V5	19.15±1.42	C D			
10	E1 V13	18.98±0.93	C D			
11	E1 V1	18.53±0.85	D E			
12	E1 V3	18.43±1.11	D E			
13	E2 V18	18.05±0.58	D E			
14	E2 V3	17.88±0.98	D E			
15	E1 V8	17.82±0.49	D E			
16	E2 V14	17.72±1.47	D E			
17	E2 V11	17.70±1.54	D E			
18	E1 V4	17.70±0.73	D E			
19	E2 V2	17.65±0.66	D E			
20	E2 V9	17.63±1.98	D E			
21	E2 V8	17.48±0.44	D E			
22	E2 V1	17.43±0.31	D E			
23	E1 V10	17.10±0.30	D E			
24	E1 V11	17.08±1.51	D E			
25	E1 V7	17.08±0.62	D E			
26	E1 V16	17.05±1.21	D E			
27	E2 V16	16.02±0.71	D E			
28	E2 V12	16.88±0.53	D E			
29	E1 V12	16.88±0.95	D E			
30	E1 V17	16.78±1.34	D E			
31	E1 V14	16.77±0.78	D E			
32	E2 V15	16.75±1.19	D E			
33	E2 V7	16.72±1.30	D E			
34	E2 V17	16.43±0.72	D E			
35	E1 V15	16.30±1.31	D E			
36	E2 V10	15.70±0.92	E			

Tableau 7 : Le nombre d'épillets stériles

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E2 V6	2.65±0.68	A	0.0000	0.28	57.9%
2	E2 V9	1.38±0.24	A			
3	E2 V7	1.30±0.42	A			
4	E2 V18	1.20±0.59	A			
5	E2 V4	1.17±0.38	B			
6	E2 V3	1.13±0.05	B C			
7	E1 V6	1.13±0.38	B C			
8	E2 V1	0.97±0.24	B C D			
9	E2 V2	0.90±0.28	B C D			
10	E2 V5	0.70±0.21	B C D			
11	E2 V14	0.65±0.46	B C D			
12	E2 V11	0.55±0.53	B C D			
13	E1 V18	0.43±0.36	C D			
14	E1 V9	0.42±0.43	C D			
15	E1 V1	0.38±0.27	C D			
16	E1 V3	0.30±0.09	C D			
17	E2 V17	0.30±0.11	C D			
18	E1 V7	0.30±0.28	C D			
19	E1 V5	0.28±0.20	C D			
20	E2 V15	0.25±0.14	C D			
21	E2 V13	0.23±0.22	C D			
22	E2 V8	0.20±0.18	C D			
23	E2 V16	0.18±0.14	C D			
24	E1 V4	0.13±0.18	C D			
25	E1 V17	0.08±0.14	C D			
26	E1 V2	0.08±0.15	C D			
27	E1 V15	0.05±0.10	C D			
28	E1 V16	0.05±0.11	C D			
29	E1 V11	0.03±0.05	C D			
30	E1 V12	0.03±0.05	C D			
31	E2 V12	0.03±0.05	C D			
32	E2 V10	0.00±0.02	C D			
33	E1 V13	0.00±0.02	C D			
34	E1 V14	0.00±0.02	C D			
35	E1 V8	0.00±0.02	C D			
36	E1 V10	0.00±0.02	D			

Tableau 8 : Le nombre d'épillets fertiles

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E1 V5	23.83±0.77	A	0.0000	1.63	9.1%
2	E1 V6	23.75±1.63	A			
3	E1 V2	23.08±1.34	A			
4	E1 V18	22.55±2.22	A			
5	E1 V9	20.70±1.38	B			
6	E2 V13	19.05±2.46	B C			
7	E1 V13	18.98±0.94	B C			
8	E2 V5	18.45±1.59	B C D			
9	E1 V1	18.15±0.88	B C D			
10	E1 V3	18.13±1.19	B C D			
11	E2 V4	18.02±1.43	B C D			
12	E1 V8	17.95±0.58	B C D			
13	E1 V4	17.55±0.82	C D			
14	E2 V8	17.23±0.34	C D			
15	E2 V11	17.15±1.40	C D			
16	E2 V14	17.08±1.88	C D			
17	E1 V11	17.05±1.51	C D			
18	E1 V16	17.05±1.09	C D			
19	E1 V10	17.03±0.31	C D			
20	E2 V12	16.93±0.51	C D			
21	E1 V 12	16.85±1.00	C D			
22	E2 V 16	16.85±0.75	C D			
23	E2 V18	16.85±1.03	C D			
24	E1 V14	16.77±0.80	C D			
25	E1 V7	16.75±0.58	C D			
26	E2 V2	16.75±0.81	C D			
27	E1 V17	16.70±1.42	C D			
28	E2 V6	16.67±1.57	C D			
29	E2 V3	16.65±1.03	C D			
30	E2 V15	16.50±1.12	C D			
31	E2 V1	16.45±0.45	C D			
32	E1 V15	16.27±1.36	C D			
33	E2 V9	16.25±2.14	C D			
34	E2 V17	16.18 ±0.73	C D			
35	E2 V10	15.65±0.83	C D			
36	E2 V7	15.40±1.70	D			

Tableau 9 : L'échaudage

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	E2 V15	8.41±1.03	A	0.0000	0.63	17.9%
2	E2 V10	7.47±0.93	B			
3	E2 V8	6.96±0.29	B C			
4	E1 V15	6.20±0.40	C D			
5	E1 V10	6.05±1.63	C D			
6	E2 V11	5.90±0.62	C D			
7	E2 V16	5.36±0.27	D E			
8	E2 V13	4.39±0.84	E F			
9	E2 V1	4.34±0.85	E F G			
10	E2 V12	4.16±0.62	F G H			
11	E2 V4	3.95±0.34	F G H I			
12	E2 V17	3.92±0.69	F G H I			
13	E1 V5	3.74±0.87	F G H I J			
14	E1 V12	3.66±0.37	F G H I J			
15	E2 V7	3.59±1.36	F G H I J			
16	E2 V5	3.45±0.45	F G H I J			
17	E1 V11	3.11±0.48	F G H I J K			
18	E2 V3	3.09±0.49	F G H I J K			
19	E1 V6	3.05±0.15	F G H I J K			
20	E1 V16	2.98±0.66	F G H I J K			
21	E2 V18	2.90±0.27	F G H I J K			
22	E1 V8	2.87±0.29	F G H I J K			
23	E2 V14	2.86±0.35	F G H I J K			
24	E1 V18	2.79±0.15	G H I J K			
25	E1 V13	2.64±0.84	H I J K			
26	E2 V9	2.52±0.29	I J K			
27	E1 V17	2.51±0.75	I J K			
28	E2 V2	2.17±0.14	J K L			
29	E1 V14	2.15±0.41	J K L			
30	E1 V7	1.67±0.18	K L			
31	E2 V6	1.57±0.06	K L			
32	E1 V9	1.56±0.44	K L			
33	E1 V1	1.54±0.32	K L			
34	E1 V4	1.53±0.15	K L			
35	E1 V2	1.52±0.09	K L			
36	E1 V3	0.79±0.27	L			

Tableau 10 : L'indice de brun

N°	Traitement	Moyenne ± écart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV %
1	V1 E1	10.13±0.24	A	0.000	0.41	4.6%
2	V2 E1	9.76±0.69	AB			
3	V16 E2	9.76±0.41	AB			
4	V6 E2	9.62±0.19	BC			
5	V10 E2	9.59±0.27	BCD			
6	V6 E1	9.52±0.17	BCD			
7	V7 E1	9.46±0.19	BCDE			
8	V1 E2	9.46±0.27	BCDE			
9	V5 E1	9.38±0.30	BCDEF			
10	V4 E1	9.38±0.18	BCDEF			
11	V8 E1	9.38±0.29	BCDEF			
12	V11 E2	9.29±0.23	BCDEFG			
13	V3 E1	9.27±0.13	BCDEFGH			
14	V7 E2	9.27±0.36	BCDEFGH			
15	V10 E1	9.18±0.25	BCDEFGHI			
16	V15 E1	9.09±0.79	CDEFGHIJ			
17	V15 E2	9.06±0.32	CDEFGHIJ			
18	V17 E2	9.00±0.30	CDEFGHIJ			
19	V12 E2	8.98±0.36	CDEFGHIJ			
20	V8 E2	8.95±0.34	DEFGHIJ			
21	V4 E2	8.83±0.46	EFGHIJK			
22	V11 E1	8.81±1.01	FGHIJK			
23	V2 E2	8.74±0.69	FGHIJK			
24	V16 E1	8.74±0.46	FGHIJK			
25	V13 E2	8.67±0.29	GHIJKL			
26	V18 E1	8.66±0.53	GHIJKL			
27	V17 E1	8.65±0.45	HIJKL			
28	V5 E2	8.58±0.30	IJKL			
29	V18 E2	8.56±0.52	IJKL			
30	V12 E1	8.51±0.48	JKL			
31	V3 E2	8.33±0.37	KLM			
32	V13 E1	8.10±0.34	LM			
33	V14 E2	8.01±0.38	M			
34	V9 E1	7.93±0.47	M			
35	V14 E1	7.92±0.51	M			
36	V9 E2	7.47±0.31	N			

Tableau 11 : L'indice de jaune

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	V15 E2	24.31±0.37	A	0.0000	0.39	1.9%
2	V10 E2	24.29±0.40	A			
3	V15 E1	23.27±0.43	B			
4	V8 E2	23.33±0.35	B			
5	V10 E1	22.84±0.57	C			
6	V14 E2	22.81±0.44	C			
7	V6 E2	22.76±0.37	C			
8	V17 E1	22.45±0.35	C D			
9	V13 E2	22.14±0.24	D E			
10	V14 E1	22.10±0.37	D E			
11	V16 E2	22.04±0.27	D E			
12	V8 E1	21.90±0.31	E F			
13	V5 E2	21.70±0.43	E F			
14	V17 E2	21.54±0.46	F G			
15	V5 E1	21.48±0.32	F G			
16	V7 E1	21.21±0.28	G H			
17	V11 E2	20.94±0.36	H			
18	V7 E2	20.87±0.21	H			
19	V6 E1	20.42±0.22	I			
20	V2 E2	20.34±0.49	I			
21	V12 E2	20.26±0.57	I J			
22	V16 E1	20.21±0.32	I J			
23	V18 E2	20.20±0.39	I J			
24	V1 E2	20.12±0.24	I J			
25	V2 E1	19.82±0.39	J K			
26	V18 E1	19.68±0.41	K L			
27	V13 E1	19.62±0.27	K L			
28	V11 E1	19.36±0.45	L M			
29	V4 E2	19.32±0.29	L M			
30	V1 E1	19.09±0.28	M			
31	V3 E2	18.67±0.16	N			
32	V12 E1	18.67±0.44	N			
33	V9 E2	18.10±0.53	O			
34	V9 E1	18.07±0.73	O			
35	V4 E1	17.33±0.30	P			
36	V3 E1	15.95±0.34	Q			

Tableau 12 : Le pourcentage du gluten humide

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	V10 E2	45.21±0.82	A	0.0000	1.50	4.0%
2	V12 E2	44.99±0.40	A			
3	V16 E2	44.78±1.49	A			
4	V14 E2	44.47±0.84	A B			
5	V15 E2	43.50±3.17	A B C			
6	V13 E2	42.54±1.75	A B C D			
7	V6 E2	42.14±0.98	A B C D			
8	V11 E2	41.75±1.44	A B C D E			
9	V2 E2	41.68±0.48	A B C D E			
10	V17 E2	41.24±2.68	A B C D E F			
11	V18 E1	40.64±0.26	A B C D E F G			
12	V4 E2	40.32±0.04	A B C D E F G			
13	V1 E2	40.11±2.54	A B C D E F G			
14	V18 E2	39.98±0.26	A B C D E F G			
15	V10 E1	39.25±0.54	B C D E F G H			
16	V14 E1	38.78±0.22	C D E F G H I			
17	V15 E1	38.35±0.44	C D E F G H I			
18	V9 E2	37.87±1.70	D E F G H I			
19	V3 E2	37.55±0.64	D E F G H I			
20	V5 E2	37.49±1.40	D E F G H I			
21	V7 E2	37.36±0.82	D E F G H I			
22	V1 E1	37.24±2.54	D E F G H I			
23	V3 E1	36.37±0.64	E F G H I J			
24	V17 E1	36.04±1.27	F G H I J			
25	V16 E1	35.92±0.60	F G H I J			
26	V8 E2	35.82±0.26	F G H I J			
27	V13 E1	35.53±0.61	G H I J			
28	V12 E1	35.50±0.32	G H I J			
29	V11 E1	35.13 ±0.30	G H I J			
30	V4 E1	33.78±1.11	H I J K			
31	V6 E1	33.46±1.40	I J K			
32	V7 E1	31.41±0.89	J K L			
33	V2 E1	30.12±5.42	K L			
34	V8 E1	29.32±0.74	L			
35	V9 E1	28.25±1.16	L M			
36	V5 E1	25.41±1.22	M			

Tableau 13 : Le pourcentage du gluten sec

N°	Traitement	Moyenne ± Ecart type	Groupes homogènes	Prob	ET résiduel	CV%
1	V16 E2	14.50±1.51	A	0.0000	0.48	4.1%
2	V14 E2	14.29±0.06	A B			
3	V12 E2	14.17±0.02	A B			
4	V10 E2	13.64±0.14	A B C			
5	V13 E2	13.60±0.07	A B C			
6	V10 E1	13.48±0.42	A B C D			
7	V15 E2	13.21±0.40	A B C D E			
8	V17 E2	12.84±0.54	B C D E F			
9	V18 E2	12.83±0.23	B C D E F			
10	V3 E1	12.79±0.91	B C D E F			
11	V2 E2	12.77±0.26	B C D E F			
12	V6 E2	12.74±0.01	B C D E F			
13	V11 E2	12.37±0.31	C D E F G			
14	V1 E2	12.25±1.00	C D E F G H			
15	V18 E1	12.13±0.08	C D E F G H			
16	V4 E2	12.05±0.14	C D E F G H			
17	V5 E2	11.84±0.52	D E F G H			
18	V3 E2	11.73±0.41	E F G H			
19	V14 E1	11.65±0.05	E F G H			
20	V7 E2	11.64±0.01	E F G H			
21	V8 E2	11.60±0.52	E F G H			
22	V1 E1	11.51±0.33	E F G H			
23	V15 E1	11.25±0.09	F G H			
24	V13 E1	11.23±0.20	F G H			
25	V6 E1	11.11±0.49	F G H			
26	V9 E2	11.08±0.51	F G H			
27	V16 E1	10.91±0.06	G H I			
28	V17 E1	10.83±0.34	G H I			
29	V4 E1	10.68±0.25	G H I			
30	V11 E1	10.55±0.08	H I J			
31	V12 E1	10.51±0.16	H I J			
32	V7 E1	10.48±0.28	H I J			
33	V8 E1	9.43±0.25	I J K			
34	V2 E1	9.23±0.21	J K			
35	V5 E1	8.45±0.74	K			
36	V9 E1	8.45±0.98	K			

Annexe D les moyennes des géotypes n'ayant pas de signification pour le facteur G x E

Tableau 1 : Les moyennes des variétés pour les paramètres non significatifs du facteur interaction géotype x environnement

	Ntalles	NEPI	TR	EPIAI	LBAR	NGR	PMG	RDTR	RDTE
V1 E1	603,13	298,75	49,48	101,75	13,74	53,33	40,98	22,29	65,44
V2 E1	690,63	230,00	66,63	103,25	12,08	59,58	35,91	10,63	48,37
V3 E1	568,13	301,25	46,59	100,00	13,78	50,93	44,71	31,25	68,15
V4 E1	520,63	273,13	45,10	102,25	12,61	57,88	40,62	23,33	65,34
V5 E1	658,13	285,00	56,71	102,75	12,16	63,88	32,39	17,29	58,67
V6 E1	583,75	204,38	64,45	108,25	12,24	52,53	41,05	8,33	44,39
V7 E1	577,50	311,25	44,53	102,75	12,95	53,38	40,66	27,50	66,41
V8 E1	650,63	296,88	53,60	101,75	13,05	55,53	38,23	24,58	62,75
V9 E1	791,25	264,38	66,40	106,25	11,76	53,95	38,20	13,96	53,96
V10 E1	713,75	354,38	49,80	100,00	11,01	64,88	32,95	23,13	76,09
V11 E1	691,88	291,88	57,15	102,75	12,40	67,30	33,99	21,25	67,34
V12 E1	575,63	266,25	53,65	101,75	11,43	70,40	36,17	18,54	68,05
V13 E1	572,50	292,50	48,58	102,50	12,75	64,68	38,57	18,96	72,86
V14 E1	573,75	291,88	48,72	101,25	11,90	63,13	37,18	26,25	68,59
V15 E1	673,13	322,50	51,82	101,50	11,15	72,82	28,31	18,33	58,44
V16 E1	630,00	320,00	47,37	102,25	12,09	67,78	33,65	17,08	73,80
V17 E1	615,63	311,88	48,77	101,75	11,19	62,38	35,42	22,71	68,44
V18 E1	607,50	263,75	56,53	101,50	11,75	57,05	37,86	16,04	56,25
V1 E2	645,75	310,21	52,43	144,25	11,30	34,50	28,00	26,08	29,39
V2 E2	663,00	309,79	53,13	148,00	10,28	33,98	28,75	21,92	30,08
V3 E2	533,00	315,63	39,05	143,75	11,29	35,78	33,00	28,83	37,23
V4 E2	538,00	287,29	45,67	145,50	10,01	40,28	30,50	23,25	35,47
V5 E2	613,00	273,13	54,83	145,25	10,66	37,68	26,00	21,54	26,84
V6 E2	654,75	305,63	53,42	151,00	10,86	30,05	33,00	21,17	31,65
V7 E2	624,50	284,58	53,90	143,25	11,40	31,25	28,50	22,00	25,34
V8 E2	613,75	372,92	38,83	143,00	10,23	37,20	25,25	24,54	34,76
V9 E2	732,25	336,04	53,81	146,00	9,94	33,08	29,50	21,67	32,93
V10 E2	734,00	354,38	51,63	145,25	10,26	34,28	23,75	27,42	29,10
V11 E2	703,50	335,42	52,09	145,25	9,51	46,55	24,75	26,04	39,58
V12 E2	600,50	318,54	47,07	144,25	9,23	39,60	27,00	20,33	34,85
V13 E2	584,00	295,00	49,37	145,75	10,69	43,95	26,25	24,38	33,65
V14 E2	538,00	333,96	37,78	145,25	10,01	39,08	27,00	23,13	35,08
V15 E2	618,75	378,33	38,67	146,75	9,50	48,78	21,25	26,46	39,24
V16 E2	582,75	292,92	48,81	145,25	10,58	46,25	25,25	27,25	34,29
V17 E2	646,50	310,83	51,41	144,50	9,80	36,83	26,00	26,63	29,23
V18 E2	545,00	276,67	48,10	144,75	9,44	33,05	26,25	20,50	23,84

Annexe D les moyennes des géotypes n'ayant pas de signification pour le facteur G x E

Tableau 2 : TAUX D'EXTRACTION ET DE MITADINAGE

	TAUX D'EXTRACTION	MITADINAGE
V1 E1	51,58	0,42
V2 E1	48,62	3,50
V3 E1	49,02	6,25
V4 E1	50,36	9,58
V5 E1	53,02	22,33
V6 E1	51,70	4,25
V7 E1	50,94	9,08
V8 E1	50,78	7,50
V9 E1	55,10	23,75
V10 E1	51,14	4,25
V11 E1	55,02	6,83
V12 E1	52,10	6,67
V13 E1	57,00	4,25
V14 E1	58,26	8,67
V15 E1	53,64	3,17
V16 E1	52,68	6,08
V17 E1	68,22	3,67
V18 E1	56,28	3,50
V1 E2	41,30	0,92
V2 E2	41,80	0,75
V3 E2	41,40	0,50
V4 E2	38,70	0,42
V5 E2	44,61	0,33
V6 E2	48,41	0,25
V7 E2	43,44	0,83
V8 E2	40,07	1,08
V9 E2	46,85	2,92
V10 E2	49,20	1,50
V11 E2	49,14	0,25
V12 E2	46,95	0,25
V13 E2	43,31	0,17
V14 E2	50,06	1,58
V15 E2	40,55	0,83
V16 E2	45,59	1,50
V17 E2	47,58	1,17
V18 E2	50,07	0,92