

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**

**Faculté des sciences de la nature et de la vie**

Département des biotechnologies

## **THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES**

Spécialité : Amélioration des Productions Végétales

### **ANALYSE DE L'ADAPTATION DU BLE DUR (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) A DIFFERENTES ZONES AGRO CLIMATIQUES**

Par

**Abderrezzak KIROUANI**

Devant le jury composé de :

A. GUENDOZ-BENRIMA	PR. UNIVERSITE BLIDA-1	PRESIDENT
H. BOUZERZOUR	PR. UNIVERSITE DE SETIF-1	PROMOTEUR
A. BENBELKACEM	D.R. INRAA CONSTANTINE	EXAMINATEUR
D. KEBOUR	MCA. UNIVERSITE BLIDA-1	EXAMINATEUR
M. BENMOUSSA	PR. UNIVERSITE BLIDA-1	EXAMINATEUR
Z. LAÏADI	MCA. UNIVERSITE BISKRA	EXAMINATEUR

Blida, Juin 2019

## REMERCIEMENTS

Louanges à « ALLAH » le tout puissant et le miséricordieux qui a orienté mes sens vers les bons choix et les bons réflexes afin que ce modeste travail aboutisse à sa bonne fin.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration avec l'institut technique des grandes cultures (ITGC), le Laboratoire de caractérisation et valorisation des ressources naturelles à la Faculté SNV de Bordj Bou Arreridj, le Laboratoire de Biologie Moléculaire, à l'Unité de Biotechnologie (ICARDA-CRRA à Rabat, Maroc) sous la direction de Pr. Hamenna BOUZERZOUR.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Hamenna BOUZERZOUR. Professeur de l'enseignement supérieur (PES) à la Faculté SNV, Université de Ferhat Abbas, Sétif-1 pour sa bienveillance et son aide à l'élaboration et le suivi de ce projet malgré ses nombreuses occupations, je le remercie infiniment pour ses corrections, pour sa patience et pour ses qualités d'un homme de science et de pédagogie mais aussi des qualités humaines qui m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance. Veuillez bien trouver ici l'expression profonde de mon estime.

Mes vifs remerciements vont à Mme GUENDOZ-BENRIMA Atika professeur à l'université de Blida-1 qui m'a fait l'honneur de présider le jury, à Mme Djamilia KEBOUR, Docteur à l'université de Blida-1 et à Messieurs ; Mebrouk BENMOUSSA, Professeur à l'université de Blida-1, Benbelkacem Abdelkader, Directeur de recherche à l'INRAA Constantine, et Laïadi ZIANE, Docteur à l'université de Biskra d'avoir pris sur leur temps pour lire, examiner et juger ce modeste travail.

Je tiens également à remercier sincèrement et profondément toute l'équipe de l'ITGC de Oued Smar : M<sup>r</sup> Bouhouchine, M<sup>me</sup> Bouchata et M<sup>r</sup> Kirouani.H, toutes l'équipe de l'ITGC de Sétif : M<sup>r</sup> Sersoub, les ingénieurs Ameer et Haroun, toute l'équipe de l'ITGC de Khemis Miliana : M<sup>r</sup> Chadouli et M<sup>r</sup> Kellas, de m'avoir accueilli et mis à ma disposition les moyens nécessaires et indispensables pour mener à bon terme mes essais pendant trois années consécutives.

I am heartily thankful to Dr. Sripada UDUPA, Biotechnologist / Geneticist, ICARDA (Rabat), for his encouragement, advice and support, which allowed me to realize part of my thesis. I would also like to express to him my sincere gratitude for his openness, his endless help and his presence when I need his help.

Je remercie INRA-Maroc, ICARDA, FAO/ITPGRFA, l'Union Européenne, CRP-Blé et le Programme de subventions en collaboration avec ICARDA-Maroc pour leur soutien et leur support financière.

J'exprimer mes vives reconnaissances à mes chers parents qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leurs encouragements et qui ont toujours aimé me voir réussir.

Spécial remerciement à ma chère femme pour son aide à la réalisation de ce modeste travail, son encouragement et son soutien moral permanent.

Je n'oublie pas de remercier mes chers frères, sœurs qui ont été une bonne compagnie tout au long de mes études.

Enfin mes remerciements vont aussi à de nombreuses personnes, notamment mon collègue et ami Oueld-Kiar avec les étudiants de Master que nous avons encadré et qui m'ont beaucoup aidé dans le bon déroulement de mon expérimentation.

## RESUME

Les essais de plein champ ont été menés selon un dispositif expérimental en blocs complètement randomisés à quatre répétitions. Plusieurs paramètres agromorphologiques, physiologiques et biochimiques ont été évalués par environnement. Les résultats de l'analyse de la variance combinée (Génotype, Environnement et GxE) montrent la prépondérance de l'effet environnement sur l'effet génotype et l'interaction GxE pour l'ensemble des variables étudiées. L'effet génotypique fait apparaître deux sous-ensembles de variétés. Le premier sous ensemble est constitué des variétés précoces et demi-naines qui sont GTA dur, Simeto, Amar<sub>06</sub>, Vitron, Ofanto, Cirta, Megress, Boussalem, Mexicali, Waha et Chen's. Le second sous ensemble est formé des variétés tardives à paille haute qui sont Bidi<sub>17</sub>, Hedba<sub>03</sub> et MBB. Ces deux groupes diffèrent essentiellement pour le rendement en grains, le nombre de grains par épi, le nombre d'épi par m<sup>2</sup>, le nombre de grains par m<sup>2</sup>, qui sont à l'avantage du premier sous ensemble. La présence de l'interaction GxE significative suggère l'instabilité des performances. L'analyse des coefficients de corrélations entre paires de caractères indique que la sélection indirecte pour le rendement en grains via le nombre de grains par m<sup>2</sup> pourrait s'avérer efficace. Les coefficients de corrélations entre paires d'environnements des variables étudiées, confirment la présence de l'interaction GxE et suggèrent que le choix des meilleures variétés doit se faire en fonction de l'adaptation spécifique. Ainsi Ofanto se comporte nettement mieux dans les conditions écologiques de Sétif alors que GTA dur et Simeto sont nettement plus performantes dans les environnements représentés par les deux sites Oued Smar et Khemis Miliana ensemble. La caractérisation des 14 variétés étudiées par les 13 marqueurs moléculaires de type SSR indique la présence d'un taux de polymorphisme élevé, et un nombre total de 39 allèles. Sur la base de la distance génétique entre variétés, le regroupement des 14 variétés laisse apparaître un effet de l'origine génétique et géographique. En fait, Les sélections parmi les variétés locales étaient plus similaires les unes aux autres alors que le matériel végétal en provenance de Cimmyt-Icarda fait un groupe à part.

**Mots-clés:** Blé dur, analyse de la variance combinée, performance, stabilité, Marqueurs SSR, Caractérisation.

## ABSTRACT

Field trials were arranged in randomized complete block design with four replications. Several agro-morpho-physiological and biochemical parameters were evaluated per environment. The results of the combined (genotype, environment and the G x E interaction) analysis of variance indicated the preponderance of environment effect over genotype and GxE interaction effects for most traits analyzed. Genotype effect exhibited two clusters of varieties. The first one was formed by early heading and semi-dwarf genotypes which are GTA dur, Simeto, Amar<sub>06</sub>, Vitron, Ofanto, Cirta, Megress, Boussalem, Mexicali, Waha and Chen's. The second cluster grouped late heading and tall varieties which are Bidi<sub>17</sub>, Hedba<sub>03</sub> and MBB. Both clusters diverged mainly for grain yield, number of grains per spike, number of spikes, and the number of grains per square meter, which were at the advantage of the first cited cluster. The genotypic effects could appear two subsets of varieties consisting of early genotypes with average height: GTA dur, Simeto, Amar<sub>06</sub>, Vitron, Offanto, Cirta, Megress, Boussalem, Mexicali, Waha and Chen's for the first group and other late genotypes with long straw: bidi<sub>17</sub>, hedba<sub>03</sub> and MBB for the second group. These two groups differ essentially for the grain yield, the number of grains per spike, the number of spikes per m<sup>2</sup>, the number of grains per m<sup>2</sup>, which are to the advantage of the first group. The G x E interaction makes the selection of the best genotypes difficult due to the instability of the performances. The inter-character correlation coefficients suggest that the indirect selection of grain yield via the number of grains per m<sup>2</sup> would be effective. The inter-environment correlation coefficients of the variables studied propose that the best varieties should be chosen according to the specific adaptation. Indeed, the ecological conditions of Setif offer better possibilities of producing the Ofanto variety whereas the two cultivars GTA dur and Simeto prove to be the most efficient in terms of grain yield at both Oued Smar and Khemis Miliana sites together. A complementary study on the characterization of genetic material by microsatellites was carried out, the results of this study indicated the presence of a high polymorphism rate with the use of 13 SSRs, the total number of alleles is 39. On the basis of the genetic distance between cultivars. A cluster analysis showed that the varieties studied were grouped according to their original population, suggesting an effect of provenance in their ordination. In fact, the selections among the local breeds were more similar to each other and differed from the CIMMYT-ICARDA material, showing an agro-ecological adaptation.

**Key-words:** Durum wheat, combined analysis of variance, performance, stability, SSR markers, Characterization.

## ملخص

أجريت التجارب الميدانية باستخدام تصميم تجريبي من نوع BAC بأربعة تكرارات. تم تقييم العديد من العوامل المرفولوجية، الفيزيولوجية والبيوكيميائية في كل بيئة. تظهر نتائج تحليل التباين المشترك (النمط الوراثي ، البيئة و GxE) ترجيح تأثير البيئة على تأثير النمط الوراثي والتفاعل GxE لجميع المتغيرات التي تمت دراستها. تأثير النمط الوراثي يكشف عن مجموعتين فرعيتين من الأصناف. وتتألف المجموعة الفرعية الأولى من الأصناف المبكرة والنصف قزمية المتكونة من GTA dur, Simeto, Amar<sub>06</sub>, Vitron Ofanto, Cirta, Megress, Boussalem, Mexicali, Waha و et Chen's. تتكون المجموعة الفرعية الثانية من أصناف متأخرة وطويلة والمتمثلة في Bidi<sub>17</sub> و Hedba<sub>03</sub> و MBB. تختلف هاتان المجموعتان بشكل أساسي في الإنتاج الحبي، عدد الحبات في كل سنبل، عدد السنابل في المتر المربع، وعدد الحبات في المتر المربع، والتي هي لصالح المجموعة الفرعية الأولى. يدل وجود التفاعل GxE المعتمد على عدم استقرار الفعاليات. يشير تحليل معاملات الارتباط بين الأزواج من الصفات إلى أن الانتخاب غير المباشر للإنتاج الحبي عبر عدد الحبات في المتر المربع قد يكون فعالاً. معاملات الارتباط بين الأزواج من البيئات للمتغيرات المدروسة، تؤكد وجود تفاعل GxE و تقترح اختيار أفضل الأصناف وفقاً للتأقلم الخاص. وهكذا تتصرف Ofanto بشكل أفضل بكثير في الظروف البيئية لـ Sétif، في حين أن GTA dur و Simeto أكثر كفاءة في البيئات التي يمثلها الموقعين Oued Smar و Khemis Miliana معاً.

يشير توصيف الأصناف الأربعة عشر المدروسة بواسطة 13 مؤشر جزيئي من نوع SSR إلى وجود نسبة عالية من التنوع الجيني، وعدد إجمالي للأليلات والمقدر بـ 39 أليلاً. يكشف أن توزع 14 صنف ناتج عن تأثير المنشأ الجيني والجغرافي. حيث كانت الاختيارات بين الأصناف المحلية أكثر شبيهاً ببعضها، بينما كانت المادة النباتية المستنبطة من Cimmyt-Icarda عبارة عن مجموعة منفصلة.

**كلمات البحث:** القمح الصلب، تحليل التباين المشترك، الفعالية، الاستقرار، مؤشرات SSR، توصيف.

## TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION	14
CHAPITRE 1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	17
1.1. La culture du blé dur	17
1.1.1. Origine et localisation de la culture du blé dur	16
1.1.2. Surfaces et productions mondiales et Algériennes de blé dur	19
1.1.3. Échange	23
1.2. Contraintes de la production du blé dur	24
1.2.1. Contraintes climatiques	24
1.3. Mécanismes de tolérance des stress	26
1.3.1. Mécanismes morphologiques	26
1.3.2. Mécanismes physiologiques	27
1.3.3. Mécanismes moléculaires	28
1.4. Sélection du blé dur	30
1.4.1. Sélection pour la performance	30
1.4.2. Sélection pour l'adaptation au milieu	33
1.4.3. Sélection pour la tolérance des stress abiotiques	34
CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODES	37
2.1. Etude de comportement variétal	37
2.1.1. Sites expérimentaux et matériel végétal	37
2.1.2. Mise en place des essais	37
2.1.3. Entretien des essais	39
2.1.4. Mesures et notations	41
2.1.5. Analyse des données	44
2.2. Analyse de la diversité génétique	45
2.2.1. Extraction de l'ADN	45
2.2.2. Test de qualité de l'ADN génomique	47

2.2.3. Amplification d'ADN par PCR	47
2.2.4. Electrophorèse sur gel d'acrylamide natif à 6%	49
2.2.5. Marqueurs SSR utilisés	50
2.2.6. Analyse des données	50
CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION	53
3.1. Comportement variétal	53
3.1.1. Variation de la pluie et de la température des sites expérimentaux	53
3.1.2. Variation des performances	56
3.2. Relations inter-caractères, intra et inter environnements	103
3.2.1. Relation intra environnement	103
3.2.2. Relation inter environnements	108
3.3. Typologie variétale	111
3.4. Etude de la diversité génétique.	116
3.4.1. Polymorphisme des marqueurs microsatellites	116
3.4.2. Relations génétiques entre les variétés	124
CONCLUSION	123
ANNEXES	
REFERENCES	

## LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1.1 : Productions mondiale de blé dur (MT) des campagnes agricoles 2013-2014 et 2014-2015	21
Tableau 1.2 : Les importations (MT) Algériennes de blé dur durant les sept dernières années	23
Tableau 2.1 : Appellation, parentage et obtenteur des variétés de blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf.) testées	40
Tableau 2.2 : Composition du mélange réactionnel pour l'amplification de l'ADN génomique par PCR	49
Tableau 2.3 : Nom du locus, la localisation chromosomique et la séquence d'amorces des 13 marqueurs SSR utilisés	51
Tableau 3.1 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées	57
Tableau 3.2 : Effet moyen environnement des variables mesurées	58
Tableau 3.3 : Effet moyen variété des variables mesurées	59
Tableau 3.4 : Classement des variétés selon le degré de précocité estimé par la durée de la phase végétative : classement de 1 à 5 = précoce, 6 à 10 demi précoce, >10 tardif	62
Tableau 3.5 : Moyennes des rendements par environnement, coefficient de variation Cv et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés	65
Tableau 3.6 : Moyennes du nombre d'épi par m <sup>2</sup> par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés	69
Tableau 3.7 : Moyennes du nombre de grains par épi par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés	72
Tableau 3.8 : Moyennes du PMG par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés	76
Tableau 3.9 : Moyennes du nombre de grains par m <sup>2</sup> par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés	79

Tableau 3.10 : Classement des variétés selon la hauteur de végétation.	84
Tableau 3.11 : Moyennes de la longueur d'épi par environnement, des différentes variétés.	88
Tableau 3.12 : Moyennes de la longueur des barbes par environnement, des différentes variétés.	90
Tableau 3.13 : Moyennes de la chlorophylle « a » par environnement des différentes variétés.	92
Tableau 3.14 : Moyennes de la chlorophylle « b » par environnement des différentes variétés.	94
Tableau 3.15 : Moyennes de la chlorophylle « ab » par environnement des différentes variétés.	96
Tableau 3.16 : Moyennes du taux de sucres solubles par environnement des différentes variétés.	99
Tableau 3.17 : Moyennes de la teneur en eau par environnement des différentes variétés.	102
Tableau 3.18 : Coefficients de corrélations phénotypiques entre les différentes variables mesurées des différents environnements.	105
Tableau 3.19 : Coefficients de corrélations de rangs inter environnements par caractère.	110
Tableau 3.20 : Caractéristiques des trois clusters issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif.	111
Tableau 3.21 : Caractéristiques des trois clusters issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements des sites Oued Smar et Khemis Miliana.	116
Tableau 3.22 : Nombre d'allèles et diversité génétique de quatorze génotypes de blé dur utilisant 13 marqueurs.	119

Figure 1.1 : Les espèces de <i>Triticum</i> et <i>Aegilops</i> impliquées dans l'évolution des blés modernes.	18
Figure 1.2 : Evolution des espèces de blés.	19
Figure 1.3 : Superficies emblavées en blé dur des principaux pays producteurs (moyenne de 2000/2012).	20
Figure 1.4 : Superficies Algériennes emblavées en céréales.	22
Figure 1.5 : Evolution de la production et de la consommation du blé en Algérie.	22
Figure 1.6 : Evolution des superficies ( $\times 10^6$ ha), production ( $\times 10^6$ t) et rendement (t/ha) de blé dur en Algérie au cours de la période 200/01 à 2011/2012.	23
Figure 1.7 : Pays fournisseurs de blé dur à destination de l'Algérie.	24
Figure 2.1 : Dispositif expérimental utilisé pour l'ensemble Des environnements testés	38
Figure 2.2 : Evolution de la végétation au cours du cycle sur les différents sites.	39
Figure 2.3 : Le courbe étalon du dosage des sucres totaux.	44
Figure 2.4 : Principales étapes de l'extraction de l'ADN.	46
Figure 2.5 : Test de qualité d'ADN sur gel d'agarose.	48
Figure 2.6 : Migration des produits PCR sur gel d'acrylamide natif 6%.	50
Figure 3.1 : Le cumul pluviométrique enregistré sur les environnements dans les sites expérimentaux.	53
Figure 3.2 : Variation de la température et de la pluviométrie mensuelles durant les campagnes d'études.	55
Figure 3.3 : Variation de la durée de la phase végétative en fonction des variétés et les environnements.	60
Figure 3.4 : Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la durée de la phase végétative.	63
Figure 3.5 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre d'épi/m <sup>2</sup> sur la base du coefficient de variation.	66

Figure 3.6 : Gains de rendements en grains, relativement à la moyenne des trois témoins standards : Bousselam, Waha et MBB, générés par la sélection de GTA dur et Simeto pour l'ensemble des environnements testés.	67
Figure 3.7 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre d'épi/m <sup>2</sup> sur la base du coefficient de variation	70
Figure 3.8 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre de grains par épi sur la base du coefficient de variation.	74
Figure 3.9 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le poids de mille grains sur la base du coefficient de variation.	78
Figure 3.10 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre de grains par m <sup>2</sup> sur la base du coefficient de variation.	81
Figure 3.11 : Variation de la hauteur de végétation en fonction des variétés et les environnements.	83
Figure 3.12 : Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la hauteur de végétation	86
Figure 3.13 : Variation des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle a (CHL <sub>a</sub> ).	93
Figure 3.14 : Variation des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle b (CHL <sub>b</sub> ).	95
Figure 3.15 : Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle ab (CHL <sub>ab</sub> ).	97
Figure 3.16 : Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour le taux de sucres solubles.	101
Figure 3.17 : Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la teneur en eau.	103
Figure 3.18 : Classification hiérarchique des quatorze variétés étudiées sur la base des distances euclidiennes déduites des moyennes des variables mesurées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif.	112

Figure 3.19 : Différences relatives à la moyenne du G3 de deux groupes de génotypes issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif.	113
Figure 3.20 : Classification hiérarchique des quatorze variétés étudiées sur la base des distances euclidiennes déduites des moyennes des variables mesurées sur l'ensemble des environnements d'Oued Smar et Khemis Miliana.	114
Figure 3.21 : Différences relatives à la moyenne du G3 de deux groupes de génotypes issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements des sites d'Oued Smar et Khemis Miliana.	115
Figure 3.22 : Profils électrophorétiques sur gel d'acrylamide natif à 6% de certains marqueurs microsatellites parmi les 14 marqueurs utilisés chez le blé dur.	118
Figure 3.23 : Dendrogramme montrant la relation génétique entre 14 variétés de blé dur.	120
Figure 3.24 : Analyse des coordonnées principale PCoA, après une analyse de la diversité génétique dérivée de 13 loci microsatellites dans 14 variétés de blé dur.	122

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

AMMI	Additive Main Effect and Multiplicative Interaction
Anova	Analyse de la variance (Analysis of Variance)
CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement Center
CV	Coefficient de variation (Coefficient of variability)
DO	Densité Optique
dNTPs	désoxyribonucléotides tri-phosphate
E	Environnement
FDPS	Ferme de Démonstration et de production de semences
G	Génotype
GGE	Genotype main effect and genotype x environment interaction
GXE	Interaction Génotype-Environnements
F et R	Forward et Reverse
ha	hectare
ICARDA	International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas
ICE	
IGE	Interaction Génotype x Environnement
Indice S	Indice de stabilité (YSI, Yield Stability Index))
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
mM	milli Mole
MT	Millions de Tonne
ONFAA	
PCoA	Principal coordinates Analysis
PCR	Polymerase Chain Reaction
Pi	Indice de supériorité génotypique (Superiority index)
PSII	Photo Système II
SSR	Séquence unique répétée (Single Sequence Repeat)
Taq	Thermus aquaticus
Tr/mn	Tour par minute
USDA	United States Department of Agriculture

## INTRODUCTION

Le blé dur (*Triticum turgidum* L var. *durum*.  $2n = 4x = 28$ , AABB) occupe 10% des superficies mondiales réservées aux blés ([1];[2]). Il occupe 15 millions d'hectares avec une production de 31 millions de tonnes (<http://www.fas.usda.gov><sup>1</sup>). Il est principalement cultivé dans les pays de l'Europe du Sud, d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale [3]. L'Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie et Libye) est le plus grand marché d'importation de blé dur [4]. L'Algérie produit 2 millions de tonnes de blé dur et importe presque autant (1,7 million de tonnes, moyenne 2011-2015) pour répondre à une demande croissante [5]. La cause principale de la faiblesse de la production est le bas niveau des rendements atteint actuellement et qui, quoiqu'en augmentation depuis 1990, reste en deçà de ce qu'il devrait être, ne dépassant pas une moyenne de 1.5 t/ha [6].

Le blé dur est cultivé principalement sur les hauts plateaux caractérisés par de l'altitude, des hivers froids, de faibles précipitations et des températures élevées à la fin du cycle de culture, ce qui affecte sérieusement le rendement [7]. D'autres contraintes d'ordre techniques s'ajoutent et qui relèvent de l'application d'itinéraires techniques souvent peu ambitieux et de l'utilisation de variétés non adaptées [8]. En effet les nouvelles variétés adoptées sont sélectionnées sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables [9].

Les précipitations et la température sont imprévisibles dans les environnements méditerranéens, ce qui entraîne des conditions environnementales variables pour la croissance des cultures et une interaction génotype x environnement (GE) importante [10]. Les stress biotiques et abiotiques sont des facteurs qui déterminent principalement la rentabilité économique de la production végétale et sont responsables des interactions entre génotypes et environnements [11]. Ces interactions sont une source de préoccupation pour les sélectionneurs qui effectuent des essais de rendement des cultures dans divers environnements car elles réduisent le progrès de la

---

<sup>1</sup>[https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Exporter%20Guide\\_Algers\\_Algeria\\_12-15-2016.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Exporter%20Guide_Algers_Algeria_12-15-2016.pdf)

sélection, masquent les effets génotypiques, compliquant l'identification des meilleurs génotypes ([12]; [13]; [14]). L'interprétation de l'interaction est facilitée par l'utilisation de plusieurs méthodes statistiques, qui intègrent des modèles uni et multivariés. La régression conjointe est la plus populaire parmi les méthodes univariées en raison de sa simplicité de calcul et d'application [15]. Parmi les méthodes multivariées, figurent l'analyse des effets moyens additifs et de l'interaction multiplicative (AMMI) ([16]; [17]) et l'analyse des effets principaux du génotype (G) et de l'interaction GE (GGE) [18] et les indices de stabilité paramétrique et non paramétrique [19]. La partition des interactions génotype-environnement (GxE) reste un indicateur important de l'adaptation spécifique ou générale des génotypes testés [20].

Les ressources génétiques représentent un patrimoine qu'il est nécessaire de préserver et d'étudier afin de mieux l'exploiter. Dans cette optique, l'étude de la diversité et la caractérisation de ces ressources génétiques sont indispensables pour créer de nouvelles variétés adaptées aux variations climatiques et résistantes aux maladies, dotées d'un rendement élevé, et de meilleure qualité [21]. La variation ou diversité génétique est la base de l'amélioration des cultures. Elle est importante pour la sélection et le développement de nouveaux cultivars ([22]; [23]).

Différents ensembles de données sont utilisés sur blé pour estimer la diversité génétique des plantes cultivées, notamment les données généalogiques [24], les marqueurs biochimiques [25], les caractères agro-morphologiques [26]. De nombreux chercheurs ont utilisé des traits agronomiques pour estimer la diversité génétique ([27]; [28]; [29]; [30]; [31]; [32]; [33]; [34]; [35]). La caractérisation phénotypique des différentes ressources génétiques constituent une étape préliminaire et indispensable pour l'évaluation de l'état de la diversité génétique dans le temps. Elle est importante pour introduire les gènes recherchés à partir de matériel génétique diversifié dans le pool génétique existant [36]. Une plus grande diversité génétique, associée à un potentiel de rendement élevé des génotypes et des composantes de rendement utiles, peuvent être utilisées dans le développement variétal. Les traits morphologiques ont été utilisés efficacement pour l'estimation de la diversité génétique et du développement variétal.

Les marqueurs moléculaires ont révolutionné la capacité de caractériser la variabilité génétique. Ils permettent une meilleure caractérisation, une maintenance de la diversité génétique, une identification précise des gènes contrôlant les caractères importants aidant à prendre les décisions les plus adéquates dans les stratégies d'amélioration variétale [37]. ils jouent un rôle central dans l'évaluation variétale ; ils peuvent accélérer le processus et réduire la quantité de matériel végétal qui doit être criblé [38]. Des microsatellites ont été utilisés pour l'analyse de la diversité génétique et l'identification des variétés ([39]; [40]).

L'objectif de cette étude est double. Elle cible l'évaluation de la variabilité phénotypique et l'adaptation, sur la base des caractères agro-morpho-physiologiques et biochimiques, d'un matériel génétique constitué de variétés d'origine locale et de variétés introduites notamment des centres de recherche internationaux Cimmyt et Icarda. Elle vise aussi l'analyse de la diversité génétique de cet échantillon de variétés utilisant des marqueurs moléculaires de type SSR. La finalité est de sélectionner des génotypes performants à large et à adaptation spécifiques et d'identifier éventuellement des géniteurs ou groupes de géniteurs divergents qui, en croisements, pourraient engendrer des transgressions intéressantes.

## CHAPITRE 1

### REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 1.1. La culture du blé dur

##### 1.1.1. Origine et localisation de la culture du blé dur

Le Levant (Jordanie, Liban, Palestine et Syrie) est considéré comme le centre d'origine du blé dur [41]. Diverses études botaniques, génétiques et archéologiques, suggèrent que le creuset de la céréaliculture se situe dans une zone, plus limitée, du croissant fertile, en amont du Tigre et de l'Euphrate, sur les territoires actuels de la Syrie et de la Turquie [42]. De là, la culture du blé dur, dont la domestication a eu lieu, il y a 12 000 ans, s'est répandue dans tout le bassin méditerranéen [43]. Les blés sauvages tétraploïdes, dont entre autres *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes*, sont largement répandus au Proche-Orient, lieu où les humains ont commencé par les utiliser comme nourriture [43]. Comparativement aux blés diploïdes dont *Triticum monococcum*, et *Triticum boeoticum* L., leurs grands épis et leurs gros grains les rendaient beaucoup plus intéressants pour la production de graines [41].

Dans les premières formes cultivées du blé, les grains se détachaient facilement du rachis comme dans les formes sauvages. Ce caractère assurant la dissémination naturelle causait des pertes importantes. La première sélection du blé s'est faite par rapport à ce critère. Les plantes qui gardaient le plus de grains attachés au rachis étaient sélectionnées, aboutissant progressivement aux formes domestiquées actuelles. L'engrain *T. monococcum* ( $2n=2x=14$ , AmAm) et l'amidonnier *T. turgidum* spp. *Dicoccum* ( $2n=4x=28$ , BBAA) sont ainsi les premières espèces de blés domestiquées. Elles viennent respectivement de l'engrain sauvage *T. boeoticum* ( $2n=2x=14$ , AmAm) et de l'amidonnier sauvage (BBAA, Figure1.1).

Ces différentes espèces de blés ont été générées par des événements successifs de polyploïdisation intervenant après des croisements interspécifiques entre les trois espèces ancestrales diploïdes ([44]; [45]; [46]).



Figure 1.1 : Les espèces de *Triticum* et *Aegilops* impliquées dans l'évolution des blés modernes [47]

L'amidonner sauvage est une espèce de blé tétraploïde *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* ( $2n=28$ , AuAuBB) dérivée d'un événement d'allopolyploïdisation naturel qui s'est produit il y a 0.5 million d'années, entre un donneur diploïde *T. monococcum* ssp. *urartu* ( $2n=2x=14$ , AuAu) de génome A et une autre espèce inconnue de la section Sitopsis, de génome B ( $2n=14$ , BB) ([44]; [48]; [41]; [46]). D'après l'analyse moléculaire, le génome de *A. speltaoides* ( $2n=2x=14$ , SS) s'apparente plus au génome B du blé dur ([49]; [50]). En outre, l'analyse de l'ADN des chloroplastes montre que *A. speltaoides* est probablement le donneur maternel du génome B [51]. Le blé tétraploïde (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) a ensuite évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccon*, puis vers *T. durum* qui est le blé dur cultivé actuel ([52], Figure 1.2).

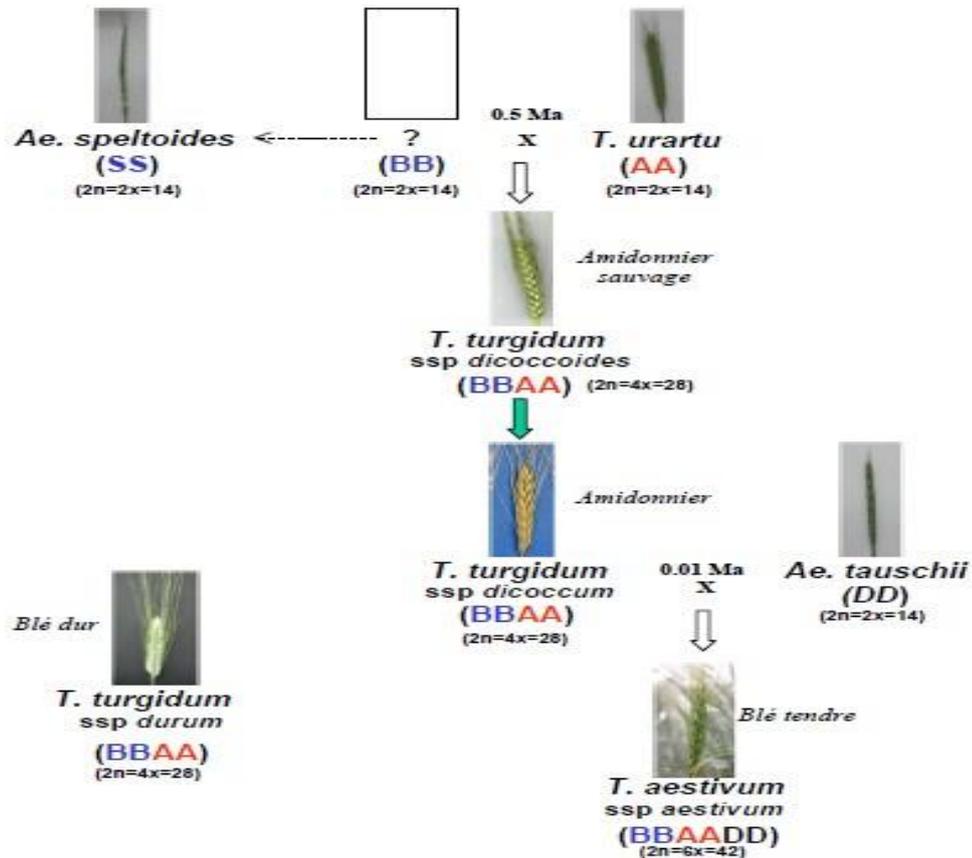


Figure 1.2 : Evolution des espèces de blés [46]

## 1.1.2. Surfaces et productions mondiales et Algériennes de blé dur

### 1.1.2.1. Mondiales

Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est cultivé dans les régions à climat de type méditerranéen tel que celui de l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Egypte), du sud de l'Europe (Espagne, France, Italie, Grèce), et celui du Moyen Orient (Turquie, Syrie, Palestine). En Amérique, le blé dur est cultivé dans les Dakotas et le Montana, aux USA, et dans le Saskatchewan, l'Alberta et au Canada. Le blé dur est aussi produit en Russie, au Kazakhstan et en Inde [53]. Le blé dur occupe 8 à 10% du total des terres réservées aux blés, dans le monde ([1]; [2]). Les superficies emblavées de la période 2000 à 2012, des principaux pays producteurs sont indiqués en figure 1.3 [54].

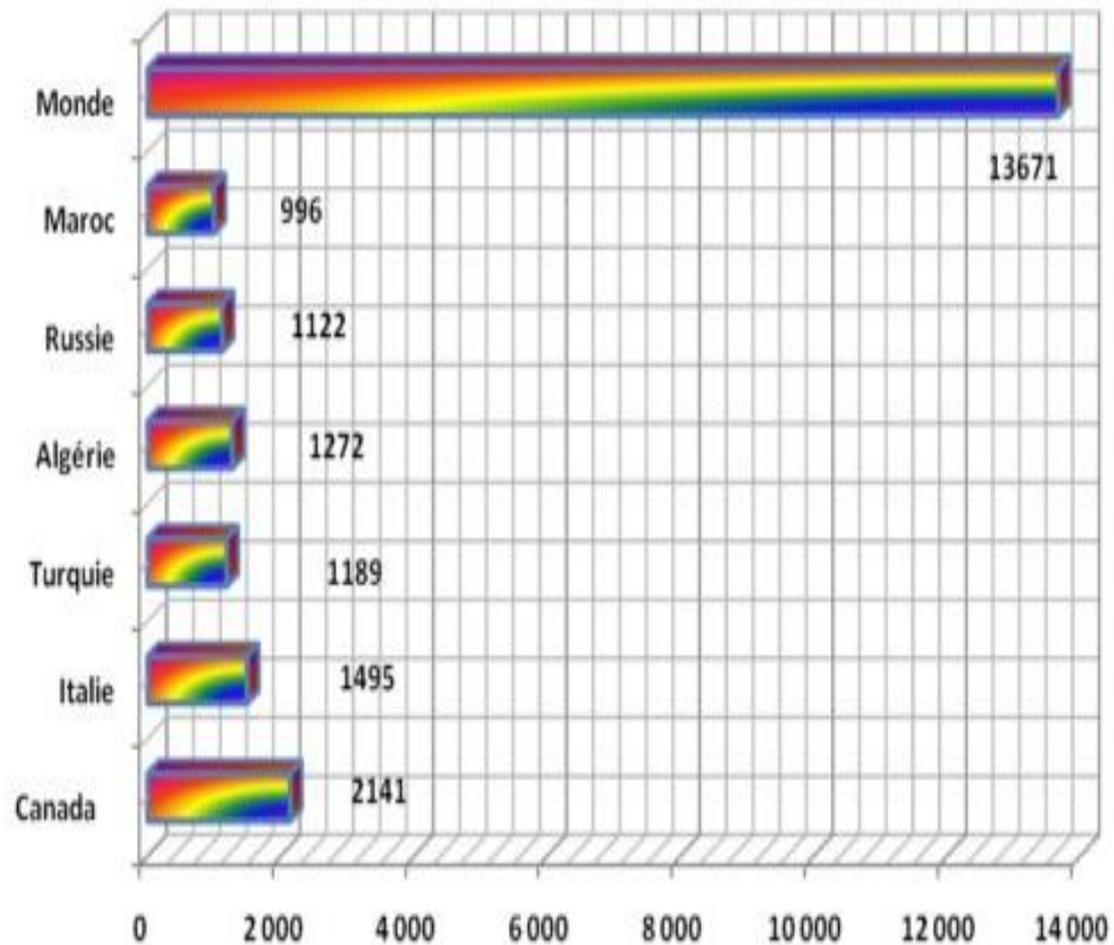


Figure 1.3 : Superficies emblavées en blé dur des principaux pays producteurs (moyenne de 2000/2012 x 1000 ha [54])

En termes de production, le blé dur prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge [55]. La production annuelle mondiale de blé dur est de 36.1 millions de tonnes [56]. Soit près de 5% de la production mondiale totale des blés. L'Union Européenne, principalement l'Italie et la France, arrive en tête avec une récolte annuelle moyenne de 7,5 millions de tonnes. Le Canada occupe le deuxième rang avec 4,8 millions de tonnes, suivi de l'Algérie (2,5 MT), la Turquie (2,4 MT), le Mexique (2,3 MT) et le Maroc (2,3 MT, Tableau 1.1)

Tableau 1.1 : Production mondiale de blé dur ( $\times 10^6$  t) des campagnes agricoles 2013/14 et 2014/15 [56].

Pays	2013/14	2014/15	Pays	2013/14	2014/15
Total mondial	32,6	36,1	Argentine	0,3	0,3
UE	7,1	7,5	Syrie	0,8	1,4
France	1,5	1,8	Turquie	2,1	2,4
Grèce	0,8	0,7	Inde	1,3	1,2
Italie	3,7	3,9	Algérie	1,3	2,5
Espagne	0,8	0,9	Libye	0,1	0,1
Kazakhstan	2	2,1	Maroc	1,4	2,3
Canada	5,2	4,8	Tunisie	1,3	1,3
Mexique	2,3	2,3	Australie	0,5	0,5
USA	1,4	2,1	Autres	5,7	5,5

### 1.1.2.2. Algériennes

En Algérie, le blé dur est cultivé dans trois régions principales : la zone littorale (600 mm), les plaines intérieures (450 à 600 mm) et le nord des hauts plateaux (350 à 450 mm). Il est conduit sous conditions pluviales subissant les effets des contraintes climatiques dont le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle sont les plus dominantes ([57]; [58]). La superficie emblavée en céréales au titre de la campagne 2016/2017 est de 3,5 millions d'hectares. Le blé dur occupe la part la plus importante, soit 1,6 millions d'hectares (45%, [59], Figure 1.4).

L'Algérie est un gros consommateur de blés au monde [60]. Avec une consommation céréalière par habitant qui a doublé au cours des 50 dernières années pour atteindre 285 kg par habitant et par an [61]. La production nationale de blé dur, qui a été 2.5 millions de tonnes en 2014/15 et de 1.3 millions de tonnes en 2013/14 [56], est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante. En effet la demande en blés a été multipliée par 5 depuis l'indépendance et le déficit chronique ne cesse de croître ([62], Figure 1.5).

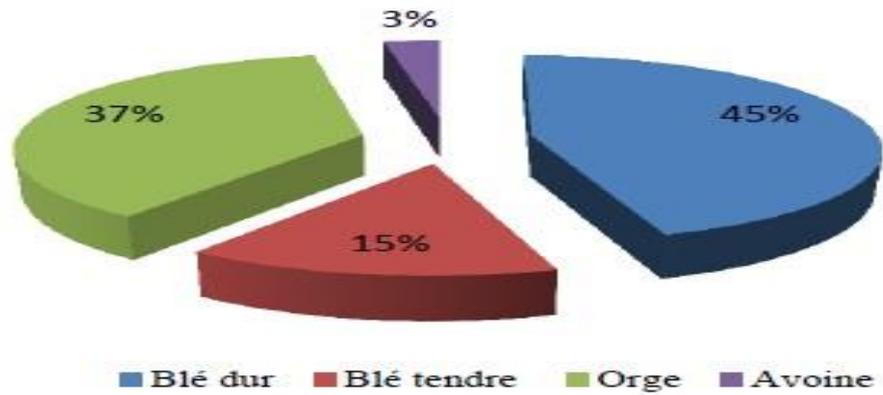


Figure 1.4 : Superficies Algériennes emblavées en céréales [59]

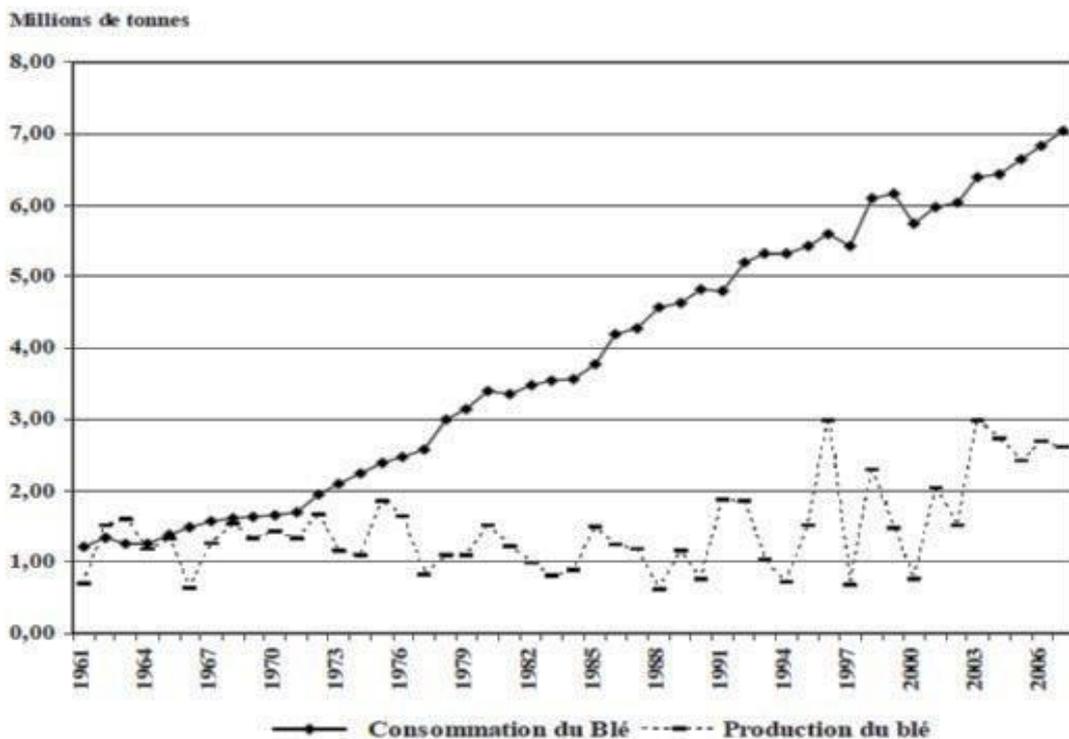


Figure 1.5 : Evolution de la production et de la consommation des blés en Algérie [62].

Examinées sur une période de douze campagnes agricoles, les superficies et productions déclarées de blé dur sont indiquées en figure 1.6 [6]. Bien que la sole, emblavée en blé dur, soit relativement importante, au regard des superficies réservées à la céréaliculture, les rendements restent faibles, oscillant entre 0.70 et 1.58 t/ha.

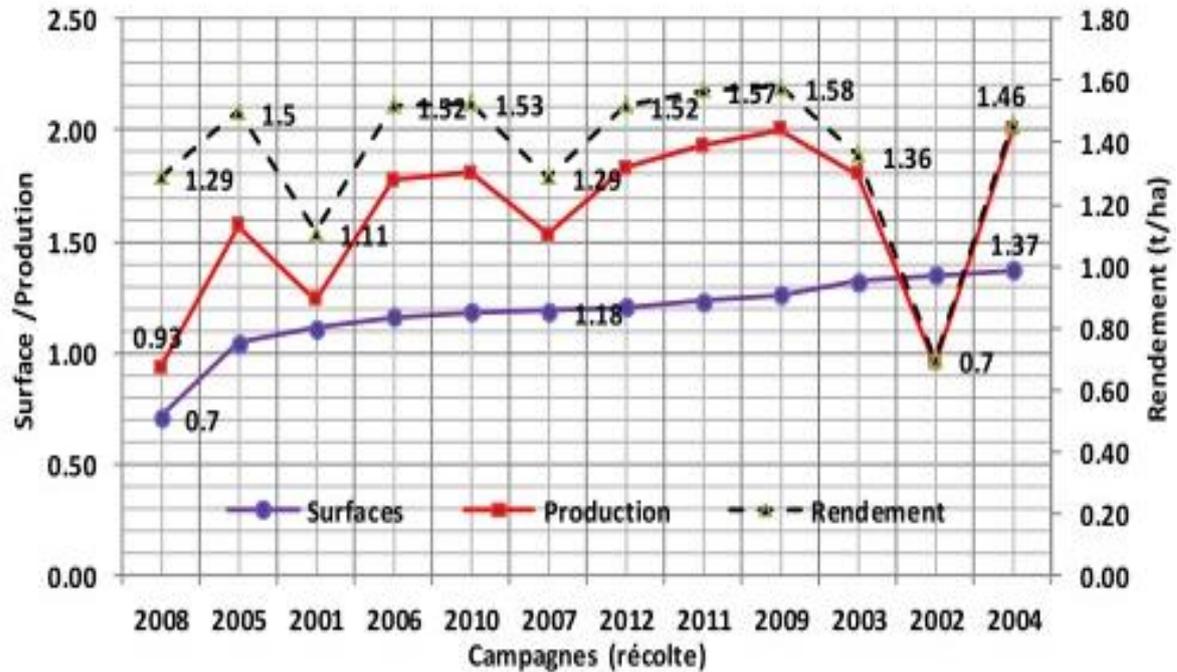


Figure 1.6 : Superficies (X 10<sup>6</sup> ha), production (X 10<sup>6</sup> t) et rendement (t/ha) du blé dur en Algérie de la période 2000/01 à 2011/12 [6].

### 1.1.3. Echanges

L'Algérie a importé en moyenne 7,05 millions de tonnes de blés par an, au cours des sept dernières années (2010 à 2016), dont 1,614 millions de tonnes de blé dur ([63], Tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Les importations (MT) Algériennes de blé dur durant les sept dernières années [64].

Année	Blé dur	Total blés
2016	1,796	8,226
2015	1,763	8,504
2014	1,978	7,416
2013	1,088	6,297
2012	1,580	6,269
2011	1,852	7,402
2010	1,246	5,232
Moyenne	1,614	7,049

Le principal fournisseur de l'Algérie est le Canada suivi par le Mexique, les Etats Unies et la France ([63], Figure 1.7).

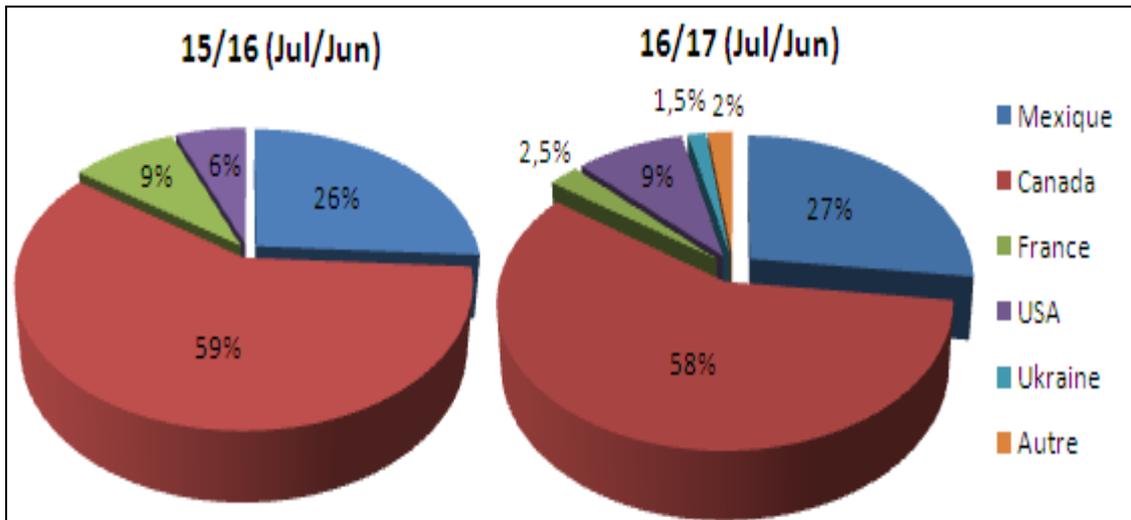


Figure 1.7 : Pays fournisseurs de blé dur à destination de l'Algérie [63]

## 1.2. Contraintes de la production du blé dur

### 1.2.1. Contraintes climatiques

#### 1.2.1.1. Le stress hydrique

Le stress hydrique, affecte la teneur relative en eau de la plante, qui diminue. Cette diminution est plus importante chez les plantes sensibles comparativement à ce qui est noté chez les plantes dites tolérantes [64]. plusieurs changements apparaissent chez les plantes soumise au stress hydrique, dont entre autres une réduction du potentiel hydrique et osmotique des feuilles [65], un changement de forme et d'orientation du feuillage [66], une réduction de la surface foliaire [68], une augmentation de la rigidité des parois cellulaires [68] et une diminution de la turgescence [69]. Au cours de la floraison, la sénescence des feuilles et la réduction de l'activité photosynthétique sont aussi signalées [70].

Sous déficit hydrique l'activité photosynthétique est affectée à la fois par des effets stomatiques et non stomatiques [71]. Le contrôle stomatique de la photosynthèse se fait par l'acide abscissique (ABA), qui est synthétisée au niveau des racines, et qui est un indicateur du stress hydrique. L'ABA est véhiculé vers les feuilles où se met en place le contrôle de l'ouverture des stomates. La régulation de l'ouverture des stomates, sous l'action de la concentration de l'ABA, affaiblit l'activité photosynthétique qui ne peut

fonctionner en absence d'eau ([72]; [73]). Le contrôle non stomatique à la réduction de l'activité photochimique du PSII est lié à la réduction de l'entrée du CO<sub>2</sub> dans les chambres sous stomatiques ([74]; [75]). Dans ce contexte les variétés Oued Znati et Waha présentent une faible réduction de la photosynthèse, qui semble avoir pour origine la fermeture partielle des stomates, avec maintien de l'activité photochimique [76]. La réduction de la conductance stomatique du CO<sub>2</sub> est aussi une cause de la réduction très importante de la photosynthèse nette. Ainsi selon Ykhlef et Djekoun [76] la réduction de la photosynthèse nette des variétés Kebir et Bidi<sub>17</sub> est liée à la fois à la fermeture des stomates et à la baisse considérable du fonctionnement des PSII. L'impact du stress hydrique sur les composantes du rendement est en fonction de la durée, de l'intensité du stress et du stade de développement de la plante au moment du stress ([77]; [78]; [79]). À la montaison, le déficit hydrique réduit le nombre d'épis par unité de surface. Au stade épiaison, il cause la stérilité des fleurs réduisant le nombre de grains par épi [80]. Au cours de la phase de remplissage du grain, le déficit hydrique réduit le poids de mille grains, causé par l'arrêt de la migration des assimilats produits par la feuille étendard vers le grain [81]. Il réduit aussi la durée de remplissage [82].

#### **1.2.1.2. Le stress thermique**

Les températures élevées accélèrent la croissance des plantes et raccourcissent les stades de développement [83]. Au-dessus de 30°C, elles diminuent le poids du grain en réduisant la durée de remplissage du grain ([84]; [85]). Au-delà de 32°C, des dommages irréversibles, sont observés, pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe touché ou de la plante [86]. Le rendement du blé est réduit de 0.2t/ha par jour, dès que la température dépasse les 34°C, pendant la période pré-anthèse [87]. Cette baisse est due à la réduction du poids du grain et du nombre de grains, suite à la sénescence rapide du feuillage ([86]; [88]). La réduction du nombre de grains produit par m<sup>2</sup> est due à la sensibilité du pollen aux températures élevées qui le stérilisent ([89]; [90]; [91]).

La photosynthèse est un processus très sensible au stress thermique, suite à la sensibilité de la membrane thylacoïdale ([92]; [93]). Les dommages causés au photosystème II induisent la perte de la chlorophylle ([92]; [94]).

La chaleur influe sur la qualité technologique du blé [95]. En effet, elle diminue le rapport gluténine/gliadine, réduit la taille des polymères de gluténines et affaiblit la pâte à cause de la sensibilité des enzymes à la chaleur ([96]; [97]; [98]). En effet les températures élevées affectent la formation des agrégats complexes des protéines responsables des propriétés rhéologiques de la pâte [99].

### **1.3. Mécanismes de tolérance des stress**

#### **1.3.1. Mécanismes morphologiques**

La résistance au stress thermique est étroitement liée à la structure de la feuille et au nombre et dimension des stomates ([84]; [85]). En effet l'adaptation peut prendre différentes formes pour améliorer l'absorption de l'eau, et/ou diminuer la transpiration. D'après Rawson et al. [100], la réduction de la surface foliaire est une réponse de la plante à la sécheresse. Les céréales diminuent le nombre de talles, pour ajuster la consommation en eau aux disponibilités du milieu. Certaines variétés enroulent le limbe foliaire, pour éviter la déshydratation ([101]; [102]; [103]). L'enroulement foliaire est un indicateur de perte de turgescence, il réduit la transpiration, induisant la résistance aux températures élevées et au déficit hydrique de fin de cycle ([104]; [105]; [106]).

Les plantes adaptées aux zones arides développent un long système racinaire pour extraire l'humidité stockée en profondeur du sol. La croissance racinaire en conditions sèches peut être maintenue par l'ajustement osmotique qui limite la baisse du potentiel de turgescence [107]. Une paille haute peut stocker une grande quantité de réserves glucidiques qui au cours de la phase de remplissage, sont remobilisées vers le grain pour un remplissage adéquat sous déficit hydrique ([108]; [109]). Les barbes, augmentent l'efficacité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la formation du grain après la sénescence de la feuille étendard ([110]; [109]). La glaucescence est un caractère qui réduit la transpiration cuticulaire sous stress hydrique, qui retarde la sénescence foliaire, favorisant le stay green et la minimisation de la réduction du rendement ([111]; [112]; [113]; [114]).

### **1.3.2. Mécanismes physiologiques**

L'ajustement osmotique permet la résistance ou la tolérance de la plante sous contrainte [115]. Il est considéré comme un mécanisme important d'adaptation à la contrainte hydrique, puisqu'il maintient la turgescence et la croissance ([116]; [117]; [118]; [119]; [120]; [121]). Il assure la protection des membranes et des systèmes enzymatiques des jeunes organes [122]. L'ajustement osmotique réduit le potentiel osmotique par l'accumulation des solutés dans les cellules sous stress salin ou hydrique. Il s'exprime à tous les stades de développement [119]. Les solutés accumulés ou osmolytes appartiennent à diverses familles biochimiques comme les acides aminés (proline, bêtaïne, arginine, etc.), les acides organiques, les sels minéraux ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ) et les sucres solubles ([123]; [124]). Ces dernières contribuent à eux seuls pour près de 95% à l'ajustement osmotique chez le blé dur soumis à un régime hydrique limitant [125]. Les composés organiques ou solutés compatibles sont hautement solubles et qui ne sont pas nocifs pour la cellule à de fortes concentrations, ils jouent le rôle d'osmoprotecteurs [126], contrairement aux ions inorganiques qui influent négativement sur les processus métaboliques, en changeant les propriétés fonctionnelles des enzymes [127].

Un faible potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse diminue la turgescence au niveau de la plante [128]. Pour maintenir un statut hydrique favorable au développement foliaire, la plante doit développer des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau [129]. Ces mécanismes sont liés à la capacité de la plante à extraire l'eau des profondeurs du sol et à limiter les pertes d'eau par transpiration [130]. La régulation hydrique de la plante se fait par le contrôle de l'ouverture stomatique et/ou par l'ajustement du potentiel osmotique [131]. En effet le contrôle de l'ouverture des stomates est un puissant mécanisme d'adaptation au déficit hydrique ([132]; [133]; [71]). L'inconvénient de ce mécanisme est la diminution de la conductance à la diffusion du  $CO_2$  ralentissant l'activité des chloroplastes ([134]; [135]). Cependant une faible conductance stomatique de la vapeur d'eau est considérée comme un caractère favorable à l'adaptation à la sécheresse [136]. Une densité stomatique élevée chez le blé pourrait donner plus de flexibilité à la plante pour ajuster l'ouverture des stomates en fonction des conditions

environnementales locales et assurer l'absorption continue de l'eau et son utilisation dans des conditions favorables [137]. Dakheel et al [138] notent que le maintien d'une basse température foliaire est indicatrice de la capacité de la plante à maintenir un potentiel hydrique foliaire élevé et/ou à extraire l'eau en profondeur du sol [139].

### **1.3.3. Mécanismes moléculaires**

Deux approches sont utilisées pour comprendre les mécanismes moléculaires de la tolérance des stress. La première consiste à étudier les enzymes impliqués dans des voies métaboliques particulières alors que la seconde cherche à identifier des gènes exprimés de manière différentielle chez des plantes conduites sous stress et en absence du stress. Ces approches ont permis d'identifier de nombreux gènes de fonctions connues [140].

Le stress induit une diversité de réponses qui résultent de l'expression génique et des modifications du métabolisme cellulaire [141]. Il s'agit d'une série complexe de réactions enzymatiques conduisant à l'évitement ou à la réduction des dommages susceptibles d'être causés, par le stress, à la cellule, et à la plante entière [142]. Ces réponses impliquent des gènes induits ou réprimés, codant pour une large gamme de protéines assurant diverses fonctions, telles que la régulation des signaux de transduction, et de l'expression des gènes. Toutes ces fonctions conduisent vers l'amélioration de la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques ([143]; [121]). L'acide Abscissique (ABA) est considéré comme le messenger principal qui signale au noyau la perception du stress qui est suivie par l'activation dans le noyau des facteurs de transcription (TF) qui régulent l'expression des gènes responsifs au stress. ([142]; [144]; [145]). Parmi les processus cellulaires percepteurs de stress, les protéines transmembranaires sont activées et fonctionnent en tant que canaux de transport du  $\text{Ca}^{2+}$  vers le cytosol. La sécheresse et la salinité causent un influx de  $\text{Ca}^{++}$  dans le cytoplasme cellulaire ([146]; [147]).

D'après Yamaguchi-Shinozaki et al [148], l'expression des gènes du stress codant des protéines qui gèrent la situation de stress en réparant ou en maintenant l'homéostasie cellulaire. Selon Yamaguchi-Shinozaki et al [149], certaines protéines

induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), alors que d'autres interviennent dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) pour synthétiser des protéines fonctionnelles. La plupart des protéines à fonction directe sont les enzymes de la biosynthèse des osmoprotecteurs et les protéines LEA (Late Embryogenesis Abundant), qui protègent les cellules de la déshydratation. Les déhydrines (DHN) font partie des protéines LEA, elles sont inductibles par la déshydratation [150]. Elles agissent comme chaperons dans la protection des protéines et des structures membranaires [151]. Figurent parmi ces protéines fonctionnelles, les enzymes de détoxification comme le glutathionne S-transférase, le superoxyde dismutase, l'ascorbate peroxydase et l'époxyde hydrolase qui protègent les cellules des effets négatifs induits par le stress hydrique ([152]; [150]).

La cascade des protéines de type MAPK (Mitogen Activate Phosphate Kinase) est activée par de nombreux stress abiotiques [153]. Deux gènes, *Atcdpk1* et *Atcdpk2*, codant pour les protéines de type CDPKase (Calcium Dépendent Protéine Kinase), isolés chez l'arabette, sont induits sous stress hydrique et salin [154]. La réponse au stress thermique à travers la synthèse des protéines de choc thermique est un système génétique très conservé chez plusieurs espèces de plantes [155]. Plusieurs gènes s'activent sous stress abiotiques en réprimant l'expression de certaines protéines et en activant la synthèse des protéines de choc thermique (HSP, [156]; [157]; [158]; [159]). Les HSP jouent un rôle crucial dans la tolérance du stress thermique et particulièrement dans la protection du photosystème II ([156]; [160]; [161]).

La famille de facteurs de transcription de type WRKY (Domaine de liaison à l'ADN sur les boîtes W) se caractérise par une séquence hautement conservée de 60 acides aminés, a été étudiée surtout dans la réponse génique aux maladies ([162]; [163]). Les WRKY sont connus pour leur implication dans la régulation de divers processus physiologiques des plantes en réponse aux stress [164]. En effet de nombreux facteurs de transcription des WRKY sont hautement régulés par la sécheresse, le froid et le stress salin [165]. Marè et al [164] notent que chez l'Orge, le gène *Hv-WRKY38* est induit par le froid et par la sécheresse. Le gène *6G2* est un gène e-cor (early cold-regulated) de blé dur, induit par les stress abiotiques, à savoir le froid et la sécheresse [144]. Chez l'*Arabidopsis*, l'analyse des micro-arrays montre la présence des WRKY

induite par la sécheresse, le froid, la salinité et les stress oxydatifs ([165]; [166]; [167]; [168]).

Sous stress les plantes accumulent des osmolytes compatibles tels que la proline, le glutamate, le  $\gamma$ -acide aminé butyrique, la glycine-bétaïne du mannitol, du sorbitol, du tréhalose et des déhydrines [143]. L'accumulation de la proline se fait surtout sous stress [169]. La surexpression du gène P5CS ( $\Delta$ 1-pyrroline-5- carboxylate synthétase) de *vigna aconitifolia*, chez les plantes transgéniques du tabac, induit une accumulation de la proline 10 à 18 fois plus élevée que celle mesurée chez le témoin. Cette accumulation se fait au détriment du glutamate, le précurseur de la P5C [170]. Elle améliore la tolérance aux stress hydrique et salin ([170]; [171]). La surexpression du gène *hva1* chez le riz induit la résistance aux stress salin et hydrique [172]. Kume et al [173] qui rapportent que le gène *WCbf2* s'est surexprimé chez le blé tendre, sous stress hydrique. La famille des CBF a été caractérisée chez *Arabidopsis* par Gilmour et al [141] et par Liu et al. [174]. Elle est aussi induite sous déficit hydrique et sous salinité ([175]; [176]). Le même constat a été rapporté par Neffar et al [177] chez le blé dur, un effet d'expression contrasté de plusieurs gènes appartenant à la famille Cbf sous plusieurs régimes de stress hydrique et déshydratation rapide à différents stades et dans différents organes. Skinner et al [178] mentionnent que le gène *HvCBF1* est induit par le froid et la sécheresse, mais ce gène n'est pas induit par le stress salin. Selon Dong et al [179], l'*ICE1* est un facteur de transcription constitutivement exprimé qui contrôle l'induction à basse température de *CBF3*. La surexpression d'*ICE1* chez l'*Arabidopsis* augmente l'expression des gènes CBF en réponse au froid, engendrant la tolérance aux basses températures.

#### **1.4. Sélection du blé dur**

##### **1.4.1. Sélection pour la performance**

###### **1.4.1.1. Le rendement grain**

Selon Li et Gill [180], le rendement en grains est le caractère agronomique le plus important et le plus complexe, il est contrôlé par de nombreux gènes, à action additive, de dominance, d'épistasie et de l'interaction génotype  $\times$  environnement (G $\times$ E). La

réponse à la sélection directe sur la base du rendement grain est efficace dans des conditions de milieu relativement plus stables et qui se répètent de façon régulière. L'inefficacité de réponse à la sélection directe est expliquée par les interactions génotype x environnements qui réduisent le gain génétique réalisé ([181];[142];[182];[183];[184]). L'interaction amenuise la variance génotypique et l'héritabilité du rendement ([185];[182];[183];[186]). En effet sous stress la sélection du rendement identifie des génotypes tolérants qui présentent le plus souvent un faible rendement, en milieux favorables [187]. Fischer et Maurer [188] proposent un indice dit indice S qui, utilisé en sélection, associe performance et régularité du rendement. Kadi et al. [189] rapportent des valeurs de l'indice S qui varient de 0.73 à 1.35 en blé dur. Benmahammed et al. [186] mentionnent que les valeurs élevées de l'indice S sont indicatrices de performance, alors que les faibles valeurs sont indicatrices de tolérance des stress.

Monneveux et Depigny-This [190] suggèrent de sélectionner sur la base d'autres caractères qui présentent une héritabilité plus élevée et une corrélation significative avec le rendement. La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection [191]. Ainsi, la sélection simultanée pour le nombre d'épis et le nombre de grains par épi, qui sont négativement liés entre eux, mais sont positivement corrélés au rendement, pourrait identifier des génotypes plus performants et plus réguliers [8]. La taille du grain est un des premiers critères de sélection, et le facteur principal qui a mené à la domestication des premières espèces de culture [192]. Cependant, ce caractère reste peu maîtrisé suite aux effets combinés de la compensation avec le nombre de grains par épi et le nombre d'épis et les effets des stress de fins de cycle [90];[193].

#### **1.4.1.2. La biomasse aérienne**

La biomasse présente un intérêt en sélection aussi bien que le rendement vu qu'elle influence le rendement [191]. Dans un milieu sec, une biomasse suffisante en début de cycle, est une caractéristique désirable pour augmenter le rendement [194]. Une biomasse importante au stade anthèse, conduit à un rendement élevé ([195];[196]).

Selon Austin et al [197], la capacité d'un génotype à produire une forte biomasse est un bon indice d'une meilleure adaptation au milieu de production.

Les génotypes dotés d'une forte capacité de tallage herbacée réduit le rendement grain, c'est une source de surconsommation d'eau ([198];[199]). Cependant une bonne capacité de tallage-épis produisent mieux, dans les milieux semi-arides [200]. Une hauteur de paille importante est un caractère désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques, c'est un caractère lié à la tolérance à la sécheresse ([8];[201]). Fischer et Maurer [188] rapportent, un col d'épi long indique la résistance contre la sécheresse, ils proposent la longueur du col de l'épi comme critère de sélection des génotypes tolérants au déficit hydrique. La longueur des barbes semble aussi liée intimement à la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur [200]. Ce caractère, peut être employé comme un indice de sélection en cas du déficit hydrique pour obtenir un rendement élevé [202]. Les génotypes à petite surface foliaire tolèrent mieux le déficit hydrique par rapport aux variétés à grande surface foliaire [203].

#### **1.4.1.3. La qualité technologique**

La teneur en protéine du blé est un critère de qualité très important, la variété est le principal facteur déterminant sa variabilité [204], cependant plus la teneur en protéine est élevée meilleure est la qualité [205]. La moucheture est un phénomène spécifique au blé dur. La résistance à la moucheture est aussi un caractère variétale [206], Le mitadinage est un phénomène qui influe sur la qualité du grain en rendant très mauvaise, une bonne maîtrise de la fertilisation azotée peut réduire ce phénomène [207]. Une variété à fort indice de jaune est recherchée puisque il permet de développer des variétés riches en caroténoïdes et donc dotées de propriétés bénéfiques pour la santé humaine [206].

#### **1.4.2. Sélection pour l'adaptation au milieu**

##### **1.4.2.1. Adaptation générale**

L'adaptation générale est la capacité du génotype à valoriser des conditions de milieux variés, alors que l'adaptation spécifique, représente la capacité d'un génotype à valoriser des conditions particulières [208]. L'adaptabilité est liée à la tolérance des

stress [209]. Les sélectionneurs recherchent un génotype possédant un rendement élevé dont les performances sont peu variables dans une large gamme de milieux. Un tel génotype est surtout intéressant pour les producteurs de semences, pour des raisons économiques. Par contre l'agriculteur est surtout intéressé par un génotype qui performe plus et s'adapte spécifiquement à l'exploitation, pour valoriser son terroir ([210];[211]; [212]). Pour le rendement, les facteurs de régularité tels que la résistance aux maladies, à la verse, ou au froid ont permis l'émergence de génotypes dont les niveaux de rendement sont plus stables que ceux des variétés ne présentant pas ces caractéristiques [213]. Pour une meilleure efficacité de la sélection pour l'adaptation générale, les tests de performance sont conduits dans des milieux différents pour des caractéristiques mesurables (altitude, type de sol, pluie, gel, température élevée, radiation solaire, localité) croisés à des itinéraires techniques variés (date, densité de semis, fertilisation, désherbage, phytosanitaire, irrigation). Ceci permet de discriminer entre les génotypes à large adaptation de ceux à adaptation spécifique([214];[215]; [216]).

#### **1.4.2.2. Adaptation spécifique**

Bouzerzour et al [217] rapportent l'efficacité de la sélection sur la seule base du rendement grain est très variable d'une année à l'autre, suite à l'effet de l'environnement qui fait varier le niveau de ce caractère et ses relations avec les autres variables. Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique, mettant ainsi en valeur les différents terroirs ([218];[209]). Une forte interaction existe entre la variété et l'environnement, cependant, certaines variétés présentent des valeurs de rendement et de teneurs en protéines qui se changent d'une manière significative entre environnements donc elles sont particulièrement adaptées à des environnements spécifiques [204]. Les génotypes adaptés à des environnements plus spécifiques sont très performants. Ce pouvoir d'adaptation spécifique est contrôlé génétiquement [204]. Les gènes peuvent être plus ou moins spécifiques comme dans le cas des résistances aux maladies [219]. Selon Brancourt-Hulmel [220], on dénombre plusieurs gènes d'adaptation spécifique : ceux de la précocité qui permettent l'évitement de la contrainte ou bien les gènes de la résistance au froid hivernal qui concernent l'adaptation à la

contrainte climatique ou à l'agent pathogène. Ce type d'adaptation peut apparaître comme un obstacle au développement d'une variété/lignée pour une large gamme d'environnements, car son créneau de développement est limité à un ensemble d'environnements réduit [204].

### **1.4.3. Sélection pour la tolérance des stress abiotiques**

Plusieurs études ont été menées afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués et cibler les caractères qui peuvent être utilisés comme critères de sélection de la tolérance ([221];[222];[223];[224];[225]). Des caractères adaptatifs, d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques, peuvent participer à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques [226].

#### **1.4.3.1. Tolérance du manque d'eau**

De nombreux auteurs rapportent que la teneur relative en eau est un indicateur de la tolérance aux stress abiotiques et un indice reproductible et fiable de l'état hydrique de la plante ([227];[228]; [229]). Les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau dans le temps et l'espace [230], ou avoir une bonne utilisation de l'eau sous contrainte hydrique ([231];[232]). Donc elles modulent leur indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction de son approvisionnement en eau ([233];[234]; [235]; [236]). Pour améliorer le rendement en grains, dans les zones où les ressources hydriques sont faibles, la sélection de variétés plus économes en eau est une solution alternative ([235];[236]; [237]). La discrimination isotopique du carbone (rapport  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ) dans la matière sèche est négativement corrélée à l'efficacité de la transpiration chez le blé et constitue un substitut de cette caractéristique [238]. Il a été utilisé avec succès pour la sélection de blé économe en eau et utilisé dans les régions sèches d'Australie ([238];[239]).

Morgan [240] note que l'ajustement osmotique est sous contrôle mono génique chez le blé. Ce caractère est proposé comme critère pour sélectionner les populations tolérantes en ségrégation à la contrainte hydrique ([123];[241]). Ce même trait est héritable de manière simple, ce qui permet de différencier les génotypes à capacité d'ajustement osmotique contrastée [240]. Les lignés à capacité élevée d'ajustement

osmotique présentent une plus grande performance de rendement grain en conditions de stress [123]. Les épis ont une utilisation efficiente de l'eau plus élevée que celles des feuilles, ils contribuent avec 40% du carbone totale sous stress hydrique [242]. Le col de l'épi, a été souvent proposé comme critère de sélection des génotypes tolérants au stress hydrique [188].

#### **1.4.3.2. Tolérance des températures élevées de fin de cycle**

Un grand intérêt est porté à la recherche de la tolérance au stress thermique [243]. Plusieurs caractères physiologiques ont été proposées comme indicateurs associés à la tolérance au stress thermique, tels que : la dépression de la température de la feuille étendard, celle de l'épi, l'intégrité de la membrane cellulaire, la fluorescence chlorophyllienne et la réflectance spectroscopique ([244];[245]; [246]; [85]; [247];[248]). L'intégrité cellulaire donne une mesure de la quantité d'électrolytes qui s'échappent passivement de la cellule endommagée par le stress thermique. Les résultats de ce test sont corrélés avec la productivité sous stress thermique [249]. La quantité d'électrolyte perdue, par la cellule, est une mesure du degré de tolérance à des hautes températures ([249];[250]; [248]).

La stabilité de la chlorophylle est une caractéristique qui est employée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique ([251];[8]). Selon Fokar et al. [249], le contenu en chlorophylle diminue après l'anthèse quelques soit le traitement ou le génotype mais cette baisse est accentuée chez les génotypes sensibles au stress thermique. Il montre une corrélation significative avec le rendement grain sous stress thermique [244]. Camejo et al. [252] ainsi que Wahid et Ghazanfar [253] rapportent une augmentation du ratio Chla/Chlb chez les génotypes tolérants évalués sous stress thermique. Ludlow and Muchow [112] et Annichiarico et al. [201] annoncent que la longueur de la tige considérée comme un caractère clé de l'adaptation au stress lié à la sécheresse terminal.

#### **1.4.3.3. Tolérance des basses températures hivernales et du gel printanier**

L'amélioration de la résistance des cultures d'hiver vis-à-vis aux basses températures, contribue à limiter les conséquences des fluctuations inévitables du

climat [254]. Il est effectivement un critère de différenciation du comportement des variétés [255]. Cependant ce critère est difficile à améliorer, mais il existe des sources de résistance issues des variétés de pays de l'est peuvent être utilisées. Les variétés tolérantes au froid sont recherchées dans les zones des hauts plateaux, où les gels printaniers peuvent être importants certaines années [206]. L'adaptation variétale est liée à une croissance hivernale permettant de valoriser les eaux de pluie. Une croissance active en début du cycle nécessite une moindre sensibilité aux basses températures [256]. Les variétés ayant des besoins en vernalisation ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime que tardivement lorsque leurs besoins en froid sont satisfaits [257]. Ces variétés sont, en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle [58].

## **CHAPITRE 2**

### **MATERIEL ET METHODES**

#### **2.1. Etude du comportement variétal**

##### **2.1.1. Sites expérimentaux et matériel végétal**

L'étude porte sur l'analyse du comportement en plein champs d'un matériel végétal composé de quatorze (14) variétés de blé dur (Tableau 2.1, Annexe 5) de diverses origines. L'expérimentation de plein champ a été conduite au niveau des stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Khemis Miliana, et de Sétif, au cours de deux campagnes agricoles 2014/15, 2015/16 et d'Oued Smar, au cours de trois campagnes 2014/15, 2015/16 et 2016/17. La station expérimentale de Khemis Miliana est située sur le territoire de la commune de Bir Ould-Khelifa (Haut Cheliff) à 10 km au sud de la ville de Khemis Miliana (Ain Defla, 36°10' N et 2°14'E). Elle se trouve dans l'étage bioclimatique semi-aride. La station expérimentale d'Oued Smar (Alger, 36° 43' N et 30° 08' E), dont l'altitude est de 24 m, est localisée dans la commune de Beaulieu (Alger). Elle appartient à l'étage climatique subhumide à hiver doux. La station expérimentale de Sétif (36°9'N et 5°21'E, à une altitude de 1081m) est située à 5 kilomètres au sud-ouest de la ville Sétif. Elle se caractérise par un étage bioclimatique semi-aride à hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale.

##### **2.1.2. Mise en place des essais**

Les essais sont mis en place sur des parcelles dont le précédent cultural est une jachère travaillée. Le sol est labouré à l'aide d'une charrue à soc, en automne. Le labour est suivi par deux recroisages, le premier en hiver et le second au début du printemps, à l'aide d'un cover crop. Au mois d'octobre de l'année du semis, le sol est repris par un recroisage suivi d'un hersage pour la préparation du lit de semence. Le semis a été effectué le 22/12/2014 et le 15/12/2015 à la station de Khemis Miliana, le 23/12/2014, le 16/12/2015 et 22/12/2016 à la station d'Oued smar, et les 22/12/2014 et 10/12/2015 à la station de Sétif. Le semis est réalisé à

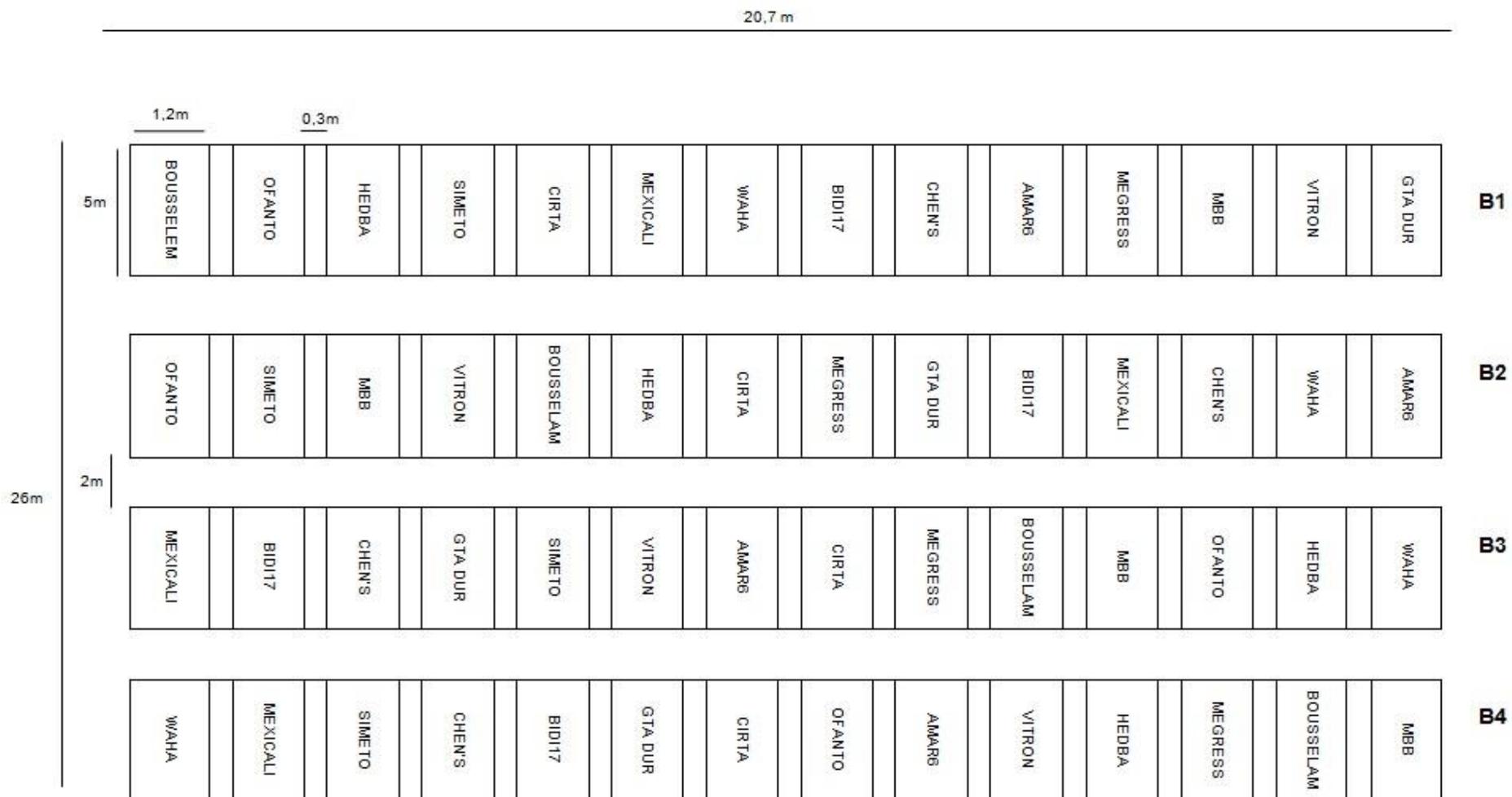


Figure 2.1 : Dispositif expérimental des différents environnements testés

l'aide d'un semoir expérimental de type Oyord. La densité de semis est de 250 à 300 grains par m<sup>2</sup> selon les sites. La parcelle élémentaire fait 1.2 de large (6 rangs semés espacés de 0.18 m) et 5 m de long. Le dispositif expérimental adopté est celui des blocs complètement randomisés, avec 4 répétitions (Figure 2.1).

### 2.1.3. Entretien des essais

Les essais (Figure 2.2) ont été fertilisés avec 100 kg/ha de superphosphate (46%) juste avant le semis. L'engrais azoté est apporté au printemps à raison de 75 kg/ha au mois de mars et 75 kg/ha au mois d'avril, sur les sites de Khemis Miliana et de Sétif. Sur le site d'Oued Smar, 200 kg/ha, d'urée à 46%, sont apportés au mois de février et au mois de mars.

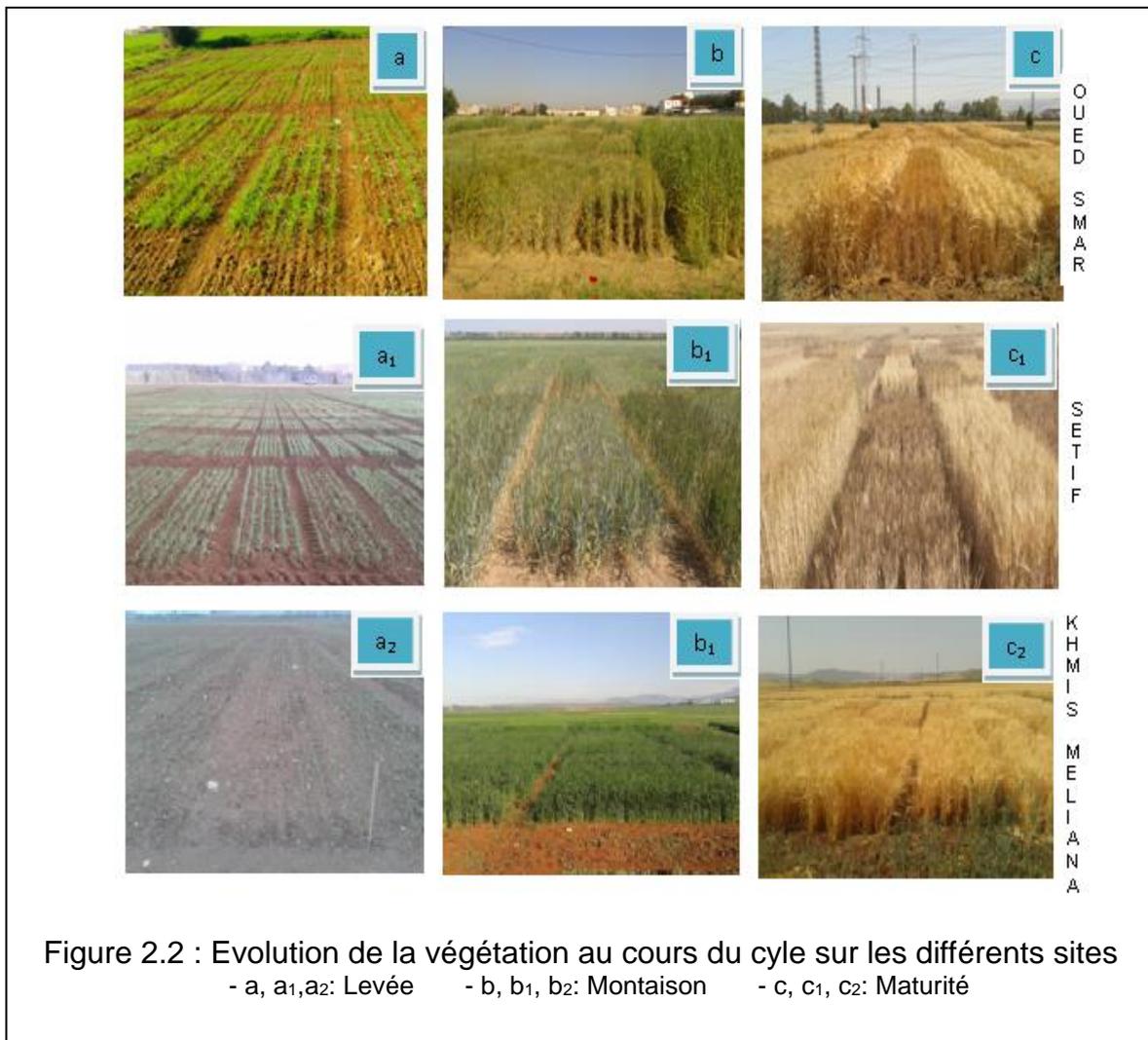


Tableau 2.1 : Appellation, parentage et obtenteur des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) testées.

<b>Nom</b>	<b>Pedigree/croisement</b>	<b>Obtenteur / sélection</b>
Bidi <sub>17</sub>	Sélection généalogique d'une population locale	INRA Algérie
Chen's	Ichwa'S'/Bit 'S'CD 26406	CIMMYT-ICARDA, sélection ITGC, FDPS, Khroub, Algérie
Gta dur	Crane/4/PolonicumPI <sub>185309</sub> //T.glutin en/2* Tc60/3/GII	CIMMYT-ICARDA, sélection ITGC, FDPS, Guelma, Algérie
Hedba <sub>03</sub>	Sélection généalogique d'une population locale	INRA Algérie
MBB	Sélection généalogique d'une population locale	INRA Algérie
Simeto	Capeiti8/Valvona	Introduction d'Italie, Projet IAO-ITGC
Mexicali	GdoVz 469/3/Jo"S"/61.130.Lds/Stk"S"CM470	CIMMYT-ICARDA
Vitron	Turkey77/3/Jori/Anhinga//Flamingo	CIMMYT-ICARDA
Waha	Plc/Ruff//Gta's/3/Rolette CM 17904	CIMMYT-ICARDA, sélection ITGC, FDPS, Khroub, Algérie
Cirta	KB214-0KB-20KB-OKB-OKB-1KB-0KB	ITGC, SEA, Khroub, Algérie
Ofanto	Appulo/Adamello	Introduction d'Italie, Projet IAO-ITGC
Boussellam	Heider/Martes/Huevos de Oro. ICD-414	CIMMYT-ICARDA, sélection ITGC, FDPS, Sétif, Algérie
Megress	Ofanto/Waha//MBB	ITGC, FDPS, Sétif, Algérie
Amar <sub>6</sub>	ID94.0920-C-OAP.7AP	CIMMYT-ICARDA, sélection ITGC, FDPS, Khroub, Algérie

Le désherbage chimique est réalisé au mois de mars avec du Zoom à une dose de 150g/ha sur le site de Khemis Miliana. Sur le site Sétif, le désherbage a été réalisé avec le Cossack OD [*Mesosulfuron-Methyl (Mesomaxx) + Iodo-sulfuron-Methyl-Sodium + Mefenpyr-Diethyl*] à une dose 1 l/ha au mois de février. Sur le site d'Oued smar, le désherbage a été réalisé avec du Zoom à une dose de 150g/ha au mois de mars, suivi d'une deuxième application, au mois d'avril, avec un mélange Zoom+Topik' à une dose de 150g/ha.

#### **2.1.4. Mesures et notations**

Les mesures et notations ont porté sur :

- ✓ La durée de la phase végétative (DPV) qui est notée dès que 50% des épis sortent de la gaine de la feuille étendard. Elle est exprimée en nombre de jours calendaires de la levée à la date d'épiaison.
- ✓ La hauteur finale de végétation (HFV), mesurée juste au moment de la récolte, du niveau du sol au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses, exprimé en cm.
- ✓ Le nombre d'épis (NE) par unité de surface ensemencée, est un comptage directe des épis présents dans un 1 m<sup>2</sup>.
- ✓ Le poids de mille grains (PMG) est déduit du comptage et pesage de 1000 grains pris des épis du bottillon de végétation récolté, exprimé en g.
- ✓ Le rendement (RDT) est estimé par la fauche et le battage de la végétation provenant d'un m<sup>2</sup>, exprimé en qx/ha.
- ✓ Le nombre de grains par épi (NGE) est déduit par calcul utilisant le rendement, le poids de mille grains et le nombre d'épis :

$$NGE = \frac{1000 \times RDT}{NE \times PMG}$$

- ✓ Le nombre de grains par m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>) est déduit par calcul utilisant le nombre de grains par épi et le nombre d'épis par m<sup>2</sup> :  $NGM^2 = NGE \times NEM^2$
- ✓ La longueur de l'épi, barbes incluses, est mesurée au stade maturité à partir de la base de l'épi à l'extrémité supérieure des barbes. Elle est exprimée en cm.

- ✓ La longueur des barbes est déduite par la différence entre les longueurs de l'épi avec et sans barbes.
- ✓ La teneur relative en eau (TRE) de la feuille étandard est déterminée par la méthode décrite par Barrs [258] au stade début épiaison. Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids turgide (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve, réglée à 80°C, pendant 48h et pesés pour avoir le poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante:

$$TRE (\%) = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100$$

- ✓ Les teneurs en chlorophylles a, b et totale (exprimées en µg / g de MF) sont déterminées par la méthode de Rao et Leblanc [259]. L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille étandard de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques (spectrophotomètre JENWAY 6300) à deux longueurs d'onde ( $\lambda_1 = 645$  et  $\lambda_2 = 663$ nm). Le calcul est obtenu par les formules suivantes :

$$CHLa = 12.7(D0663) - 2.69(D0645)$$

$$CHLb = 22.9(D0645) - 4.86(D0663)$$

$$CHLab = 8.02(D0645) + 20.20(D0663)$$

- ✓ Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et al. [260]. Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à

80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm.

### **Préparation la courbe étalon**

Une première solution S1 est préparée de la manière suivante :

100mg de glucose sont porté dans une fiole jaugée de 100ml compléter à 100ml avec de l'éthanol 80% c'est la solution S1, Ensuite en prélève 10ml de la solution S1 qu'on porte dans une fiole jaugée compléter à 100ml avec de l'éthanol 80%, on obtient une solution mère S2 de concentration en glucose égale à 100mg/ml, dix (10) fioles jaugées de capacité 10ml sont prises et numérotées de 1 à 10, dans les quelles on met respectivement de 1ml à 10ml (à l'aide d'une pipette de 10ml) puis ajustées à 10ml avec de l'éthanol 80%. Onze (11) tubes à essais sont pris et numérotés de T0 à T10. T0 contient 2ml éthanol 80% qui servira à faire le zéro lors de la lecture des densités optiques :

T1= 2ml prélevé de la fiole n°1, soit 10µg de glucose

T2= 2ml prélevé de la fiole n°2, soit 20µg de glucose

T3= 2ml prélevé de la fiole n°3, soit 30µg de glucose

T4= 2ml prélevé de la fiole n°4, soit 40µg de glucose

T5= 2ml prélevé de la fiole n°5, soit 50µg de glucose

T6= 2ml prélevé de la fiole n°6, soit 60µg de glucose

T7= 2ml prélevé de la fiole n°7, soit 70µg de glucose

T8= 2ml prélevé de la fiole n°8, soit 80µg de glucose

T9= 2ml prélevé de la fiole n°9, soit 90µg de glucose

T10= 2ml prélevé de la fiole n°10, soit 100µg de glucose

✓ La teneur en sucre est donnée par la relation suivante :

$$TSS = \frac{X * 3 * 1000}{MF * 180,16} \mu\text{g}/100 \text{ mg de MF}$$

$Y = aX + b$  (Figure 2.3),  $Y$  = densité optique,  $X$  = quantité de glucose (Concentration),  $MF$  = masse de la matière fraîche,  $TSS$  = teneur en sucres solubles,  $180,16$  = masse molaire du glucose.

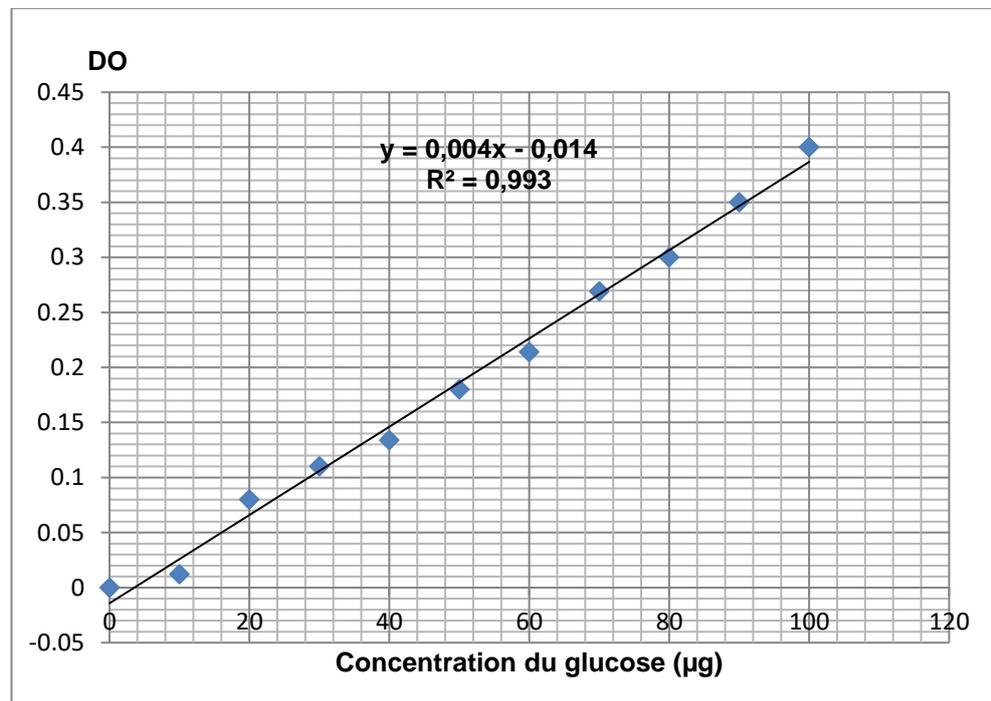


Figure 2.3 : Courbe d'étalonnage du dosage des sucres totaux.

### 2.1.5. Analyse des données

Les données ont été soumises à une analyse de variance en utilisant l'option 'Balanced anova' incluse dans le logiciel CropStat 7.2 (2007). Les effets analysés sont l'environnement qui est la combinaison « année x site » soit 7 environnements, la variété avec 14 variantes et leur interaction. La comparaison des moyennes est faite en référence à la plus petite différence significative (Ppds) au seuil de 5%. Les coefficients de corrélation entre paires de caractères par environnement et entre paires d'environnements pour chaque caractère ont été calculés en utilisant l'option Spearman rang corrélation incluse dans le logiciel Past version 3.2.1.[261]. Le degré de stabilité a été testé en utilisant l'indice de la

supériorité génotypique de Lin et Binns [262]. Cet indice a été dérivé comme suit :

$$Pi = \left[ \sum (Xij - Mj)^2 \right] / 2n$$

Avec  $X_{ij}$  = performance de la  $i^{\text{ème}}$  variété dans le  $j^{\text{ème}}$  environnement, et  $M_j$  = performance de la variété la plus performante dans le  $j^{\text{ème}}$  environnement  $j$  et  $n$  = nombre d'environnements. La stabilité phénotypique peut être aussi mesurée par le coefficient de variation phénotypique [263]. Le coefficient de variation (CV) phénotypique est déduit comme suit, à partir de la variance environnementale et de la moyenne des rendements de l'ensemble des environnements du génotype  $i$  :

$$CV (\%) = 100 \left( \frac{\sqrt{S^2_i}}{X_i} \right)$$

Où  $S^2_i$  = Variance environnementale,  $X_i$  = moyenne des performances de l'ensemble des environnements tests du génotype  $i$ .

## **2.2. Analyse de la diversité génétique**

### **2.2.1. Extraction de l'ADN**

Pour les besoins de l'étude de la diversité génétique, les graines des 14 variétés ont été mises à germer à l'air libre dans des boîtes de pétri contenant un papier Watman imbibé d'eau distillée, à raison de 10 graines, préalablement stérilisées avec l'eau de javel 5%, par variété et par boîte de pétri. L'ADN a été extrait à partir des feuilles des plantules âgées de deux semaines, au laboratoire de biologie moléculaire, unité de biotechnologie. Pour ce faire, le protocole Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) décrit par Saghai-Marooof et al. [264] a été utilisé, avec des modifications mineures introduites par Udupa et al. [265], qui portent sur l'utilisation de 2 % de CTAB au lieu de 1 % CTAB et l'utilisation de l'eau déminéralisée stérile pour dissolution de culot d'ADN au lieu de 10 mM  $\text{NH}_4\text{OAc}$ /0.25 mM EDTA (Éthylène di-amine tétra acétique). 10mg de feuilles lyophilisées sont mises dans un tube de 2 ml et broyées mécaniquement jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène, auquel on ajoute 1.5ml du tampon d'extraction 2xCTAB (100mM Tris-HCl, 1.4M NaCl, 20mM EDTA, 2% CTAB et 0.2%  $\beta$  Mercapto-éthanol, Cf Annexe 1), préalablement chauffé à 65°C. L'extrait est chauffé à 65°C pendant une heure et agiter doucement, manuellement tous les

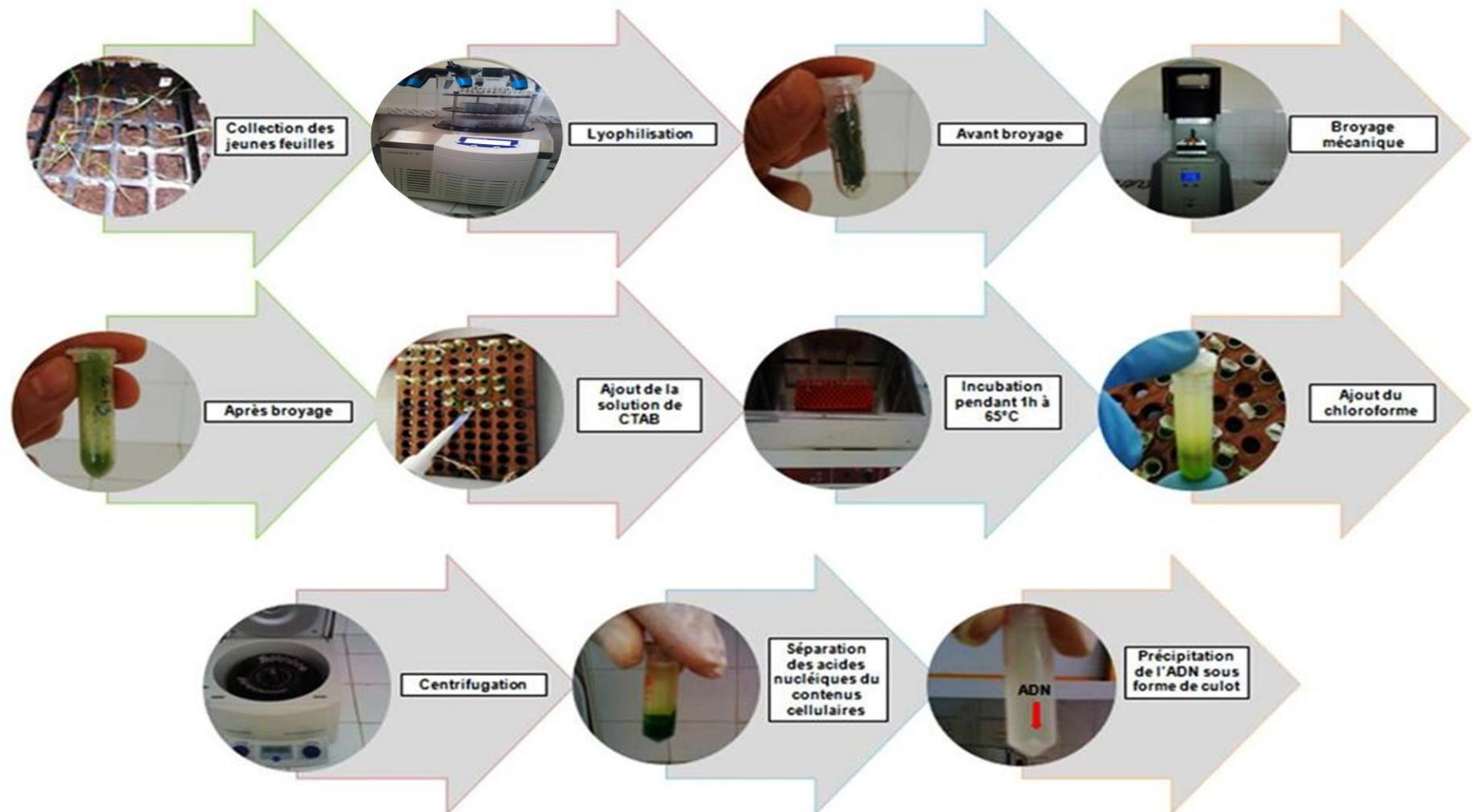


Figure 2.4 : Principales étapes de l'extraction de l'ADN ([264]; [265]).

15 min. 500 µl du mélange chloroforme + alcool isoamylique (Annexe 1) sont ajoutés à l'extrait et le tout est vigoureusement agité pendant 5mn. L'extrait est centrifugé à 13000 tr/mn à température ambiante pendant 15 mn. La phase aqueuse est récupérée dans de nouveaux tubes de 2 ml. L'ADN est précipité avec 750 µL d'isopropanol de façon à avoir 0,7 fois le volume du surnageant et en remuant doucement jusqu'à homogénéisation de la solution avec l'isopropanol et la formation des filaments d'ADN.

Le culot d'ADN est récupéré par centrifugation à 13000 tr/mn pendant 10 minutes, sous basse température (4°C). L'ADN est lavé avec 1 ml d'éthanol à 70% (Annexe 1). Après évaporation de l'éthanol, l'ADN est dissout dans 100 µl d'eau distillée stérilisée et stocké à 4°C pendant une nuit (Figure 2.4).

### **2.2.2. Test de qualité de l'ADN génomique**

L'ADN génomique est analysé par électrophorèse horizontale sur gel d'agarose à 1.2 % (Annexe 2), en comparant l'ADN des échantillons traités avec le marqueur de taille (Marqueur lambda DNA/EcoRI I +HindIII-Promega). L'agarose est dissout à chaud dans du TBE (Tris, Borate, EDTA) 0.5X (Annexe 2). 10µL de chaque échantillon composé de 3µL de l'ADN, 3µL du colorant de migration (bleu d'agarose) (Annexe 3) et 4µL de l'eau pure, mélangé bien puis déposé dans les puits du gel. Après migration, le gel est ensuite coloré dans une solution de Bromure d'éthidium (BET) 0,5µg/ml (Figure 2.5, Annexe 3), lavé, puis visualisé aux UV et photographié.

### **2.2.3. Amplification d'ADN par PCR (amplification en chaîne par polymérase)**

Chaque réaction d'amplification de la PCR est réalisée dans un volume final de 10µl, contenant 50ng d'ADN (concentration optimale de l'amplification), 1µM de chaque amorce (Annexe 4), 0.2mM de dNTPs (Annexe 4), 1X tampon Taq et 0.0125U Taq polymérase (Tableau 2.2).

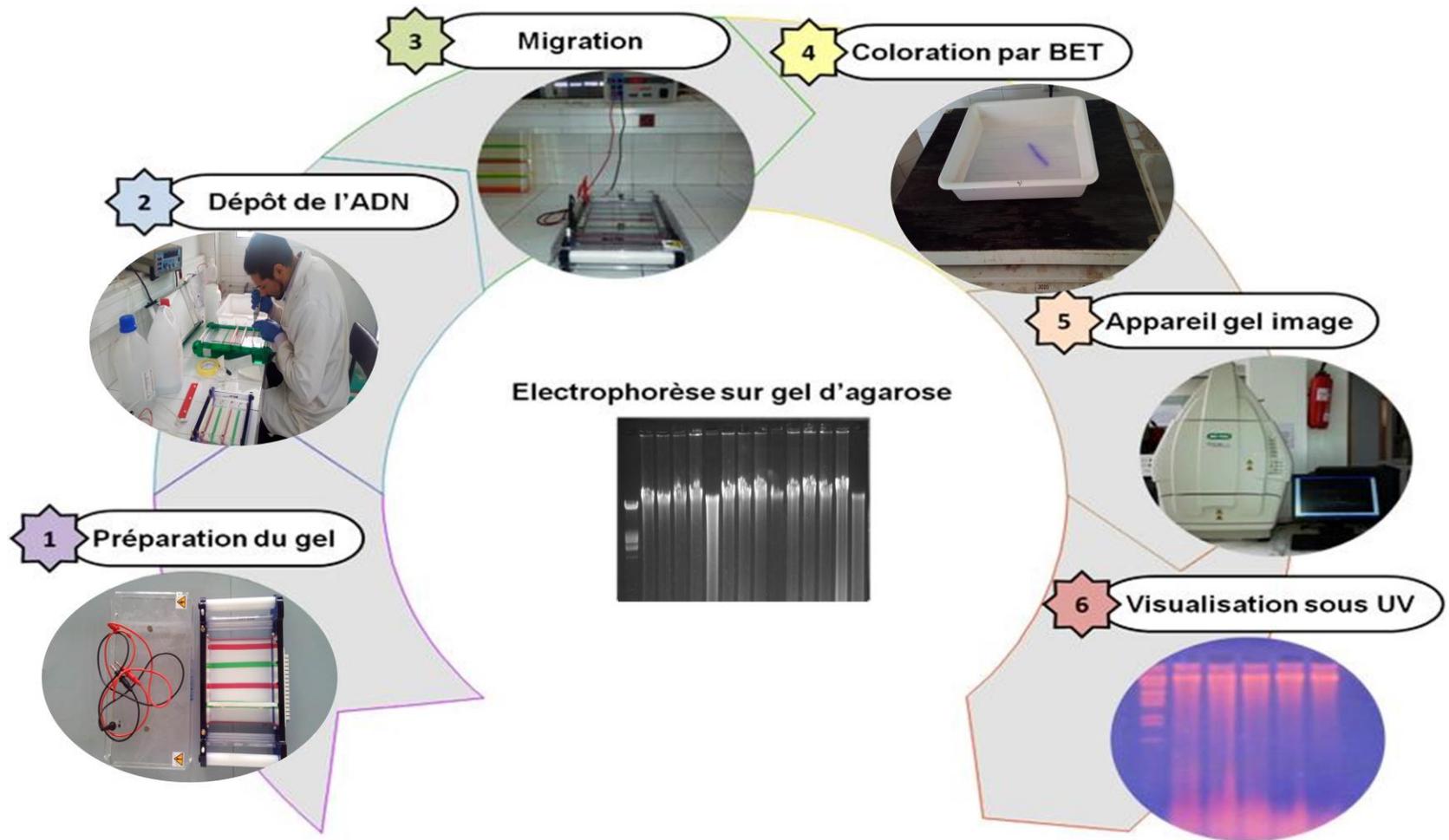


Figure 2.5 : Test de qualité d'ADN sur gel d'agarose

Tableau 2.2 : Composition du mélange réactionnel pour l'amplification de l'ADN génomique par PCR.

Composants (concentration dans la solution mère)	Volume pour une réaction	Concentration finale pour une réaction
Tampon (5x)	2 $\mu$ l	1x
dNTPs mixés (2 mM)	1 $\mu$ l	0.2 Mm
MgCl <sub>2</sub>	0.5 $\mu$ l	
Amorce (10 $\mu$ M)	1 $\mu$ l	1 Mm
Eau Bi-distillée stérile	4.975 $\mu$ l	
Taq polymérase (5 U/ $\mu$ l)	0.025 $\mu$ l	0.0125 U
ADN	1	50 ng/ $\mu$ l

#### Programme d'amplification

L'amplification a été réalisée dans le thermocycleur (Applied biosystems 2720 version 2.09). Toutes les amorces ont été synthétisées par la société Sigma. Un seul programme standard a été utilisé pour toutes les amorces SSR. Le programme d'amplification était un cycle de dénaturation à 94°C pendant 5mn, suivi de 35 cycles (94°C pendant 30 sec, 59°C pendant 30 sec et 72°C pendant 45 sec) et une phase finale de l'élongation à 72°C pendant 5mn. A la fin une phase additionnelle à 4°C à l'infini. Les produits amplifiés ont été séparés dans le gel d'acrylamide natif 6% et les bandes ont été colorées par le bleu d'acrylamide (Cf Annexe 2).

#### **2.2.4. Electrophorèse sur gel d'acrylamide natif à 6%**

Les produits PCR ont été séparés par électrophorèse dans le gel d'acrylamide natif à 6%.

#### Gel d'acrylamide natif à 6%

Les produits d'amplification ont été séparés sur gel d'acrylamide natif à 6% (Figure 2.6, Annexe 2). Pour la préparation du gel, les plaques ont été nettoyées dans la solution de NaOH (Cf Annexe 3) qui élimine toute trace du gel restant. Par la suite, rincées avec l'eau du robinet, puis bien séchées avec du papier absorbant. Le gel a été versé entre deux plaques à l'aide d'un Becher puis laissé solidifier. 8 $\mu$ L de chaque échantillon (10 $\mu$ L du produit PCR mélangé avec 5 $\mu$ L du colorant) a été déposé dans les puits du gel. Après migration, le gel a été coloré

pendant 3mn dans la solution du bromure d'éthidium (BET à 0.001 mg/mL), puis rincé pendant 1mn dans l'eau distillée. Les bandes ont été visualisées sous UV.

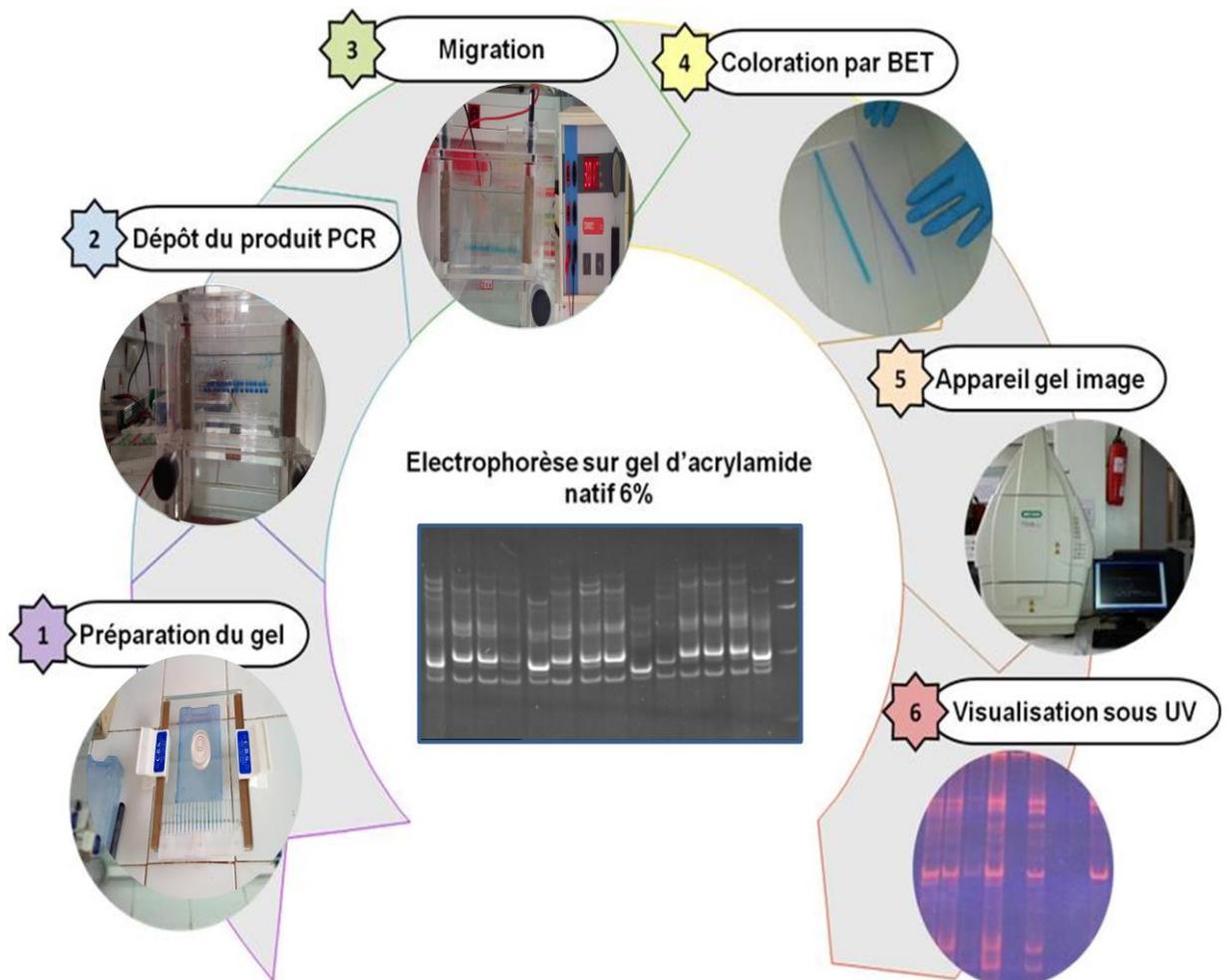


Figure 2.6 : Migration des produits PCR sur gel d'acrylamide natif 6%

### 2.2.5. Marqueurs SSR utilisés

Treize (13) marqueurs SSR polymorphes distribués dans le génome A et B du blé dur ont été utilisés après dilution en mélangeant les deux amorces F et R (Cf Annexe 4) afin d'étudier la diversité génétique de 14 variétés du blé dur. Les séquences d'amorces et les informations sur ces 13 marqueurs SSR étaient disponibles dans la littérature, et sont résumées dans le tableau 2.3

### 2.2.6. Analyses des données

Les allèles amplifiés par amorces SSR ont été notés par comparaison entre profils de l'ensemble des variétés et la diversité génétique a été calculée en utilisant

l'indice de diversité de Nei, [266] :

$$n/(n-1) \left(1 - \sum p^2\right)$$

Dont:

-  $n$  est le nombre des échantillons

-  $p$  est la fréquence de l'allèle.

Le logiciel Power Marker version 3.25 [267] a été utilisé pour calculer le nombre d'allèles, l'indice de la diversité génétique, et la valeur informative sur le polymorphisme du marqueur (PIC) [268], et cela a été fait pour chaque locus. La distance génétique entre chaque paire de variété a été mesurée en calculant la fréquence d'allèle partagé [269]. Le dendrogramme a été généré par la méthode Neighbor-joining [270] en utilisant Power Marker et visualisé par le logiciel MEGA5 [271]. L'analyse PCoA (Analyse de la coordination principale) a été performées par le logiciel GenAEx 6.5 [272].

Tableau 2.3: Nom du locus, la localisation chromosomique et la séquence d'amorce des 13 marqueurs SSR utilisés

Locus	Chromosome	Séquence d'amorce (5-3')
<i>Xbarc263</i>	1A	F- 5' GGAAGCGCGTCAGCACTAGGCAAC 3'
		R- 5' GGCTTCTAGGTGCTGCGGCTTTTGTC 3'
<i>Xgwm106</i>	1A	F- 5' CTGTTCTTGCGTGGCATTAA 3'
		R- 5' AATAAGGACACAATTGGGATGG 3'
<i>Xgwm369</i>	3A	F- 5' CTGTTCTTGCGTGGCATTAA 3'
		R- 5' AATAAGGACACAATTGGGATGG 3'
<i>Xgwm397</i>	4A	F- 5' CTGCAGGCCATGATGATG 3'
		R- 5' ACCGTGGGTGTTGTGAGC 3'
<i>Xgwm337</i>	1B	F- 5' CCTCTTCCTCCCTCACTTAGC 3'
		R- 5' TGCTAACTGGCCTTTGCC 3'
<i>Xwmc477</i>	2B	F- 5' CGT CGAAAACCGTACACTCTCC 3'
		R- 5' GCG AAA CAG AAT AGC CCT GAT G 3'
<i>Xbarc101</i>	2B	F- 5' GCTCCTCTCACGATCACGCAAAG 3'

		R- 5' GCGAGTCGATCACACTATGAGCCAATG 3'
<i>Xgwm493</i>	3B	F- 5' TTCCATAACTAAAACCGCG 3'
		R- 5' GGAACATCATTCTGGACTTTG 3'
<i>Xgwm213</i>	5B	F- 5' TGCCTGGCTCGTTCTATCTC 3'
		R- 5' CTAGCTTAGCACTGTCGCCC 3'
<i>Xgwm193</i>	6B	F- 5' CTTTGTGCACCTCTCTCTCC 3'
		R- 5' AATTGTGTTGATGATTTGGGG 3'
<i>Xgwm644</i>	6B	F- 5' GTGGGTCAAGGCCAAGG3'
		R- 5' AGGAGTAGCGTGAGGGGC 3'
<i>Xgwm111</i>	7B	F- 5' TCTGTAGGCTCTCTCCGACTG 3'
		R- 5' ACCTGATCAGATCCCCTCG 3'
<i>Xgwm577</i>	7B	F- 5' ATGGCATAATTTGGTGAATTG 3'
		R- 5' TGTTTCAAGCCCACTTCTATT 3'

## CHAPITRE 3

### RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Comportement variétal

##### 3.1.1. Variation de la pluie et de la température des sites expérimentaux

Des différences assez marquées existent entre sites expérimentaux pour le cumul pluviométrique des différentes campagnes. Les cumuls de pluie enregistrés, de septembre à juin, varient de 604.5 mm à 580.2 mm pour le site Oued Smar, de 451 mm à 391.5 mm pour celui de Khemis Miliana et de 339.85 mm à 340.26 mm pour celui de Sétif, pour les deux années consécutives (Figure 3.1).

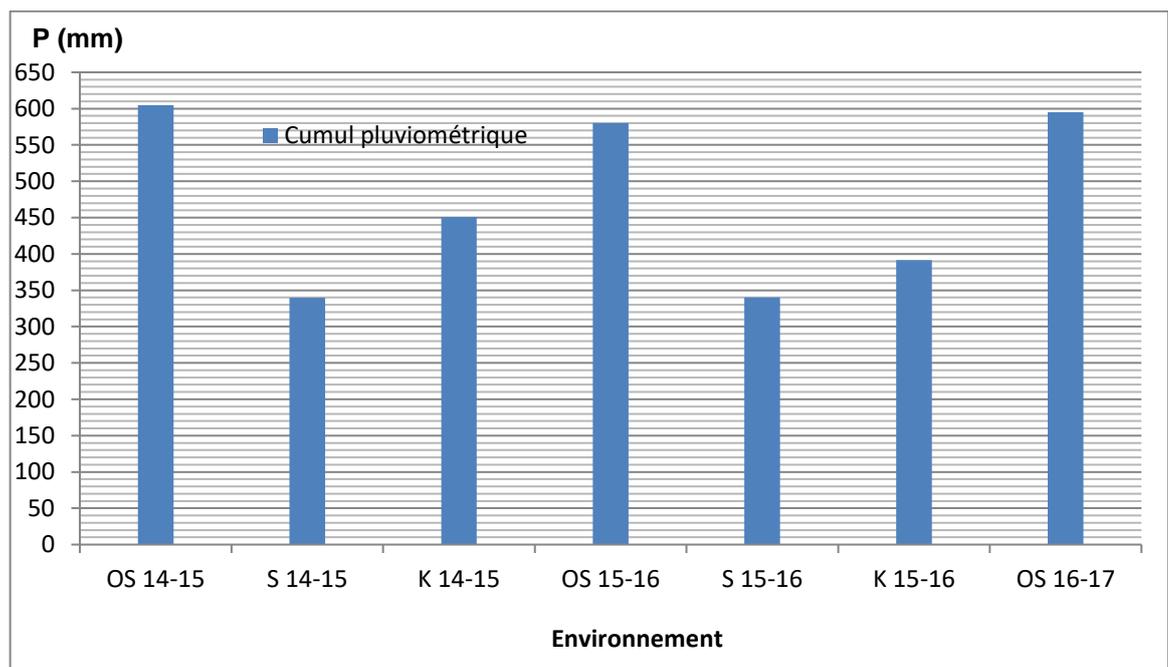


Figure 3.1 : Le cumul pluviométrique enregistré sur les environnements étudiés dans les sites expérimentaux.

Du point de vue distribution mensuelle des précipitations, la répartition pluviométrique au cours nos expérimentations, présente une grande variabilité mensuelle en effet, La campagne 2014/2015, mis à part le mois d'avril qui a été marqué par l'absence de pluviométrie accompagné de faibles quantités enregistrées en mai dans toutes les stations, la répartition des pluies de septembre jusqu'au février était favorable pour le bon démarrage des plantules

ainsi que la croissance et le développement des plantes au cours du stade végétatif ceci est dû non seulement au pic enregistré en décembre mais également au cumul de pluie à partir du mois décembre au mois de février qui est respectivement de l'ordre de 179 mm, 381.5 mm (Oued Smar), 120.4, 197 (Khemis Miliana) et 75.3, 290.4 (Sétif) (Figure 3.2).

La campagne 2015/16 a été marquée par une très bonne répartition avec des quantités importantes de pluie, durant tout le cycle dans la station d'Oued Smar sauf le mois de décembre où on a rien reçu, tandis que dans les autres stations Sétif et Khemis Miliana, des quantités insuffisantes de pluie en novembre et en janvier intercalées par l'absence totale de pluie en décembre, ceci peut causer un mauvais démarrage de la végétation, mais à partir du mois de février jusqu'à la fin du cycle un cumul de 282,6mm à Khemis Miliana et 198mm à Sétif, pourrait être utile pour accentuer la croissance et le développement des plantes surtout dans la phase reproductrice (Figure 3.2).

Ces résultats indiquent la grande variabilité climatique, d'ordre pluviométrique, à laquelle est soumise la production du blé dur. Ces résultats indiquent aussi que la contrainte hydrique, de nature intermittente, est doublement variable, du point de vue intensité et du point de vue positionnement le long du cycle de la culture. Ceci complique l'identification du stade végétatif pour lequel il faut chercher la tolérance génétique au manque d'eau et qu'il faut cibler une tolérance globale présente tout le long du cycle végétatif. En l'occurrence, la température moyenne mensuelle présente une distribution bimodale, une température basse au cours du stade végétatif (levée, tallage, montaison, gonflement) à partir du mois de décembre. Jusqu'au mois de mars dans les deux stations Oued Smar et Khemis Miliana et de novembre à avril dans la station de Sétif et une température élevée au début de la campagne agricole et au cours du stade reproducteur (floraison, remplissage du grain) (Figure 3.2).

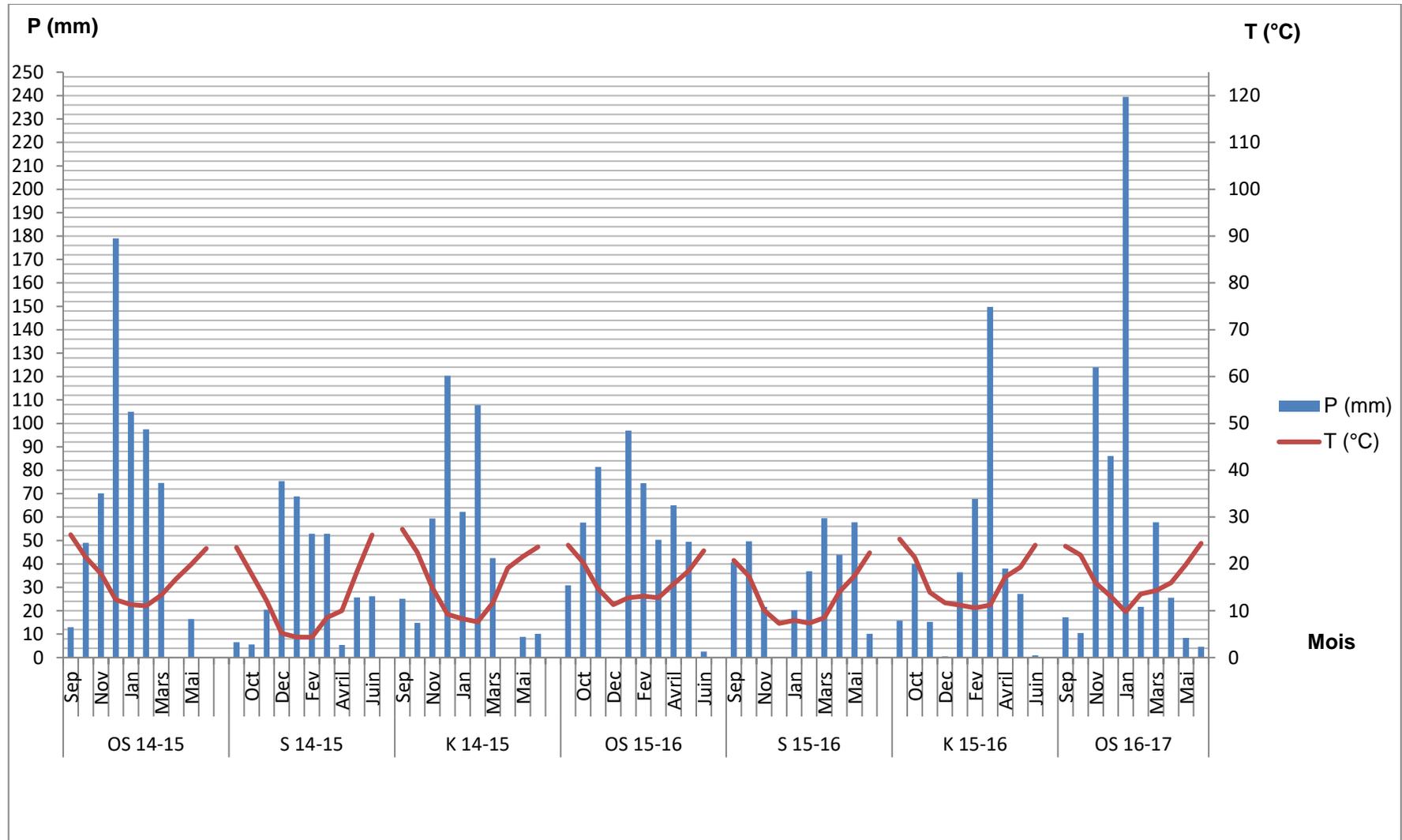


Figure 3.2 : Variation de la température et de la pluviométrie mensuelles durant les campagnes d'études

Cette variation de la température limite la croissance de la végétation au cours de la période où généralement le sol est humide et accélère la croissance à un moment où la contrainte hydrique est plus accentuée. Ces résultats suggèrent que la sélection doit cibler des génotypes qui tolèrent les basses températures au cours de la phase végétative et les températures élevées au cours de la phase de reproduction.

### **3.1.2. Variation des performances**

#### **3.1.2.1. Durée de la phase végétative (DPV)**

L'analyse de la variance des valeurs prises par la variable durée de la phase végétative indique des effets principaux site et variété significatifs ainsi que leur interaction (Tableau 3.1). Selon l'environnement, la moyenne de la durée de la phase végétative varie de 100.9 jours, moyenne enregistrée à Oued Smar en 2016 à 151.2 jours, moyenne notée sur le site de Sétif en 2015 (Tableau 3.2). En moyenne des deux campagnes, le site de Sétif est le plus tardif avec une valeur moyenne de 137.4 jours suivi du site de Khemis Miliana avec une valeur moyenne de 124.7 jours, et le site d'Oued Smar est le plus précoce avec une moyenne de 103.6 jours (Tableau 3.2).

L'amplitude intrasite et inter campagnes est plus importante au niveau de Khemis Miliana (43 jours) et Sétif (27.6 jours), qu'au niveau d'Oued Smar (4.5 jours). Cette amplitude semble trouver une explication partielle dans l'altitude du site et de son éloignement de l'influence maritime. Les environnements dont le climat est relativement plus rigoureux allongent la durée du cycle, à l'inverse, les environnements, dont le climat est relativement plus doux, accélèrent le rythme de développement de la végétation, et de ce fait raccourcissent de la durée de la phase végétative. A cet effet Abbassenne et al. [90] rapportent une variation inter années de 3 jours pour la durée de la phase végétative chez les génotypes précoces à 19 jours chez les plus tardifs.

L'étude, de l'effet principal variété, indique que la durée de la phase végétative varie de la valeur de 113.1 jours observée chez GTA dur à 128.9 jours chez

Hedba<sub>03</sub>. Utilisant la valeur de la Ppds5% on classe les 14 variétés évaluées en trois groupes de précocités significativement différentes (Tableau 3.3) :

- ✓ Groupe précoce avec une moyenne variant de 113.1 à  $113.1 + 6.4 = 119.5$  jours. Ce groupe est constitué des variétés GTA dur, Boussellam, Simeto, Cirta, Mexicali, Waha, Chen's, Ammar<sub>06</sub>, et Vitron.
- ✓ Groupe demi précoce avec une moyenne de la durée de la phase végétative variant de 119.6 à 122.4 jours et qui comprend les variétés Ofanto et Megress
- ✓ Groupe tardif avec une moyenne supérieure à 122.4 jours. Ce groupe est constitué des variétés dites Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB.

Tableau 3.1. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées

Source	Env (S)	Rep/Env	Variété (V)	E x V	Résiduelle
Ddl	6	21	13	78	273
DPV	25810.4**	0.1	626.42**	142.62**	0.1
RDT	6777.65**	12.8	460.99**	104.00**	4.5
NE	384734**	707.4	24655.90**	6384.01**	354.9
NGE	3460.96**	21.9	307.11**	91.96**	8.2
PMG	5012.38**	4.4	100.99**	18.64**	1.7
NGM <sup>2</sup>	1083.46**	3.2	109.41**	18.67**	1.3
HFV	22214.30**	30.5	4712.11**	343.37**	13.6
LEB	129.53**	1.4	24.65**	4.965**	0.8
LB	94.57**	0.8	20.65**	3.99*	0.7
CHA	83.58**	1.4	16.01ns	11.93**	0.5
CHB	1251.24**	4.1	64.28ns	54.11**	2.4
CHAB	959.42**	16.6	58.05ns	46.63**	4.6
TRE	1157.49**	5.3	20.40ns	16.15**	3.6
SUC	27910.40**	53.7	3022.15**	982.16**	34.7

\*\*Très hautement significatif, DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la plante, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CH<sub>a</sub>= Chlorophylle a, CH<sub>b</sub>= Chlorophylle b, CH<sub>ab</sub>= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles.

La signification statistique de l'interaction suggère que le classement des variétés pour le degré de précocité change d'un environnement à un autre. C'est-à-dire qu'un génotype donné peut se montrer précoce qu'un autre dans un environnement donné, et il devient plus tardif que ce dernier dans un autre environnement.

Tableau 3.2. Effet moyen environnement des variables mesurées

Site	Set14	Set15	OS14	OS15	OS16	KH14	KH15	Ppds5%
ENV	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	
DPV	123.6	151.2	105.4	104.6	100.9	103.1	146.1	0.1
RDT	31.2	35.1	25.7	34.5	16.2	7.0	35.3	1.4
NE	211.3	276.4	272.9	357.6	124.3	230.0	358.0	10.5
NGE	37.5	48.8	52.2	51.5	54.3	34.6	41.2	1.8
PMG	39.4	42.6	36.5	39.4	52.5	20.7	36.4	0.8
NGM <sup>2</sup>	7902	13548	14310	18444	6855	8087	14873	706
HFV	59.2	93.6	72.5	112.9	100.8	64.3	77.2	2.2
LEB	17.0	18.0	18.5	20.1	20.3	16.9	16.7	0.5
LB	10.6	10.8	11.2	12.6	12.1	9.3	9.2	0.4
CHL <sub>a</sub>	34.5	38.0	35.1	34.5	34.7	35.1	35.0	0.5
CHL <sub>b</sub>	20.1	23.5	24.8	15.6	15.9	27.2	25.9	0.8
CHL <sub>ab</sub>	72.8	81.8	77.8	71.0	71.6	79.0	77.8	1.6
TRE	71.8	68.9	68.8	74.4	74.6	63.7	63.7	0.9
SUC	75.0	55.6	76.2	44.6	45.7	108.9	70.1	2.9

E1= Setif 2014/15, E2= Setif 2015/16, E3= Oued Smar 2014/15, E4= Oued Smar 2015/16, E5= Oued Smar 2016/17, E6= Khemis Miliana 2014/15, E7= Khemis Miliana 2015/16. ENV=Environnement, DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la plante, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CHL<sub>a</sub> = Chlorophylle a, CHL<sub>b</sub> = Chlorophylle b, CHL<sub>ab</sub>= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles.

L'analyse graphique de l'interaction génotype x environnement suggère la présence de tels comportements. Ainsi Boussellam, Ofanto et Megress présentent le même degré de précocité dans l'environnement E5, avec une durée de la phase végétative de 102.0 jours. Dans l'environnement E4, le comportement de ces trois génotypes change significativement, puisque Megress devient précoce avec une durée de 99.0 jours alors que Boussellam et Ofanto sont plus tardifs avec une durée moyenne de 110 jours (Figure 3.3).

L'interaction quoique de nature quantitative, est aussi notée entre les cultivars Hedba<sub>03</sub> et Bidi<sub>17</sub>, qui, dans l'environnement E5, sont de même précocité avec 115.0 Jours, dans l'environnement E4, Hedba<sub>03</sub> devient plus tardif (123 jours) que Bidi<sub>17</sub> (119.0) ainsi que dans l'environnement E3 où Hedba<sub>03</sub> score 121.0 jours et Bidi<sub>17</sub>, 110.0 jours (Figure 3.3). L'ordre de classement des différentes variétés est donné au tableau 3.4.

Tableau 3.3. Effet moyen variété des variables mesurées

Var	GTA	BOU	OFA	SIM	H3	CIR	MEX	WAH
DPV	113.1	116.3	121.0	118.6	128.9	117.9	115.9	116.4
RDT	32.5	25.0	27.8	31.1	17.3	26.3	26.8	23.6
NE	297.6	290.5	267.5	263.9	210.5	253.2	280.2	280.7
NGE	52.2	45.5	45.7	48.2	39.5	46.6	46.6	46.7
PMG	36.1	38.2	40.0	40.7	37.5	38.0	37.6	34.5
NGM <sup>2</sup>	15584	13115	12394	12750	8355	11824	12785	12698
HFV	77.3	81.6	72.7	75.4	111.2	75.5	78.9	79.7
LEB	18.5	18.6	18.9	17.1	19.5	17.9	17.3	18.7
LB	10.7	11.3	11.6	10.4	11.1	9.6	9.8	11.2
CHL <sub>a</sub>	34.5	35.0	34.5	34.9	36.7	35.0	34.8	34.9
CHL <sub>b</sub>	19.7	20.7	23.2	23.7	23.1	20.6	23.0	23.8
CHL <sub>ab</sub>	73.5	75.3	75.6	76.5	79.3	74.5	76.1	76.6
TRE	69.9	69.6	70.1	70.3	69.8	70.3	70.8	68.5
SUC	90.4	69.8	73.5	73.9	57.0	68.3	65.9	61.9

Var	B17	CHE	AM6	MEG	MBB	VIT		Ppds5%
DPV	126.7	116.7	117.0	119.8	126.1	115.7		6.4
RDT	21.8	30.3	28.8	27.2	22.8	28.8		5.4
NE	200.5	274.9	272.8	271.3	222.0	275.4		42.5
NGE	41.2	48.3	47.5	42.8	42.3	47.2		5.1
PMG	41.1	38.2	37.7	40.8	38.2	36.4		2.3
NGM <sup>2</sup>	8504	13226	12604	11732	9469	13000		2299
HFV	106.6	73.5	76.7	75.1	100.7	76.0		9.9
LEB	19.7	16.7	17.3	18.7	17.4	18.8		1.2
LB	12.7	9.9	10.1	11.7	10.3	11.0		1.1
CHL <sub>a</sub>	36.5	35.2	35.0	34.8	36.6	35.3		1.8
CHL <sub>b</sub>	20.0	21.2	22.5	22.9	21.8	19.6		3.9
CHL <sub>ab</sub>	77.3	75.1	75.6	75.9	77.4	74.7		3.6
TRE	69.2	68.3	68.5	69.5	69.2	68.0		2.1
SUC	71.2	95.8	69.8	80.6	55.4	99.4		16.7

DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la plante, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CH<sub>a</sub>= Chlorophylle a, CH<sub>b</sub>= Chlorophylle b, CH<sub>ab</sub>= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 =Hedba03, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 =Bidi17, CHE = Chen's, AM6 =Amar06, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT= Vitron.

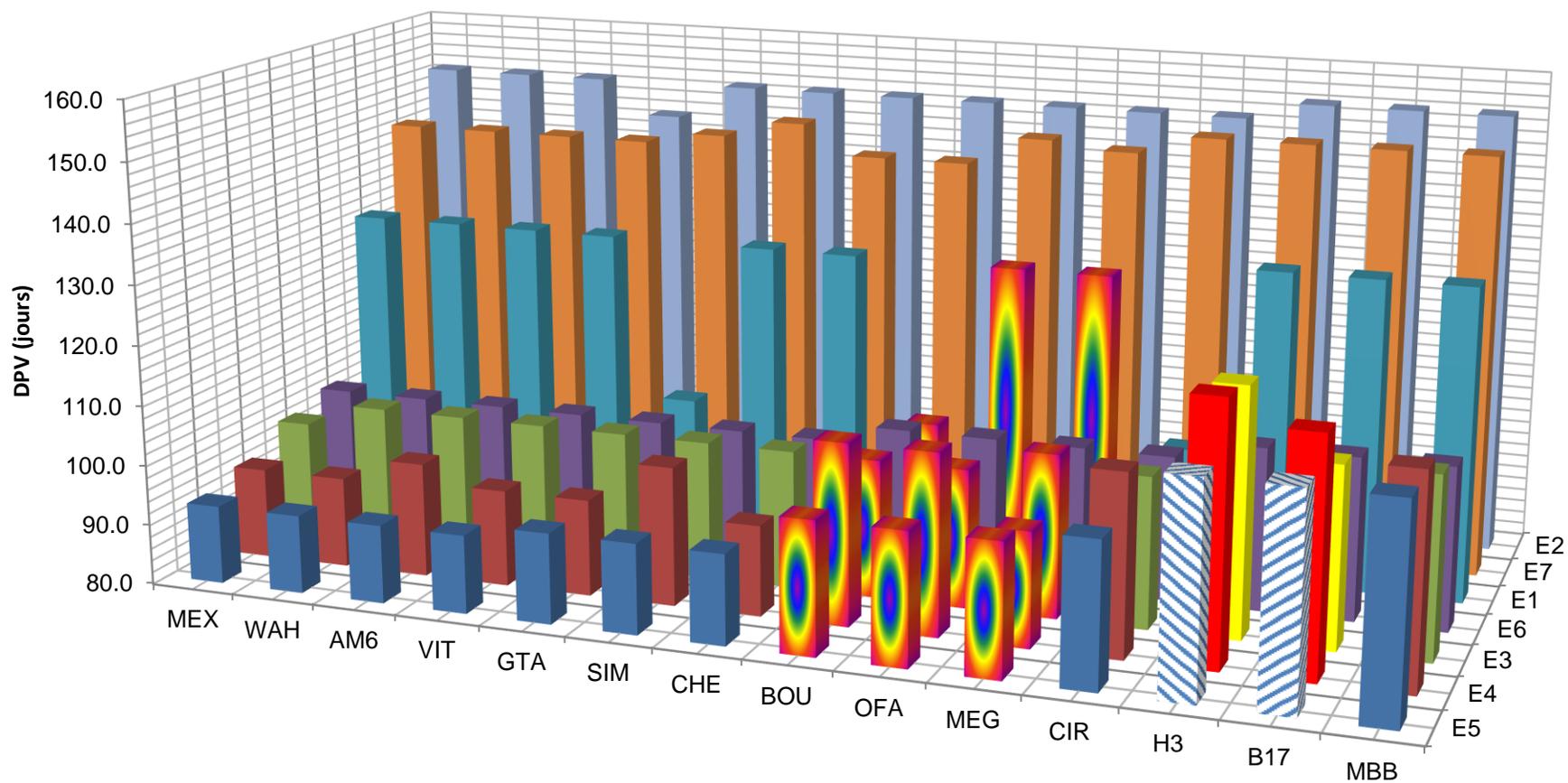


Figure 3.3. Variation de la durée de la phase végétative en fonction des variétés et des environnements.

Si on considère que les classements de 1 à 5 sont ceux des génotypes précoces, ceux de 6 à 10 sont ceux des génotypes demi précoces et au-delà de 11 sont les classements des génotypes tardifs, on note que Ammar<sub>6</sub>, Chen's, GTA dur, Mexicali, Vitron et Waha, malgré la variation de leurs moyennes de la durée de la phase végétative, elles se maintiennent dans la classe précoce, avec un classement variant de 1 à 5.

La même observation est notée pour Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB qui se maintiennent dans la classe des tardifs avec un classement qui varie de 11 à 14, de 11 à 13 et de 11 à 12 respectivement (Tableau 3.4). Les autres génotypes réagissent à la variation des environnements en changeant de classement de précocité. Boussellam se comporte comme précoce dans les environnements E1, E2, E3 et E7 ; il devient demi précoce dans les environnements E4, E5 et E6. Des comportements similaires à celui de Boussellam, sont notés pour Cirta, Megress, Ofanto et Simeto (Tableau 3.4).

L'inversion de l'ordre de classement est généralement peu observée pour la durée de la phase végétative, dans la comparaison des génotypes récents et ceux issues de la sélection à l'intérieur des variétés populations locales. Ainsi Laala et al. [273] rapportent que les moyennes de la durée de la phase végétative changent en valeurs, d'un environnement à un autre, chez un génotype donné, cependant on observe rarement des inversions dans le classement des génotypes.

Dans le cadre de la présente étude, la durée de la phase végétative est relativement plus longue uniquement chez les variétés locales MBB, Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub>. Ces variétés, qui sont de moins en moins adoptées par la grande culture, introduisent la variabilité de la durée de la phase végétative dans le sens non désiré par la sélection. Dans ce contexte Adjabi et al. [274] proposent de ne pas inclure ces variétés comme témoin référence de la précocité d'épiaison.

Ces auteurs suggèrent d'utiliser Waha et Boussellam qui appartiennent, respectivement, aux classes précoce et demi précoce, comme standard de la précocité. En effet, Waha présente un gain de 15.3% en précocité par rapport à MBB et uniquement un gain de 7.5% par rapport à Boussellam. Les

environnements les plus discriminants entre les variétés évaluées pour la durée de la phase végétative sont les environnements E4 et E5 avec des variances de 94.7 et 74.1. Les moins discriminants sont les environnements E2, E6 et E7, avec des variances de 4.8, 6.1 et 9.8 (Figure 3.4).

Tableau 3.4. Classement des variétés selon le degré de précocité estimé par la durée de la phase végétative : classement de 1 à 5 = précoce, 6 à 10 demi précoce, >10 tardif.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
AM6	4.0	2.0	2.0	6.0	1.0	1.0	1.0
B17	12	12.0	12.0	13.0	12.0	12.0	11.0
BOU	1.0	2.0	2.0	9.0	8.0	8.0	1.0
CHE	4.0	2.0	2.0	1.0	5.0	1.0	1.0
CIR	1.0	2.0	10.0	9.0	11.0	8.0	11.0
GTA	1.0	2.0	2.0	4.0	5.0	1.0	7.0
H3	12.0	12.0	14.0	14.0	12.0	12.0	11.0
MBB	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0
MEG	4.0	2.0	11.0	6.0	8.0	8.0	8.0
MEX	4.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
OFA	4.0	2.0	2.0	9.0	8.0	8.0	9.0
SIM	4.0	2.0	2.0	8.0	5.0	1.0	9.0
VIT	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	1.0	1.0
WAH	4.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0

E1= Setif 2014/15, E2= Setif 2015/16, E3= Oued Smar 2014/15, E4= Oued Smar 2015/16, E5= Oued Smar 2016/17, E6= Khemis Miliana 2014/15, E7= Khemis Miliana 2015/16 GTA =Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 =Hedba03, CIR = Cirta, MEX =Mexicali, WAH= Waha, B17 =Bidi17, CHE = Chen's, AM6 =Amar06, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT= Vitron.

L'épiaison est une caractéristique très importante dans l'adaptation de la céréale à un milieu donné [275]. Elle détermine la durée des phases de développement qui jouent un rôle important dans l'élaboration des composantes du rendement et dans l'évitement des accidents climatiques défavorables [90]. De ce fait la sélection sur la base de cette caractéristique est, certes, faite dans le sens de la réduction de la durée de cette phase mais tout en tenant compte de la relation avec le rendement en grains. En effet en absence de stress les génotypes relativement tardifs produisent plus, alors que sous conditions de stress, les génotypes précoces évitent le sinistre [8]. Mekhlouf et al. [58] comparant le comportement du cultivar standard MBB à celui de Waha, rapportent que si la précocité est désirable en milieu semi-aride pour éviter le déficit hydrique et les

hautes températures de fin de cycle, elle fait courir le risque du gel printanier tardif sur les hauts plateaux.

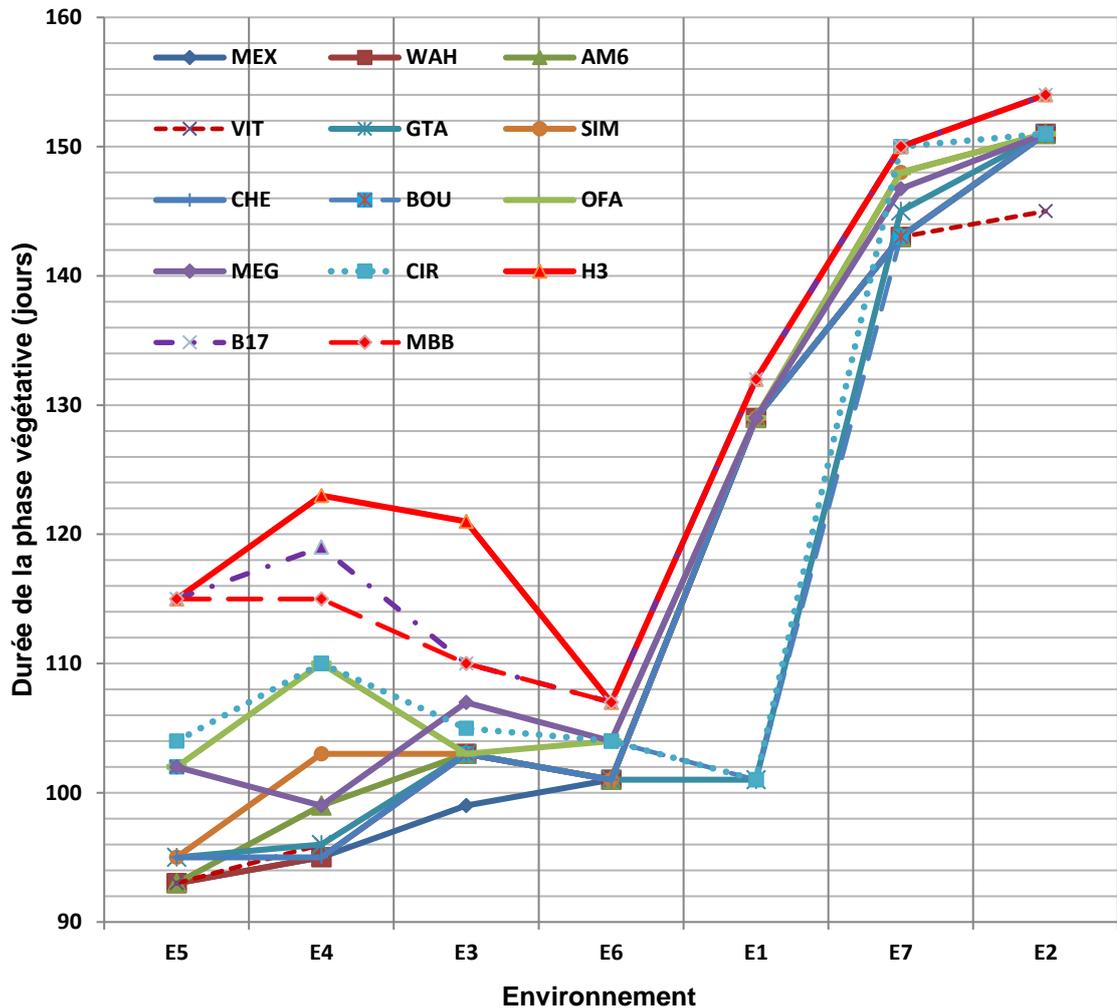


Figure 3.4. Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la durée de la phase végétative.

### 3.1.2.2. Rendement en grains (RDT)

L'analyse de la variance de la variable rendement en grains indique des effets principaux site et variété significatifs ainsi que leur interaction (Tableau 3.1). En moyenne des 14 variétés étudiées, le rendement moyen varie de 7.0 q/ha dans l'environnement E6 à 35.3 q/ha dans l'environnement E7 (Tableau 3.2). Par site, et en moyenne des campagnes d'étude et des 14 variétés, le rendement est de 33.2 q/ha à Sétif, de 19.2 q/ha à Oued Smar (moyenne de trois campagnes) et de 21.2 q/ha à Khemis Miliana.

La variation intra site et inter campagnes est faible à Sétif (3.9 q/ha), et élevée à Oued Smar (18.4 q/ha) et à Khemis Miliana (28.3 q/ha). Ces variations expliquent en grande partie la variation de la production nationale de céréales, qui est imputée, de manière générale, aux conditions climatiques. Cette variation, assez large, induit des difficultés de cerner le potentiel de rendement à cibler en termes de sélection de nouvelles variétés, puisque ce potentiel varie largement d'un environnement à l'autre.

L'analyse de l'effet moyen variété indique qu'en moyenne des 7 environnements testés, que GTA dur, Simeto, Chen's, Vitron, Ammar<sub>6</sub>, Ofanto et Megress affichent les meilleurs rendements en grains avec des moyennes respectives de 32.5, 31.1, 30.3, 28.8, 28.8, 27.8 et 27.2 q/ha. Ces rendements ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre, relativement à la valeur de la plus petite différence significative au seuil de 5% qui est de 5.4 q/ha. Les variétés, qui sont significativement les moins productives, sont MBB, Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub>, avec, respectivement, des moyennes de rendement de 22.8, 21.8 et 17.3 q/ha. Boussellam et Waha qui sont des témoins standards, occupent une position intermédiaire, avec des moyennes de rendement de 25.0 et 23.6 q/ha (Tableau 3.3).

L'analyse de l'interaction génotype x environnements indique que le meilleur génotype varie en fonction de l'environnement (Tableau 3.5). En effet dans l'environnement E1, Ofanto et MBB occupent la tête de classement avec des rendements moyens de 40.5 et 39.7 q/ha. Dans l'environnement E2, Chen's est le meilleur avec 45.3 q/ha. GTA dur occupe la tête de classement dans trois environnements E3 (36.3 q/ha), E4 (51.3 q/ha) et E5 (19.6 q/ha) ; seul dans les environnements E3 et E4 et avec Ammar<sub>6</sub> (21.8 q/ha), Megress (22.6 q/ha) et Simeto (19.9 q/ha) dans l'environnement E5. Dans l'environnement E6, les meilleures variétés sont Vitron et Mexicali avec des rendements de 13.8 et 11.9 q/ha. Dans l'environnement E7, Simeto est le meilleur avec 52.3 q/ha. Les variétés les moins performantes sont Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et à un degré moindre MBB (Tableau 3.5).

Tableau 3.5. Moyennes des rendements par environnement, coefficient de variation Cv et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	Cv%	Pi	
AM6	27.6	36.3	25.5	38.6	21.8	7.6	44.5	28.8	42.8	44.6	
B17	29.0	31.8	22.0	24.6	8.1	4.5	32.8	21.8	52.0	136.7	
BOU	31.8	33.2	20.0	26.9	14.8	7.3	41.2	25.0	46.8	93.4	
CHE	27.9	45.3	29.2	39.9	18.3	7.7	43.8	30.3	46.0	33.6	
CIR	30.4	36.2	26.9	30.6	16.3	4.4	39.3	26.3	46.1	71.3	
GTA	37.0	35.9	36.3	51.3	19.6	7.1	40.3	32.5	44.9	21.4	
H3	22.0	26.6	18.4	21.6	7.2	2.9	22.6	17.3	50.9	223.7	
MBB	39.7	31.5	21.9	26.1	10.0	1.2	29.4	22.8	57.9	133.9	
MEG	36.7	33.9	22.2	32.8	22.6	5.0	37.0	27.2	42.6	71.3	
MEX	24.3	37.3	25.6	34.5	16.0	11.9	37.9	26.8	38.6	69.9	
OFA	40.5	39.3	24.2	33.4	17.4	8.0	32.3	27.8	43.0	69.1	
SIM	33.2	35.5	27.4	41.6	19.9	7.6	52.3	31.1	46.9	26.4	
VIT	30.3	36.7	31.8	46.7	19.1	13.8	23.2	28.8	38.7	77.2	
WAH	26.0	32.1	28.7	35.1	16.4	8.9	18.2	23.6	39.9	138.0	
X.j	31.2	35.1	25.7	34.5	16.2	7.0	35.3	26.4	42.8	86.5	
Ppds5%	3.0							5.4			

E1= Setif 2014/15, E2= Setif 2015/16, E3= Oued Smar 2014/15, E4= Oued Smar 2015/16, E5= Oued Smar 2016/17, E6= Khemis Miliana 2014/15, E7= Khemis Miliana 2015/16 GTA =Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 =Hedba03, CIR = Cirta, MEX =Mexicali, WAH= Waha, B17 =Bidi17, CHE = Chen's, AM6 =Amar06, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT= Vitron.

Ce genre de comportement variétal, induit par l'interaction G x E, est rapporté par plusieurs études dont Nouar et al. [211], Kadi et al. [276], Bendjama et al. [277], et Haddad et al. [216]. Il rend le choix des meilleurs génotypes difficile suite à l'instabilité des performances dans le temps et l'espace. La sélection doit donc se faire sur la base de la performance de rendement tout en tenant compte de l'adaptabilité à la variabilité des environnements. Dans ce contexte l'utilisation des indices de sélection est recommandée [186].

Kadi et al. [276] suggèrent l'utilisation de l'indice Pi de Lin et Binns [262]. Cet indice calcule l'écart de performance du génotype ciblé par rapport à celle du meilleur génotype dans un environnement donné. La somme des carrés des écarts de tous les environnements testés, forme un indice qui donne une indication sur, simultanément, la performance et la stabilité du génotype ciblé. Plus la valeur de cet indice est faible plus la performance du génotype ciblé s'écarte moins du meilleur génotype par environnement. L'indice Pi calculé pour les 14 variétés évaluées dans la présente étude varie de 21.4, valeur de l'indice

du génotype GTA dur à 223.7, valeur de l'indice du cultivar Hedba<sub>03</sub> (Tableau 3.5). Les deux génotypes qui méritent d'être sélectionnés sur la base de la stabilité et la performance de rendement en grains sont GTA dur et Simeto, dont les valeurs de l'indice Pi sont de 21.4 et 26.4 (Tableau 3.5).

Le coefficient de variation exprime le pourcentage de variabilité pour le même génotype à travers les environnements. Les valeurs élevées de ce paramètre sont donc indicatrices d'une variabilité inter-environnements élevée. Plus la valeur du Cv(%) est élevée plus la variété est instable. Ces valeurs varient de 38.6 pour la variété Mexicali à 57.9% valeur de Cv du génotype MBB. Prenant en considération les coefficients de variation les plus faibles et les valeurs moyennes les plus élevées, les variétés performantes et stables qui font l'objet d'une sélection sont GTA dur, Ofanto, Mexicali, Amar<sub>6</sub>, Megress et Vitron (Tableau 3.5, Figure 3.5).

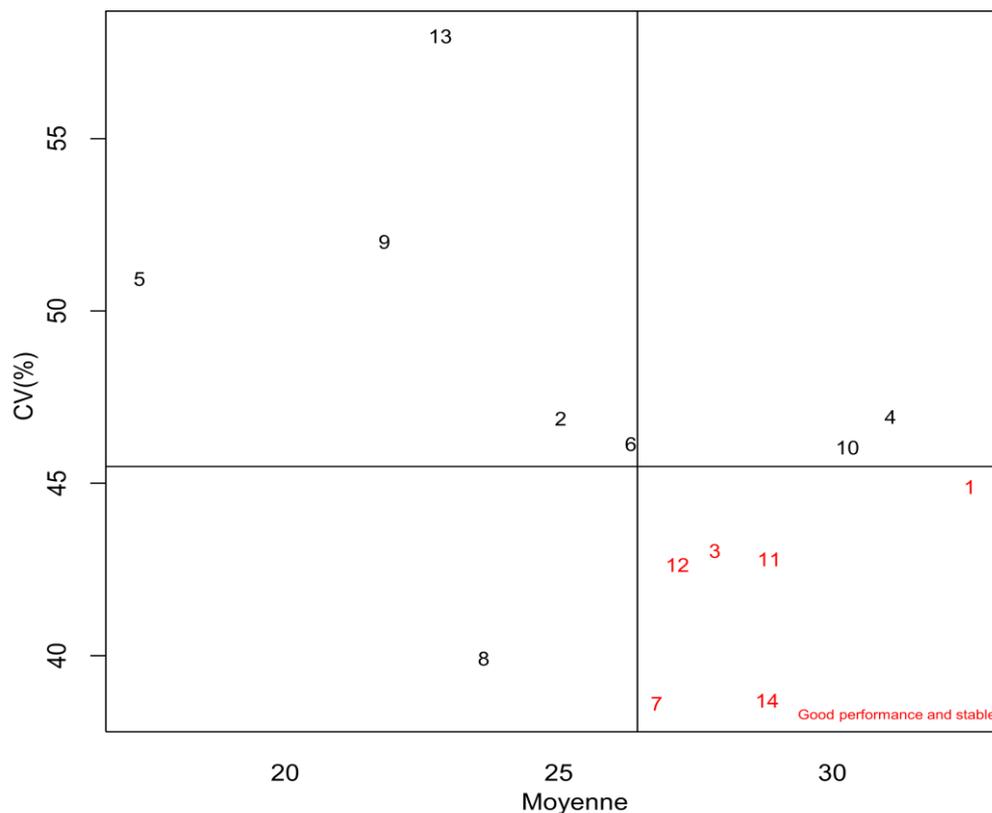


Figure 3.5 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le rendement sur la base du coefficient de variation. **3** (Ofanto), **7** (Mexicali), **11** (Amar<sub>06</sub>), **12** (Megress), **14** (Vitron) : variétés performantes et stables

Les gains de rendement induits par la sélection de deux cultivars Simeto et GTA dur sur la base de l'indice Pi à travers l'ensemble des environnements,

relativement à la moyenne de rendements des témoins standards Boussellam, Waha et MBB, varie de 11.15% dans E2 à 74.64% dans E4, pour GTA dur et de 2.13% dans E1 à 76.68% dans E7, pour Simeto (Figure 3.6). Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Bendjama [278] qui rapportent que le rendement grains varie en fonction des sites, des années, des génotypes et de leur interaction. Ces auteurs mentionnent que la plus grande variation de cette variable est induite surtout par l'effet site, suivi de l'effet interaction site x années dont la somme des variations absorbe 74.2 % de la somme totale des carrés des écarts.

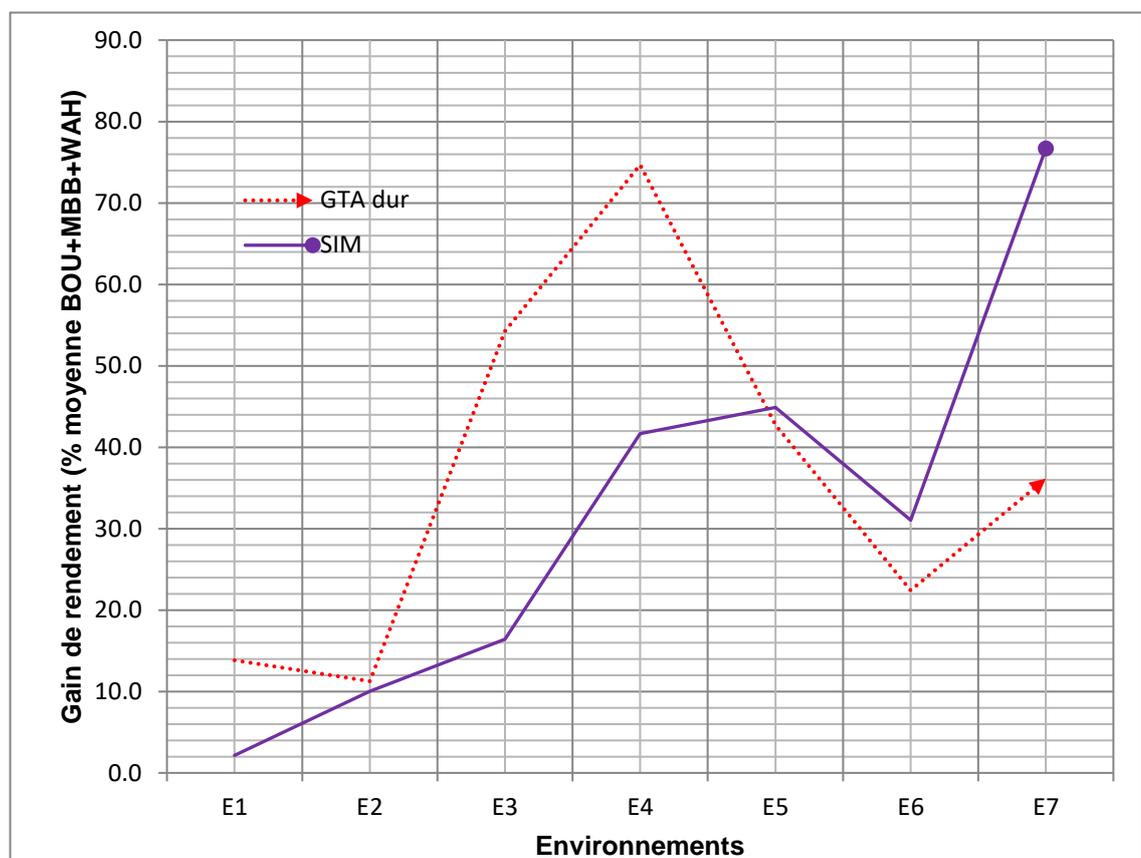


Figure 3.6. Gains de rendements en grains, relativement à la moyenne des trois témoins standards : Boussellam, Waha et MBB, générés par la sélection de GTA dur et Simeto pour l'ensemble des environnements testés.

### 3.1.2.3. Nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE)

L'ANOVA pour la variable nombre d'épis par m<sup>2</sup> montre des différences significatives pour les effets environnement, variété et leur interaction (Tableau 3.1). La moyenne du nombre d'épis par m<sup>2</sup> varie de 124.3 épis, pour le site Oued Smar en 2016 à 358.2 épis, moyenne notée sur le site de Khemis Miliana en 2015

(Tableau 3.2). En moyenne des deux années, le site de Khemis Miliana produit le plus d'épis avec une valeur moyenne de 294.0 épis suivi du site d'Oued Smar (Moyenne de trois années) avec une valeur moyenne de 251.6 épis, et le site Sétif génère le moins la montée en épis des talles avec une moyenne de 243.9 épis (Tableau 3.2).

Un écart plus important au sein des sites et entre les campagnes d'études au niveau d'Oued Smar (233.3 épis) et Khemis Miliana (128 épis), par rapport à Sétif (65.1 épis). Ces écarts interprètent partiellement les variations du rendement, et qui peuvent être expliquées, par l'expression de la capacité maximale des génotypes performants à transformer des talles herbacées en talles-épis dans une région à haut potentiel comme Oued Smar, par rapport à une autre localité qui montre des contraintes freinant de ce fait, l'expression du caractère chez les variétés performants.

L'effet principal variété, montre que le nombre d'épis par m<sup>2</sup> change de valeur de 200.5 épis chez Hedba<sub>03</sub> à 297.6 épis chez GTA dur. En utilisant la valeur de la Ppds 5% de 42.5, en moyenne des 7 environnements testés, les variétés standards Boussellam et Waha se classent avec GTA dur, Mexicali, Vitron, Chen's, Amar<sub>06</sub>, Megress, Ofanto et Simeto, avec des valeurs moyennes allant de 263.9 à 297.6 épis/m<sup>2</sup>. Les variétés, significativement moins productives d'épis, sont MBB, Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub> avec des moyennes qui se situent entre 200.5 et 222 épis. (Tableau 3.3). L'analyse de l'interaction génotype x environnement, montre que le meilleur génotype varie d'un environnement à un autre (Tableau 3.6). Megress est la meilleure variété productrice d'épis dans trois environnements E1, E2 et E5, avec 267.0, 306.3, et 171.0 épis/m<sup>2</sup>, respectivement. Seule dans E1, avec Bousselam, Chen's, Mexicali, Vitron et Waha dans E2 et avec Gta dur, Ofanto et Vitron dans E5. Dans l'environnement E3 Chen's et Gta dur se trouve en tête de classement avec des valeurs moyennes respectives 311,8 et 325 épis. Les génotypes Bousselam, Mexicali et Gta dur sont les meilleurs dans E4 (Bousselam), E6 (Mexicali) et E7 (Gta dur) respectivement. Les variétés les moins performantes sont Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et à un degré moindre MBB (Tableau 3.6).

Tableau 3.6. Moyennes du nombre d'épi par m<sup>2</sup> par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	CV	Pi	
AM6	207,5	283,3	261,3	331,7	129,5	270,8	425,8	272,8	34,1	3276	
BD17	185,3	222,9	231,0	285,4	74,5	159,8	245,0	200,5	34,3	12592	
BOU	226,5	296,3	270,5	484,6	112,3	231,5	411,7	290,5	42,7	2165	
CHE	193,8	302,5	325,5	297,1	141,0	274,5	390,0	274,9	30,3	4322	
CIR	211,5	260,8	274,3	390,8	125,5	148,5	360,8	253,2	39,5	5647	
GTA	212,3	269,2	311,8	382,1	149,8	248,0	510,0	297,6	40,0	1783	
H3	215,0	217,5	245,0	292,1	55,0	199,5	249,2	210,5	35,6	11236	
MBB	238,3	286,3	264,0	277,1	104,8	127,0	256,7	222,0	33,5	11658	
MEG	267,0	306,3	261,0	370,4	171,0	177,8	345,8	271,3	28,4	5084	
MEX	173,3	313,8	265,8	393,8	110,3	342,0	362,5	280,2	37,2	3290	
OFA	200,0	274,6	269,3	373,3	158,8	231,0	365,8	267,5	30,0	3916	
SIM	205,0	235,0	272,5	370,0	128,0	246,3	390,8	263,9	34,8	3657	
VIT	222,0	296,3	295,3	390,4	147,5	285,3	290,8	275,4	27,2	4566	
WAH	200,3	305,0	274,0	367,5	133,0	278,8	406,7	280,7	33,3	2644	
Xj	211,3	276,4	272,9	357,6	124,3	230,0	358,0	261,5			
Ppds5%	26.2							42.5			

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Le nombre d'épi/m<sup>2</sup> est comme un critère de sélection puisqu'il permet l'estimation du rendement. La sélection des nouvelles variétés pour le rendement en grain doit se faire en fonction de ce caractère. Laala et al. [9] rapportent que le nombre d'épi est un caractère adaptatif qui régule la production en milieux variables. Ferdous et al. [279], mentionnent que le nombre d'épis par plante contribue positivement au rendement, de ce fait il doit être inclus dans un indice de sélection pour améliorer le rendement. Oulmi [280] trouve que le rendement grain est étroitement lié au nombre d'épis intra et inter générations et propose de sélectionner ce caractère pour améliorer indirectement le rendement en grains.

Dans la présente étude, l'indice Pi varie pour les 14 variétés étudiées de 1783.4 valeur attribuée au génotype GTA dur à 11658.1, valeur de l'indice de la variété MBB (Tableau 3.6). Le meilleur génotype, considéré performant et stable sur la base de l'indice Pi est GTA dur. Les valeurs du coefficient de variation varient de 28.4 pour la variété Megress à 42.7% valeur de Cv du génotype Boussellam. Prenant les valeurs faibles du coefficient de variation, et les valeurs moyennes les

plus élevées, les variétés performantes et stables qui font l'objet d'une sélection sont Vitron, Megress, Ofanto, Chen's, Waha et Amar<sub>6</sub> (Tableau 3.6, Figure 3.7).

Ces variétés considérées stables pour le nombre d'épis peuvent contribuer à la stabilité du rendement qui est considéré l'objectif principal de la sélection. Haddad [281] dans son étude menée à Sétif, indique que les composantes du rendement y compris le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, contribuent significativement à l'interaction GxE du rendement, ce qui suggère que, pour réduire l'effet de l'IGE pour le rendement, il faut garder sous contrôle la variation, inter environnements ces caractères, qui doit être la plus faible possible.

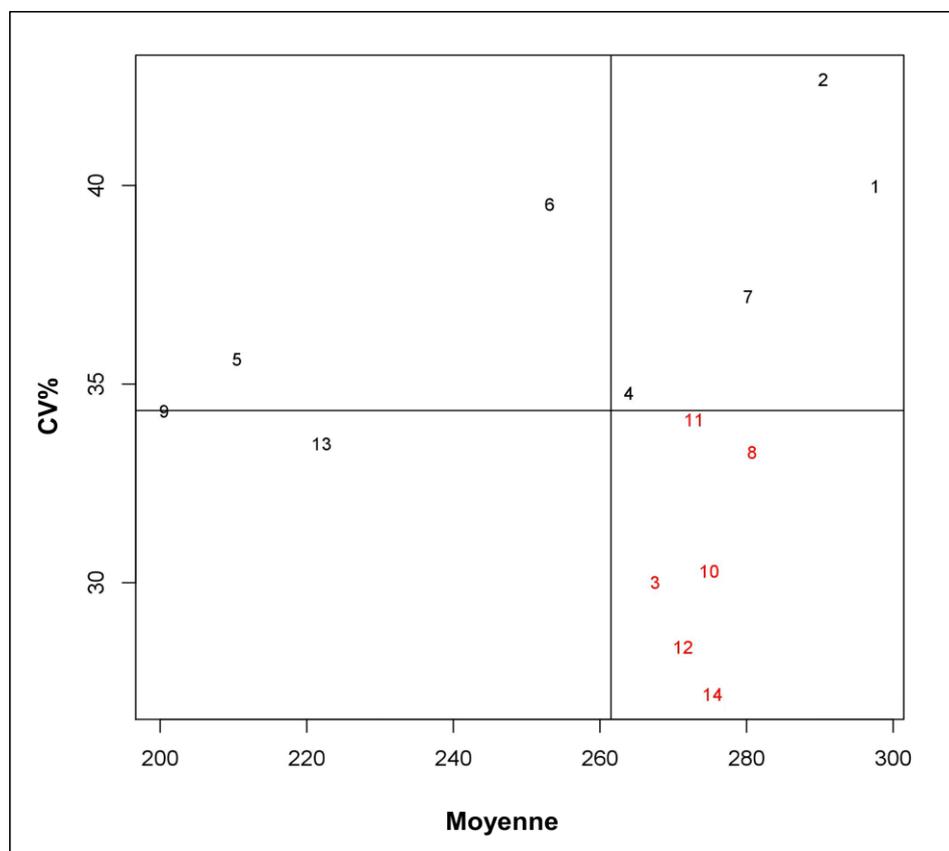


Figure 3.7 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre d'épi/m<sup>2</sup> sur la base du coefficient de variation. **3** (Ofanto), **8** (Waha), **10** (Chen's), **11** (Amar<sub>06</sub>), **12** (Megress), **14** (Vitron) : variétés performantes et stables

#### **3.1.2.4. Nombre de grains/épi (NGE)**

La valeur F de l'analyse de la variance pour le nombre de grains par épi affiche des différences significatives pour les effets environnement, variété et leur interaction (Tableau 3.1). D'après le facteur environnement, les valeurs moyennes du nombre de grains par épi changent de 34.6 grains, moyenne révélée sur le site de Khemis Miliana en 2014 à 54.3 grains, pour le site Oued Smar en 2016 (Tableau 3.2). Le facteur site représente, Oued Smar le plus producteur de grains par épi avec une valeur moyenne de 52.6 grains suivi du site de Sétif avec 43.1 grains, et le site Khemis Miliana est le moins producteur de grains par épi seulement 37.9 grains par épi (Tableau 3.2).

Il est à signaler que la variabilité dans le nombre de grains par épi, inter-sites et inter-environnements est liée d'une façon directe aux conditions climatiques certes qui se changent d'une localité par rapport à d'autre, mais aussi les potentialités génétique de l'individu dans son milieu. La relation inter composantes du rendement semble parfois négative. De ce fait, le nombre d'épi influe négativement sur le nombre de grains par épi. En effet, selon Bendjemaa [282], l'augmentation du nombre d'épis, produit par unité de surface, se traduit par une diminution de leur fertilité. Dans ce sens, le site de Khemis Miliana a été marqué par une forte production d'épis (294 épis), ceci a répercuté négativement sur le nombre de grains formés avec seulement 37.9 grains. Par contre un nombre d'épi moins élevé enregistré à Sétif (243.6 épis) avec un nombre de grain plus élevé (43.1 grains).

L'amplitude intrasite et inter campagnes pour le nombre de grains est considérable au niveau de Sétif (11.3), moyenne à Khemis Miliana (6.6) et réduite sur Oued Smar (2.8) (Tableau 3.2). Par variété, et en moyenne des campagnes et des environnements, le nombre de grains par épi produit dans un milieu donné, varie fortement entre variétés même en absence d'un facteur limitant ([283]; [284]), en effet, le nombre de grains par épi varie de la valeur de 52.2 grains observée chez GTA dur à 39.5 de grains chez Hedba<sub>03</sub>. Les meilleures variétés qui ne sont pas significativement différentes en utilisant la valeur de la Ppds5% de 5.1, sont GTA dur, Chen's, Simeto, Amar<sub>06</sub> et Vitron avec des moyennes respectives de 52.2, 48.3, 48.2, 47.5 et 47.2 grains par épi. Les

variétés les moins productrices de grains sont Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub>, MBB et Megress avec des moyennes qui se situent entre 39.5 et 42.8 grains. Les variétés témoins Waha et Boussellam, occupent une position intermédiaire, avec des valeurs moyennes de grains par épi de 46.7 et 45.5 grains (Tableau 3.3).

L'effet de l'interaction génotype x environnements indique que l'expression des potentialités de chaque génotype pour le nombre de grains s'exprime différemment d'un l'environnement à un autre. De ce fait pour une variété donnée peut paraître meilleur dans un environnement plutôt qu'un autre (Tableau 3.7).

Tableau 3.7. Moyennes du nombre de grains par épi par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	CV	Pi
AM6	37.3	48.2	54.5	53.4	64.5	34.4	40.5	47.5	22.7	44.2
B17	38.2	45.6	47.3	49.3	41.5	25.7	40.9	41.2	19.1	121.5
BOU	33.8	45.4	61.6	48.6	50	42.4	36.6	45.5	20.3	69.9
CHE	40	53.8	50.6	54.6	59.8	31.8	47.9	48.4	19.7	37.4
CIR	36.3	50.5	52.3	49.7	60.5	34.5	42.6	46.6	19.9	47.3
GTA	48.5	50.6	58.7	58.4	55.3	44.7	49.3	52.2	10.2	17.7
H3	27	44.8	42.8	50.9	44.8	28.8	37.5	39.5	22.4	146.2
MBB	41.2	46.8	43.3	43.1	50.5	29.3	41.7	42.3	15.6	103.0
MEG	31.1	47.2	42.5	54.2	52.3	34.4	37.9	42.8	20.7	99.2
MEX	36	62.3	55.3	44.8	55.8	36.8	35.2	46.6	23.9	54.0
OFA	45.3	44.1	48.5	56.1	47	34.7	44.1	45.7	14.0	72.5
SIM	36.7	49.3	54.1	56.6	60.8	32.3	47.8	48.2	21.6	41.3
VIT	37.2	51.8	55.7	53.6	56.8	37.3	38	47.2	19.5	40.8
WAH	37.1	42.8	63.8	7.8	61.5	36.8	36.8	46.7	25.0	60.4
Xj	37.6	48.8	52.2	51.5	54.4	34.6	41.2	45.7	19.6	68.2
Ppds5%	4.0									

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Dans l'environnement E1, GTA dur et Ofanto sont les meilleures variétés productrices de grains avec 48.5 et 45.3 grains. Mexicali occupe la tête de classement dans l'environnement E2 (62.3 grains). Dans E3, deux génotypes Boussellam et Waha sont les plus performants avec les moyennes respectives 61.6 et 63.8 grains. Les cultivars GTA dur (58.4 grains), Simeto (56.6 grains),

Ofanto (56.1 grains) et Chen's (54.6 grains) représentent les géotypes potentiels dans l'environnement E4. Dans l'environnement E5, Amar<sub>06</sub>, Waha, Simeto et Cirta occupent la tête de classement avec des moyennes 64.5, 61.5, 60.8 et 60.5 grains respectivement. GTA dur est le meilleur en plus de E1 et E4 dans deux autres environnements E6 (44.7) et E7 (49.3), avec Boussellam dans E6 (42.4) et avec Chen's (47.9) et Simeto (47.8) dans E7. Les variétés les moins performantes sont Hedba<sub>03</sub> et à un degré moindre Bidi<sub>17</sub> et MBB (Tableau 3.7).

Les meilleures valeurs moyennes du nombre de grains par épi sont en générale en faveur des variétés introduites. Les cultivars locaux et surtout ceux qui présentent les hauteurs les plus élevées possèdent un nombre faible de grains par épi, cette variation dans le nombre de grains par épi peuvent être expliquées par l'origine du géotype (introduit ou local). Ce constat est en accord avec Amallah et al. [285], qui déclarent la supériorité des lignées de CIMMYT et ICARDA par rapport aux accessions locales d'origine méditerranéennes pour le nombre de grains par épi.

La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement. Le nombre de grains par épi est un facteur important de la productivité. Il est la composante de rendement la plus importante, elle joue un rôle primordial dans la variabilité du rendement [286]. Saraoui [287] déclare une corrélation positive et significative entre le nombre de grains par épi et le rendement grain, Dans le présent travail, les meilleurs variétés pour le rendement étaient GTA dur et Simeto, ce sont eux même les plus productives de grains avec des valeurs moyennes respectives de 52.2 et 48.2 grains par épi.

L'amélioration du rendement passe nécessairement par le raisonnement sur le nombre de grains par épi qui explique selon Hamada [2002], 75 % des variations du rendement. De ce fait, la sélection concomitante pour les épis et/ou le nombre de grains par épi débouche forcément à l'amélioration de la productivité, mais toute en étudiant l'effet de compensation entre les composantes, qui selon plusieurs auteurs, peut être négatif en produisant des impacts incontrôlés sur le

rendement grain sous conditions semi-arides ([8]; [289]).

GTA dur est la variété la plus stable et performante sur la base de deux indices, seule avec l'indice de supériorité génotypique Pi (17.7) (Tableau 3.7) et groupée avec Vitron selon leurs valeurs de coefficient de variation faible de 10.2% et 19.5% en rapport avec les valeurs moyennes élevées du nombre de grains par épi 52.2 et 47.2 grains, respectivement (Tableau 3.7, Figure 3.8).

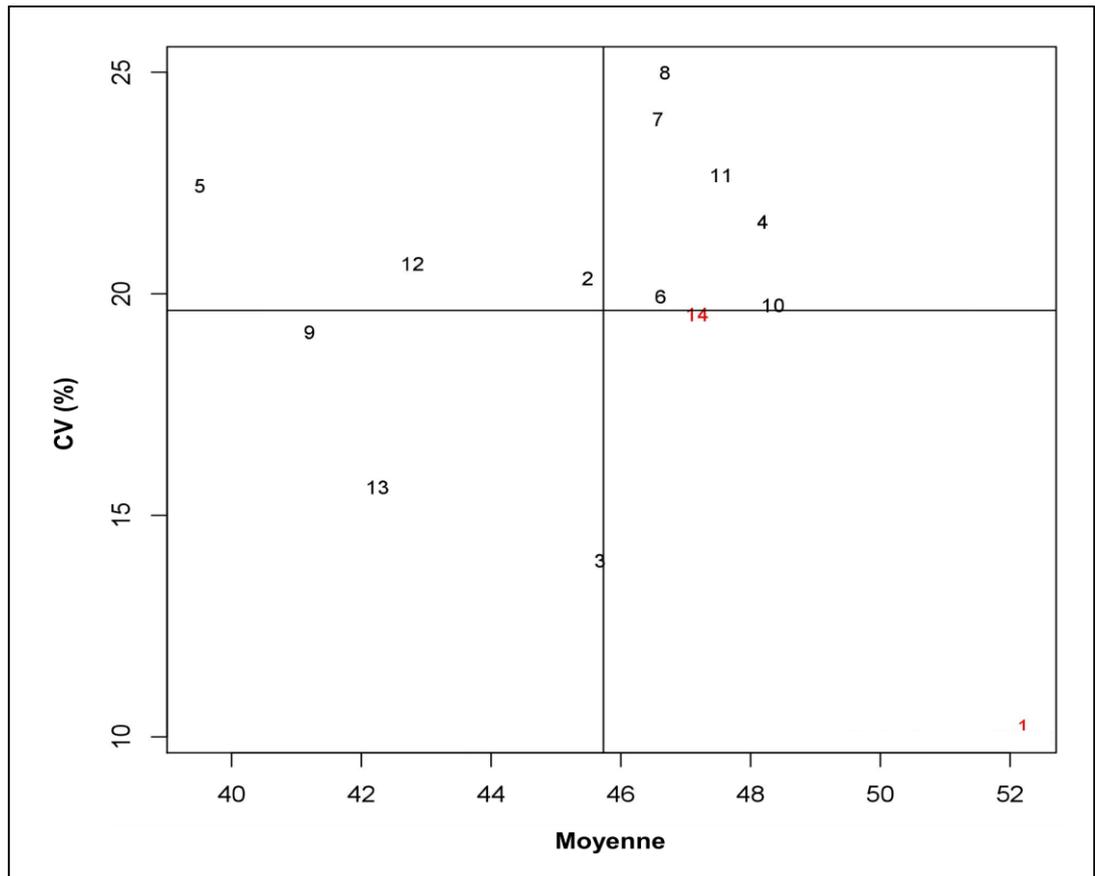


Figure 3.8 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre de grains par épi sur la base du coefficient de variation.

**1** (GTA dur) et **14** (Vitron) : variétés performantes et stables

Les gains du nombre de grains par épi induit par la sélection de ces deux cultivars sur l'ensemble des environnements, relativement à la moyenne du nombre de grains par épi des témoins standards Boussellam, Waha et MBB, varient de 2.4% dans E5 à 29.7% dans E1, pour GTA dur et de -0.95% dans E7 à 15.2% dans E4, pour Vitron.

### 3.1.2.5. Poids de 1000 grains (PMG)

Pour le caractère poids de mille grains, l'analyse de la variance révèle des différences significatives pour les effets site, variété et leur interaction (Tableau 3.1). La moyenne du poids de mille grains selon le facteur environnement, varie de 52.5g pour le site Oued Smar en 2016 à 20.7g, moyenne affichée sur le site de Khemis Miliana en 2014 (Tableau 3.2). Le facteur site indique qu'au niveau d'Oued Smar et Sétif les valeurs moyennes du PMG sont les plus élevées, correspondant aux 42.8 et 41g, en comparaison avec le site Khemis Miliana qui montre le PMG le plus faible avec une moyenne de 28.5g (Tableau 3.2).

Entre les trois sites et à travers les différentes campagnes, la variation est plus importante au niveau de Khemis Miliana (15.7g) et d'Oued Smar (13.1g), qu'à Sétif (3.2g).

L'analyse, de l'effet principal variété, indique que le PMG varie de la valeur de 41.1g observée chez Bidi<sub>17</sub> à 34.5g chez Waha. En se basant sur la valeur de la Ppds5% de 2.3, l'analyse de l'effet moyen variété indique qu'en moyenne des 7 environnements testés, les meilleures variétés pour le PMG sont Bidi<sub>17</sub>, Megress, Simeto et Ofanto avec des valeurs allant de 41.1 à 40.7g. Les variétés, qui sont significativement les moins productives, sont le génotype témoin Waha avec GTA dur et Vitron avec des moyennes respectives 34.5, 36.1 et 36.4g. La variété standard Boussellam se place dans une position intermédiaire, avec un PMG de 38.2g (Tableau 3.3).

L'analyse de l'interaction génotype x environnements montre que la performance de nos cultivars est liée spécifiquement à l'environnement. En effet Bidi<sub>17</sub> est le meilleur génotype dans 6 environnements E2, E3, E4, E5, E6 et E7 avec les valeurs moyennes respectives 46.3, 40.2, 41.3, 56.4, 21.4 et 40.9. Megress et Simeto se classent en tête dans 5 environnements dont trois sont en communs E1 (44.2, 44.1), E6 (22.4, 21.8) et E7 (40.5, 39.6). Ofanto est performant dans 4 environnements E1 (44.6), E2 (45.8), E5 (54.7) et E6 (22.4). Deux variétés se trouvent en tête de classement Vitron et Chen's dans deux environnements dont un est en commun E6 (21.9, 23.2). Amar<sub>6</sub>, Cirta, Mexicali, Hedba<sub>03</sub> et MBB sont les meilleurs dans un environnement unique.

Les variétés montrant les valeurs moyennes les plus basses de PMG sont Waha et à un degré moindre, GTA dur et Vitron (Tableau 3.8).

Tableau 3.8. Moyennes du PMG par environnement, coefficient de variation (CV%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi,	CV%	Pi	
AM6	35.8	41.1	35.9	39.8	52.8	22.6	35.8	37.6	23.8	13.1	
B17	41	46.3	40.2	41.3	56.4	21.4	40.9	41	25.4	1.4	
BOU	41.5	42.3	34.3	40.4	53.5	18	37.5	38.2	28.1	8.8	
CHE	36.0	46.3	35.3	40.3	50.5	23.2	35.8	38.2	23.0	12.0	
CIR	39.6	42.4	37.6	36.2	50.4	21.8	37.7	37.9	22.6	10.7	
GTA	36.0	40.7	33.4	38.4	53.8	18.2	32.2	36.1	29.6	20.8	
H3	37.8	40.8	35.4	42.5	48.8	20.1	37.3	37.5	23.6	13.7	
MBB	40.3	40.2	38.3	43.1	50.2	16.5	38.8	38.2	27.2	11.5	
MEG	44.2	43.4	40.1	41.5	53.5	22.4	40.5	40.8	22.8	2.0	
MEX	38.8	39.7	35.1	40.5	53.2	22.7	33.5	37.6	24.3	13.4	
OFA	44.6	45.8	37.1	36.2	54.7	22.4	38.9	39.9	25.1	4.7	
SIM	44.1	47.3	37.3	38.9	56	21.8	39.6	40.7	25.8	2.1	
VIT	36.7	40.5	38.8	37	50.3	21.9	30	36.4	24.3	21.7	
WAH	34.9	39.3	32.9	35.4	50.4	17	31.4	34.4	28.9	31.0	
Xj	39.3	42.5	36.5	39.3	52.4	20.7	36.4	38.1	25,3	11.9	
Ppds5%	1.8										

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Nos résultats sont similaires par rapport à ceux obtenus par par Nouar [290] et Haddad [281]. Pour beaucoup de variétés, la valeur du PMG change d'un environnement à un autre ce qui rend ce caractère instable dans le temps et dans l'espace et puisque les trois zones d'études sont caractérisées chacune par une certaine spécificité d'ordre climatique, surtout en fin de cycle lors de migration des réserve vers les grains. Les hautes températures et le déficit hydrique semblent les facteurs limitants du poids de mille grains. Dans ce contexte, Un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains ([291]; [292]. Erchidi et al. [293], ont mentionné que la durée et la vitesse de remplissage expliquent 97% de la variabilité du poids des grains de blé dur et que ces deux composantes sont

négativement corrélées. En plus les facteurs climatiques, le nombre de grains par épis influe négativement sur le poids de mille grains d'après Grignac [294] qui précise que le poids de mille grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente.

Le poids de mille grains est un critère variétal très important utilisé surtout dans la sélection des variétés pour caractériser la grosseur et la densité des grains, Selon Fellahi et al. [295], aucune relation significative entre le poids de mille grains et le rendement. D'autres études n'aient pas trouvé d'association du poids de grain avec le rendement sous irrigation ([296]; [297]). D'après ces auteurs, et puisque le PMG est instable et ne contient pas toute l'information pour prédire le rendement, il est recommandé de prendre en considération d'autre composante comme le nombre de grains par épi et le nombre d'épi par m<sup>2</sup>.

L'indice Pi a pu révéler trois variétés stables et performantes pour le PMG. Bidi<sub>17</sub>, Megress et Simeto avec les valeurs respectives 1.4, 2.0 et 2.1 (Tableau 3.8). Le coefficient de variation en fonction du PMG a pu ressortir deux cultivars qui sont Megress et Ofanto avec 22.8 et 25.1% pour le Cv et 40.8 et 39.9g pour le PMG. (Tableau 3.8, Figure 3.9). En se basant sur les deux analyses de stabilité, Megress est seul qui mérite d'être sélectionné comme stable et performant d'après ses valeurs faibles du Pi et du Cv et élevée du PMG.

Les gains du poids du mille de grains (PMG) du génotype Megress considéré performant et stable sur la base à la fois du Pi et Cv, par rapport à la moyenne établie en fonction des témoins Boussellam, Waha et MBB, varient de 4.1% dans E5 à 30.4% dans E6 (Tableau 3.8).

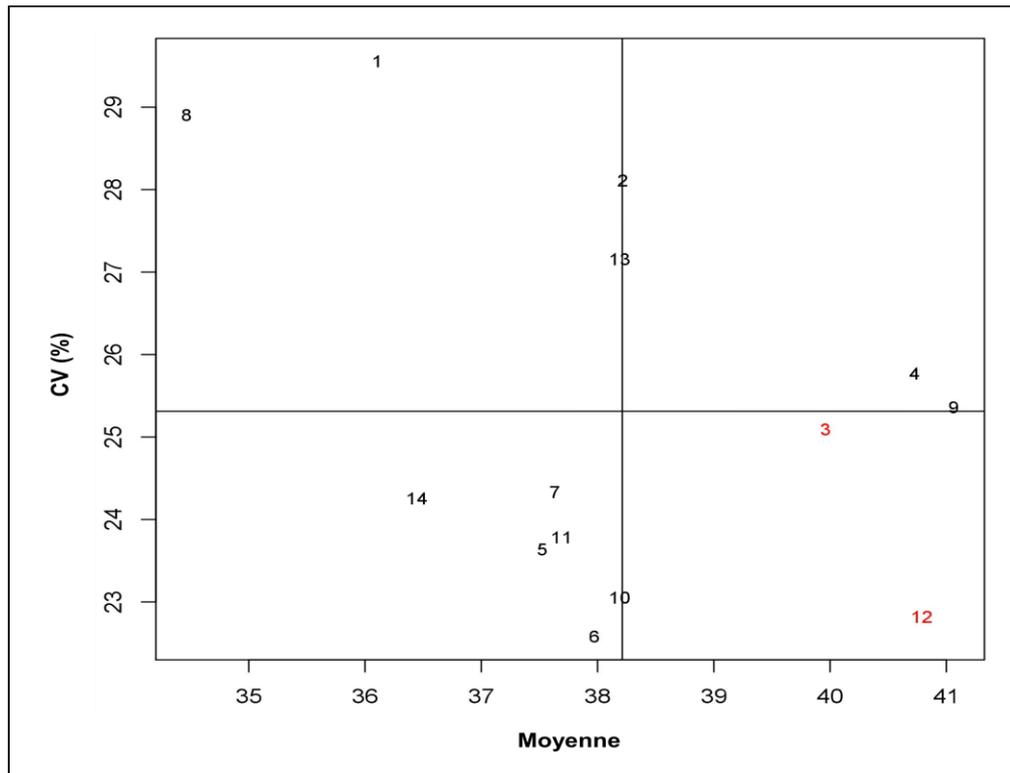


Figure 3.9 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le poids de mille grains sur la base du coefficient de variation.

**3** (Ofanto), **9** (Bidi<sub>17</sub>), **10** (Chen's) et **12** (Megress) : variétés performantes et stables

### 3.1.2.6. Nombre de grains par m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>)

L'anova pour le nombre de grains par m<sup>2</sup> affiche des différences significatives pour les effets environnement, variété et leur interaction (Tableau 3.1). D'après le facteur environnement, les valeurs moyennes du nombre de grains par épi changent de 6855 à 18444 grains, moyennes révélées sur le site d'Oued Smar en 2016 et 2015 respectivement (Tableau 3.2). Le facteur site montre, la zone d'Oued Smar la plus productrice de grains par m<sup>2</sup> avec une valeur moyenne de 13203 grains suivi du site de Khemis Miliana avec une valeur moyenne de 11480 grains, et le site Sétif est le moins producteur de grains par m<sup>2</sup> avec une moyenne de 10725 grains (Tableau 3.2).

L'amplitude intrasite et inter campagnes pour le nombre de grains par m<sup>2</sup> est considérable au niveau d'Oued Smar (11589), faible à Khemis Miliana (6786) et Sétif (5646) (Tableau 3.2).

Par variété, et en moyenne des compagnes et des environnements. Le nombre de grains par m<sup>2</sup> produit dans un milieu donné, varie fortement entre variétés, en effet, ce nombre varie de la valeur de 8355 grains observée chez Hedba<sub>03</sub> à 15584 de grains chez GTA dur. Qui représente seule la meilleure variété en utilisant la valeur de la Ppds5% de 2299. Les variétés les moins productrices de grains et qui ne sont pas significativement différent, sont Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB avec des moyennes qui se situent entre 8355 et 9469 grains par m<sup>2</sup>. Les variétés témoins Boussellam et Waha, occupent une position intermédiaire, avec des valeurs moyennes de 13115 et 12698 grains respectivement (Tableau 3.3).

L'effet de l'interaction génotype x environnements indique que l'expression des potentialités de chaque génotype pour le nombre de grains s'exprime différemment d'un environnement à un autre. De ce fait pour une variété donnée peut paraître meilleure dans un environnement plutôt qu'un autre (Tableau 3.7).

Tableau 3.9. Moyennes du nombre de grains par m<sup>2</sup> par environnement, coefficient de variation (Cv%) et indice Pi de la supériorité génotypique des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	CV	Pi	
AM6	7732	13654	14229	17726	8336	9296	17256	12604	33.1	11.8	
B17	7084	10159	10972	14099	3080	4113	10022	8504	46.3	41.2	
BOU	7656	13458	16656	23528	5605	9863	15039	13115	46.3	12.0	
CHE	7730	16260	16525	16221	8435	8704	18711	13226	35.6	9.3	
CIR	7686	13234	14300	19419	7618	5158	15350	11824	43.3	16.6	
GTA	10297	13592	18380	22333	8266	11072	25147	15584	41.5	2.8	
H3	5822	9759	10379	14934	2482	5761	9347	8355	48.3	42.2	
MBB	9824	13397	11478	11930	5275	3727	10649	9469	38.0	37.3	
MEG	8303	14467	11133	20082	8915	6104	13121	11732	39.8	20.0	
MEX	6257	19541	14570	17636	6157	12575	12761	12785	40.3	16.2	
OFA	9067	12141	13008	20933	7448	8014	16144	12394	39.3	14.0	
SIM	7503	11567	14807	20951	7785	7949	18690	12750	43.3	11.1	
VIT	8253	15368	16436	20891	8382	10620	11053	13000	36.2	16.8	
WAH	7420	13077	17461	17537	8187	10270	14933	12698	33.0	14.1	
Xj	7902	13548	14310	18444	6855	8087	14873	12003	40.3	18.9	
Ppds5%	1617										

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

GTA dur occupe la tête de classement dans six environnements E1 (10297 grains), E3 (18380 grains), E4 (22333 grains), E5 (8266 grains), E6 (11072 grains) et E7 (25147 grains) avec MBB (9824 grains) et Ofanto (9067 grains) dans l'environnement E1, regroupé avec Waha (17461 grains) dans l'environnement E3, Boussellam (23528 grains) dans l'environnement E4, Mexicali (12575 grains) dans l'environnement E6, et associé avec la majorité de variétés dans l'environnement E5, mais seul dans l'environnement E7. Les variétés les moins performantes sont Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et à un degré moindre MBB qui enregistrent des valeurs moyennes les plus faibles dans 5, 6 et 4 environnements respectivement (Tableau 3.9).

Le nombre de grains produit par unité de surface, résultant du produit du nombre des épis et du nombre de grains par épi, est le caractère le plus fortement lié au rendement. La plupart des études s'accordent pour dire que le nombre en grains par m<sup>2</sup> explique le mieux le rendement ([298]; [297]; [299]). Mais les améliorations de rendement sous stress hydrique avec le NGM<sup>2</sup> ont eu un succès limité, car le NGM<sup>2</sup> est aussi imprévisible que le rendement lui-même [300].

L'indice Pi calculé pour les 14 variétés évaluées dans la présente étude varie de 2.8 valeur de l'indice du génotype GTA dur à 42.2, valeur de l'indice du cultivar Hedba<sub>03</sub>. Le coefficient de variation exprimé en pourcentage (%) varie de 33.0% pour la variété Waha à 48.3% valeur de CV du génotype Hedba<sub>03</sub>. En se basant sur l'indice Pi, GTA dur (2.8) est seul qui s'avère stable et performant (Tableau 3.9). Ofanto, Mexicali, Waha, Chen's, Amar<sub>6</sub> et Vitron sont les meilleurs génotypes stables et performant en utilisant l'analyse basée sur le coefficient de variation et les valeurs moyennes du NGM<sup>2</sup> (Tableau 3.9, Figure 3.10).

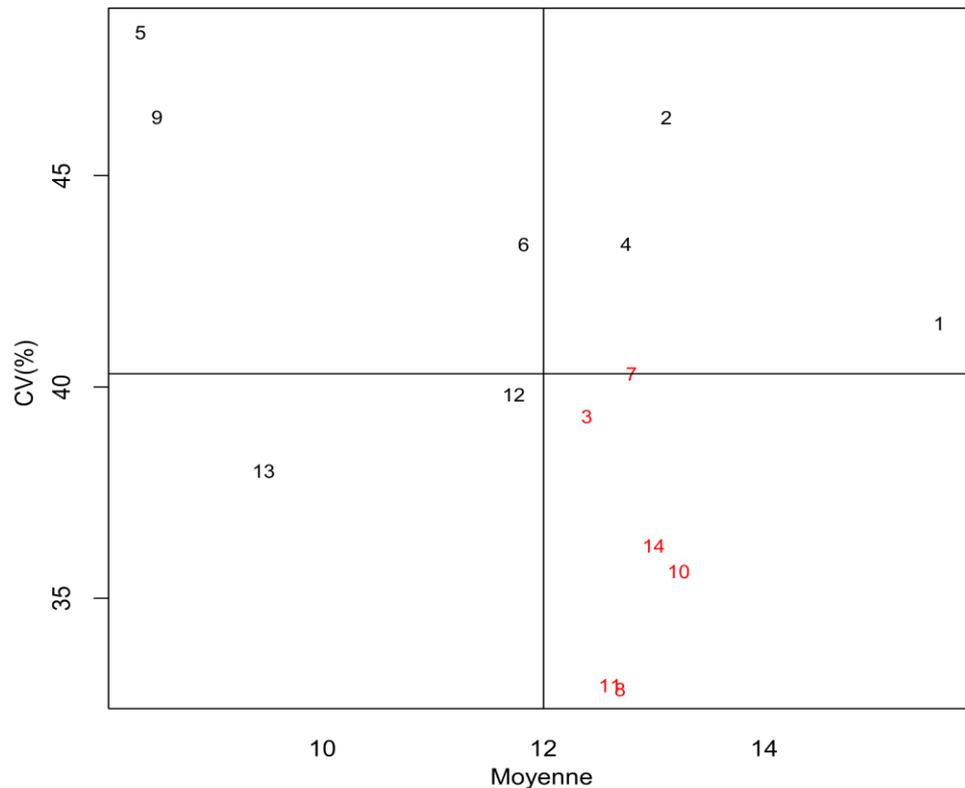


Figure 3.10 : Performance et stabilité de quatorze variétés de blé dur pour le nombre de grains par m<sup>2</sup> sur la base du coefficient de variation.

3 (Ofanto), 7 (Mexicali), 8 (Waha), 10 (Chen's), 11 (Amar<sub>6</sub>), 14 (Vitron) : variétés performantes et stables

### 3.1.2.7. Hauteur finale de la végétation (HFV)

L'analyse de la variance pour la variable hauteur de végétation indique des effets principaux site et variété significatifs ainsi que leur interaction (Tableau 3.1). Selon l'environnement, la moyenne de la hauteur de végétation varie de 112.9cm, moyenne notée à Oued Smar en 2015 à 59.2cm, pour le site de Sétif en 2014 (Tableau 3.2). En moyenne des campagnes, le site d'Oued Smar révèle la hauteur la plus élevée avec une valeur moyenne de 95.4m suivi du site de Sétif avec une valeur moyenne de 76.4cm, et le site de Khemis Miliana montre la hauteur la plus faible avec une moyenne de 70.7cm (Tableau 3.2).

L'amplitude intrasite et inter campagnes marque une valeur importante au niveau d'Oued Smar (40.4cm) et Sétif (34.4cm), qu'au niveau de Khemis Miliana (12.9cm). L'écart important enregistré à Oued Smar est dû à son climat qui est doux et qui discrimine mieux les variétés entre haute et courte, contrairement aux autres sites.

L'effet principal variété, indique que la hauteur de végétation varie de la valeur de 72.7cm enregistrée chez Ofanto à 111.2cm moyenne observée chez Hedba<sub>03</sub>. En se référant à la valeur de la Ppds5% les variétés étudiées peuvent être classées comme suit :

- ✓ Groupe contenant les variétés courtes (semi-naine) avec une moyenne variant de 72.7 à  $72.7 + 9.9 = 82.1$ cm. Ce groupe est constitué des variétés Ofanto, Chen's, Megress, Simeto, Cirta, Vitron, Ammar<sub>6</sub>, GTA dur, Mexicali et les variétés témoins, Boussellam et Waha.
- ✓ Groupe contenant les variétés hautes avec une moyenne supérieure à 100.7cm. Ce groupe est constitué des variétés Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB (Tableau 3.3).

L'analyse graphique de l'interaction génotype x environnement (Figure 3.11) indique que, Vitron et Chen's affichent d'une façon non significative 52.2 et 52.9cm respectivement, des valeurs moyennes de la hauteur de végétation dans L'environnement E1. Dans l'environnement E4 et E6, le comportement de ces deux génotypes change significativement. Vitron devient plus haut avec des moyennes de 97.3 et 67.7cm, alors que Chen's est moins court avec une hauteur moyenne de 90.2 et 61.2cm respectivement (Figure 3.11). De même les cultivars Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub>, qui, dans les environnements E3, E5 et E6 présentent les mêmes hauteurs. Dans les environnements E1, E2, E4 et E7, Hedba<sub>03</sub> devient toujours plus haut que Bidi<sub>17</sub> (Figure 3.11). à partir des ces observations, La hauteur de végétation change d'un environnement à un autre. C'est-à-dire qu'un génotype donné peut se montrer haut qu'un autre dans un environnement donné, et il devient plus court que ce dernier dans un autre environnement et vis versa. Ce genre de comportement pour telles variétés montre la présence de l'effet interaction GXE.

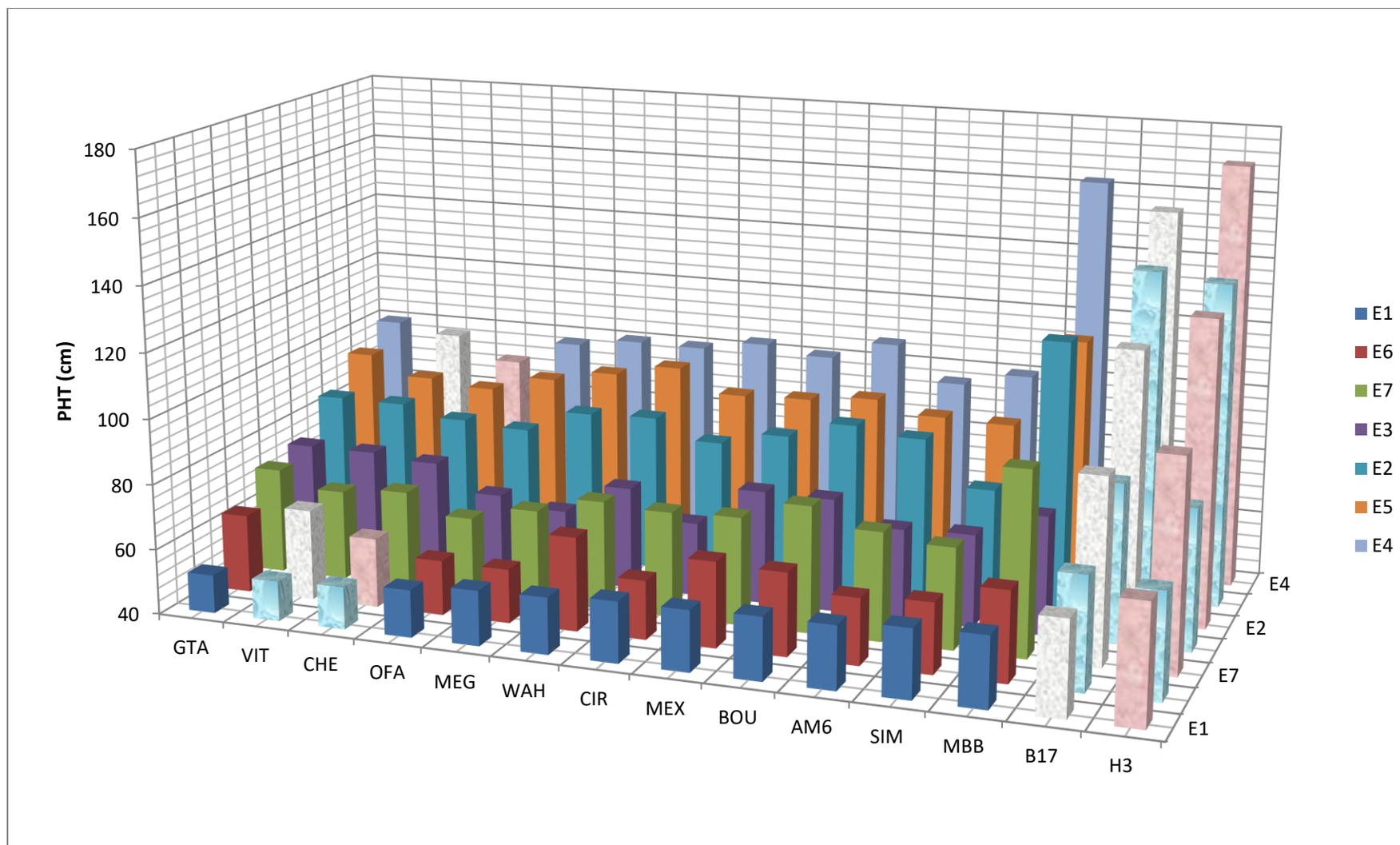


Figure 3.11. Variation de la hauteur de végétation en fonction des variétés et les environnements.

Le classement des variétés pour l'ordre de classement des différentes variétés est donné au tableau 3.10. Si on considère que les classements de 1 à 5 sont ceux des variétés semi-naines, ceux de 6 à 10 sont ceux des variétés semi-hautes et au-delà de 10 sont les classements des variétés hautes (Tableau 3.10).

Tableau 3.10. Classement des variétés selon la hauteur de végétation : classement de 1 à 5 = semi-naine, de 6 à 10 = semi-haute et de 11 à 14 = Haute.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
AM6	6	7	4	2	1	1	4
B17	13	12	13	13	13	13	12
BOU	6	11	7	11	6	7	11
CHE	1	3	7	1	1	1	4
CIR	6	3	1	8	6	1	4
GTA	1	3	7	2	6	7	4
H3	14	14	13	14	13	13	14
MBB	6	12	7	12	12	10	12
MEG	1	7	1	8	6	1	1
MEX	6	7	7	8	6	7	4
OFA	1	1	1	2	1	1	1
SIM	6	1	4	2	1	1	4
VIT	1	3	7	2	1	10	1
WAH	6	7	4	2	11	10	4

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

On note que Chen's et Ofanto, malgré la variation de leurs moyennes de la hauteur de végétation, elles se maintiennent dans la classe des semi-naines, avec un classement variant de 1 à 5. Même observation est notée pour Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB qui se maintiennent dans la classe des variétés hautes avec un classement qui varie de 11 à 14. Et les deux variétés Mexicali et Boussallem qui occupent toujours la classe des semi-hautes (Tableau 3.10). L'inversement de l'ordre des variétés selon les classes décrites ci-dessus n'est pas figurés entre les cultivars Chen's, Ofanto, Hedba<sub>03</sub>, Bidi<sub>17</sub> et MBB suggérant l'absence de l'interaction GXE à l'intérieur de ce groupe, cela veut dire que le caractère hauteur de végétation est un trait lié beaucoup plus à la variété que l'environnement. Par contre un autre groupe exprime différemment la situation. En effet les génotypes de ce groupe réagissent à la variation des environnements en changeant de

classement. Ainsi Amar<sub>6</sub>, se comporte comme une variété semi-haute en E1 et E2 pour devenir semi-naine dans les autres environnements. Des comportements similaires à celui de Amar<sub>06</sub>, sont notés pour Cirta, GTA dur, Megress, Simeto et Vitron (Tableau 3.10). Induisant la présence de l'interaction GXE. Ceci montre l'intervention relative de l'environnement dans l'expression de la hauteur de végétation.

L'inversion de l'ordre de classement est généralement peu observée pour la hauteur de végétation, surtout pour les géotypes issus de la sélection à l'intérieur des variétés populations locales, ce qui rend ce caractère relativement stable.

La hauteur de végétation peut être un critère important pour la sélection dans les zones semi-arides et surtout durant la sécheresse, par la richesse disponible en matière de glucide au niveau des talles, contribue positivement à la formation et à la finition des grains. Cette caractéristique est désirée durant les années sèches ([201]; [8]). Dans le cadre de la présente étude, la hauteur de végétation est plus longue uniquement chez les cultivars locaux MBB, Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub> par rapport aux cultivars introduits. Ces variétés locales, qui sont de moins en moins adoptées par la grande culture, introduisent la variabilité pour la hauteur de végétation au détriment du rendement. La paille longue est désirable suite au rôle que joue le rendement en paille pour couvrir la demande en énergie par les animaux d'élevage. Mais l'adoption des variétés courte comme Ofanto, GTA dur ou Simeto apporte un plus significatif en rendement, qui se fait au détriment de la hauteur de la végétation et donc le plus souvent au détriment du rendement paille. Mellado [301] et Sip et al [302] notent que les géotypes modernes sont des demi-nains puisqu'ils portent l'un des gènes de Rht, ce qui a eu un effet positif sur le rendement en grain, ils ont constaté aussi qu'en méditerrané, sous des conditions pluviale sèches que la hauteur de végétation a un effet positif sur le rendement. Pour cette raison Zapata [303] et Royo et al [304] déclarent qu'il est souhaitable que les géotypes conservent leur hauteur dans les zones arides pluviales.

La variabilité observée au sein de nos variétés correspond à ce qui a été constatée par Amallah et al [285] en effet, les accessions locales (marocaines et

méditerranéennes) étaient à paille hautes en comparaison des lignées originaires de CIMMYT et ICARDA qui sont à paille courte.

Les environnements les plus discriminants entre les variétés évaluées pour la hauteur de végétation sont les environnements E2, E4, E5 et E7 avec des variances de 334.2, 740.6, 331.0 et 156.5. Les moins discriminants sont les environnements E1, E3 et E6, avec des variances de 44.0, 54.4 et 31.0 (Figure 3.12).

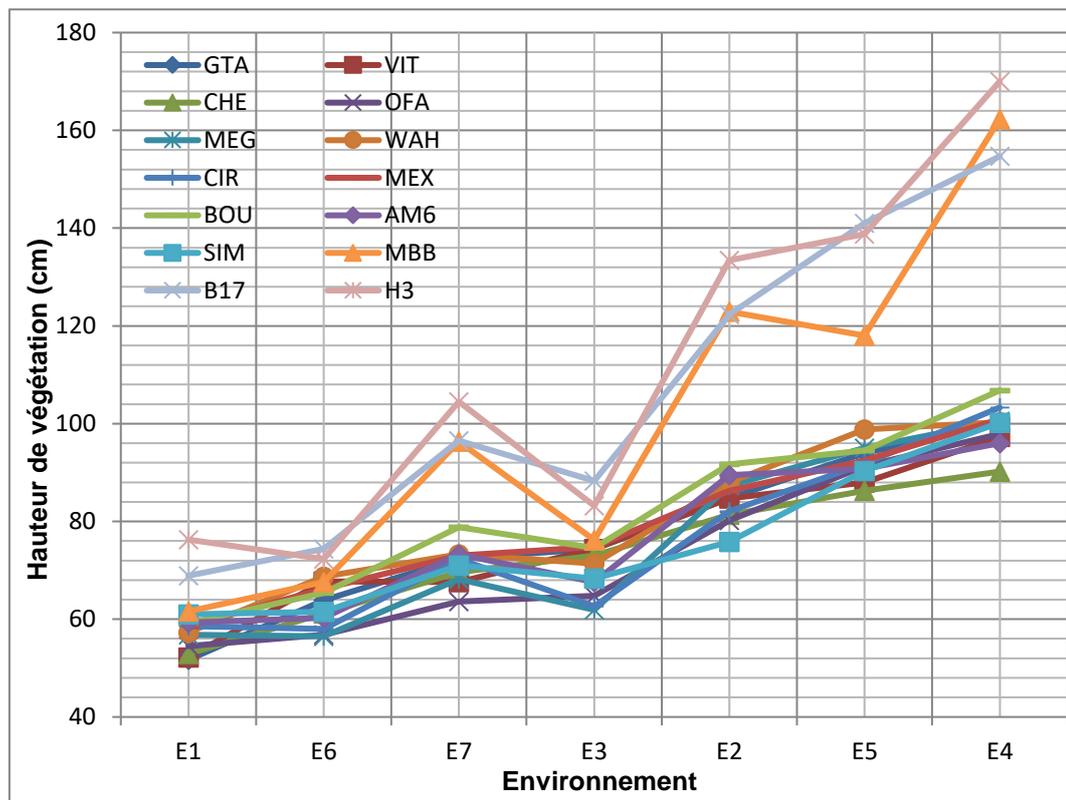


Figure 3.12. Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la hauteur de végétation.

### 3.1.2.8. Longueur des épis et des barbes

#### ✚ Longueur de l'épi (LE)

L'analyse de la variance pour la variable longueur de l'épi montre des différences significatives pour les effets site, variété et leur interaction (Tableau 3.1). La moyenne de la longueur d'épi varie de 16.9cm, pour le site Khemis Miliana en 2014 à 20.3cm, moyenne notée sur le site d'Oued Smar en 2016

(Tableau 3.2). En moyenne des deux années, la valeur moyenne de la longueur d'épi sur le site de d'Oued Smar (moyenne de trois années) est la plus élevée avec 11.9cm suivi du site de Sétif (10.7cm), comparativement au site Khemis Miliana qui révèle la moyenne de la longueur d'épi la plus faible avec une de moyenne de 9.25cm (Tableau 3.2).

L'effet principal variété, montre que la longueur de l'épi change de la valeur de 16.7cm remarquée chez Chen's à 19.7cm chez Bidi<sub>17</sub>. En utilisant la valeur de la Ppds5% de 1.2, en moyenne des 7 environnements testés, Les variétés, GTA dur, Boussellam, Waha, Megress, Vitron, Ofanto, Hedba<sub>03</sub>, et Bidi<sub>17</sub>, ont les épis les plus hauts avec des valeurs moyennes allant de 18.5 à 19.7cm. Les variétés, productives d'épis moins longs Chen's, Simeto, Mexicali, MBB et Cirta avec des moyennes qui se situent entre 16.7 et 17.9cm. (Tableau 3.3).

D'après l'analyse statistique de l'interaction génotype x environnements, Bidi<sub>17</sub> et Hedba<sub>03</sub> scorent les meilleurs génotypes, groupés dans l'environnement E1 (20.1, 20.2cm) et E2 (20.4, 20.0cm) et séparément dans les deux environnements E4 (23cm) et E5 (22.9cm) respectivement. Boussellam, GTA dur, Megress et Ofanto se trouvent en tête de classement dans l'environnement E3. Vitron se classe en amont des variétés dans l'environnement E6 (19.0cm) et E7 (18.6cm), groupé avec Waha (19.7cm) dans E6 et avec Ofanto dans E7 (17.9cm) (Tableau 3.11). Les variétés montrant les valeurs moyennes les plus faibles de la longueur des épis sont, Chen's, Simeto, et à un degré moindre, Amar<sub>06</sub>, Mexicali et MBB (Tableau 3.11).

Globalement, La longueur de l'épi se change d'un environnement à un autre pour une même variété suggérant la présence de l'effet interaction GXE. Mise à part quelques variétés qui montrent peu l'effet de l'interaction GXE. Dans le sens positif de la performance, les variétés comme Hedba<sub>03</sub> et Bidi<sub>17</sub> s'adaptent à trois environnements sur sept, d'autre comme vitron se trouve performant dans deux environnements sur sept.

Tableau 3.11. Moyennes de la longueur d'épi par environnement, des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi
AM6	15.4	16.8	17.1	19.0	19.1	17.1	16.6	17.3
B17	20.1	20.4	20.5	21.2	22.9	16.2	16.8	19.7
BOU	17.2	18.4	19.4	20.4	20.4	17.6	16.7	18.6
CHE	14.4	16.3	15.5	18.0	20.3	16.1	16.2	16.7
CIR	17.1	18.5	19.2	19.0	19.0	16.3	16.7	18.0
GTA	16.4	18.6	19.7	20.3	19.8	18.0	16.8	18.5
H3	20.2	20.0	20.0	23.0	20.8	16.6	16.1	19.5
MBB	18.1	18.5	17.7	18.4	21.1	12.9	15.1	17.4
MEG	17.1	17.3	20.4	21.4	20.8	16.4	17.2	18.7
MEX	15.7	17.5	15.6	19.6	19.6	16.9	16.1	17.3
OFA	18.2	17.8	19.7	20.6	21.6	16.3	17.9	18.9
SIM	15.0	16.3	17.5	18.6	19.5	17.2	15.6	17.1
VIT	16.1	18.5	18.2	21.6	19.4	19.0	18.6	18.8
WAH	17.0	17.9	18.0	20.6	20.4	19.7	17.2	18.7
Xj	17.0	18.1	18.5	20.1	20.3	16.9	16.7	18.2
Ppds5%	1.2							

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Les géotypes les moins performants quant à eux foment un ensemble comme Chen's, Amar<sub>6</sub> et Simeto, géotypes ayant les faibles valeurs moyennes dans plus de quatre environnements. Mais partant d'un groupe de variétés à un autre, il est recommandé de faire une sélection spécifique. Les géotypes performants peuvent exprimer leur potentiel dans des conditions spécifiques tandis que les géotypes qui sont dotés d'une adaptation plus au mois large, expriment moins leur performance.

Les épis ont une utilisation efficiente de l'eau plus élevée que celles des feuilles, ils contribuent avec 40% du carbone totale sous stress hydrique [242]. Plus ils sont longs, plus le nombre de grains augmente davantage [305]. Subhashchandra et al [306] mentionnent que la longueur de l'épi exerce un effet direct positif et élevé sur le rendement, de ce fait ces auteurs proposent que les efforts de la sélection doivent se concentrer sur ce caractère pour améliorer indirectement le rendement grain.

### **Longueur des barbes (LB)**

L'analyse de la variance de la longueur des barbes affiche des différences significatives pour les effets site, variété et leur interaction (Tableau 3.1). D'après le facteur environnement, la valeur de la moyenne de la longueur des barbes change de 9.2cm, pour le site Khemis Miliana en 2015 à 12.6cm, moyenne révélée sur le site d'Oued Smar en 2015 (Tableau 3.2). Selon le facteur site, Oued Smar est le plus favorable pour la longueur des barbes avec une valeur moyenne de 19.6cm suivi du site de Sétif avec une valeur moyenne de 17.5cm, et le site Khemis Miliana est le moins favorable pour la longueur des barbes avec une moyenne de 16.8cm (Tableau 3.2).

Par variété, et en moyenne des compagnes et des environnements. La longueur des barbes signalée dans un milieu donné, varie entre variétés, en effet, la longueur des barbes varie de la valeur de 9.6mm observée chez Cirta à 12.7mm chez Bidi<sub>17</sub>. Les meilleures variétés qui ne sont pas significativement différentes en utilisant la valeur de la Ppds 5% de 1.1, sont Bidi<sub>17</sub>, Ofanto et Megress avec des moyennes respectives de 12.7, 11.6 et 12.7mm. Les variétés porteuses des barbes courtes sont Simeto, Cirta, Mexicali, Chen's, Amar<sub>06</sub> et MBB avec des moyennes qui se situent entre 9.6 et 10.7mm. La variété témoins Waha, occupe une position intermédiaire, avec une valeur moyenne de la longueur des barbes de 11.2mm (Tableau 3.3).

L'effet de l'interaction génotype x environnements indique que l'expression des potentialités de chaque génotype pour la longueur des barbes s'exprime différemment d'un l'environnement à un autre. De ce fait pour une variété donnée peut paraître meilleur dans un environnement plutôt qu'un autre (Tableau 3.12).

En effet, Bidi<sub>17</sub> est la meilleure variété productrice de longues barbes dans leurs épis, dans six environnements E1 (14.0mm), E2 (13.2mm), E3 (13.5mm), E4 (14.3mm), E5 (14.9mm) et E7 (9.8mm), se trouve seul dans E1, E2 et E4, avec Megress (14mm) et Ofanto (12.8mm) dans E3, avec Boussellam (13.5mm), Hedba<sub>03</sub> (14.3mm), Megress (14.0mm) et Vitron(13.6mm) dans E4 et avec Megress (10.3mm), Ofanto (10.4mm), Vitron (10.7mm) et Waha (9.5mm) dans E7. Les deux dernières variétés additionnées à Simeto occupant la tête de classement

dans l'environnement E6 avec des valeurs moyennes de 10.5, 11.7 et 10.6mm respectivement. Les variétés les moins performantes sont Cirta, Chen's, Mexicali, et à degré moindre Simeto et Amar<sub>6</sub> (Tableau 3.12).

Tableau 3.12. Moyennes de la longueur des barbes par environnement, des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi
AM6	9.3	10.0	10.5	11.8	10.6	9.4	9.4	10.1
B17	14.0	13.2	13.5	14.3	14.9	9.3	9.8	12.7
BOU	11.0	11.1	11.9	13.5	12.4	9.6	9.4	11.3
CHE	8.9	9.8	9.0	11.4	12.0	9.7	8.7	9.9
CIR	9.9	10.1	11.3	10.5	10.0	7.4	8.1	9.6
GTA	9.8	10.9	12.1	12.1	11.4	9.5	9.1	10.7
H3	12.1	11.7	11.4	14.3	12.9	8.3	7.2	11.1
MBB	11.7	11.0	10.5	11.9	12.9	6.2	8.1	10.3
MEG	10.9	10.6	14.0	14.0	12.5	9.5	10.3	11.7
MEX	9.3	9.5	8.4	11.6	11.8	9.3	8.9	9.8
OFA	11.8	11.4	12.8	12.7	12.9	9.4	10.4	11.6
SIM	9.3	9.7	11.2	11.9	11.4	10.6	8.9	10.4
VIT	9.6	11.1	10.4	13.6	11.1	10.5	10.7	11.0
WAH	10.8	10.5	10.2	12.8	13.1	11.7	9.5	11.2
Xj	10.6	10.8	11.2	12.6	12.1	9.3	9.2	10.8
Ppds5%	1.2							

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

A l'exception de la variété Bidi<sub>17</sub> qui exprime son supériorité dans six environnements sur sept pour la longueur des barbes, les autres cultivars changent leur performance d'un milieu à un autre suggérant la présence de l'interaction GXE. Ce caractère paraît avoir une liaison avec la longueur de l'épi. En effet le génotype Bidi<sub>17</sub> présente à la fois des épis longs et des barbes longues dans plusieurs environnements.

La longueur de la barbe est un caractère morphologique lié à la tolérance, en condition de stress hydrique, les barbes peuvent contribuer par son contenu en chlorophylle à la formation et au remplissage du grain par la mobilisation des assimilats lors de la maturation. D'après Gate et al [307], les barbes par leur port

dressé et leur position sur la graine, conditionnent sa formation. Ali Dib [308] annonce que, les barbes augmentent chez les céréales la possibilité d'utiliser les assimilats lors de la phase de maturation des graines. Elles arrivent à contribuer pour environ 15% au remplissage du grain du fait qu'à ce moment, elles sont les seuls organes qui restent photosynthétisants. Le rôle joué par la barbe dans la résistance à la sécheresse et dans le remplissage des grains a été rapporté par plusieurs auteurs ([309]; [310]).

### **3.1.2.9. Contenu en chlorophylle**

L'analyse de la variance a révélé un effet génotype non significatif pour la chlorophylle a, b et ab.

#### Taux de chlorophylle a (CHL<sub>a</sub>)

L'analyse de la variance pour la variable taux de chlorophylle a (CHL<sub>a</sub>) montre des différences significatives pour les effets site, et interaction site x variété (Tableau 3.1). La moyenne de la CHL<sub>a</sub> varie de 34.5 µg/gMF, pour le site Sétif en 2014 et Oued Smar en 2015 à 38.0 µg, moyenne notée sur le site Sétif en 2015 (Tableau 3.2).

L'analyse de l'interaction génotype x environnements, montre un taux élevé de CHL<sub>a</sub> au niveau de la feuille des variétés MBB, Hedba<sub>03</sub> et Bidi<sub>17</sub> dans l'environnement E1 et E2, accompagnées de Amar<sub>6</sub>, Simeto et Ofanto dans E1. Boussellam, Hedba<sub>03</sub>, Vitron et Chen's, sont les plus performants, seuls dans l'environnement E4 et E5, et avec Cirta et Waha dans E5. Les autres environnements E3, E6 et E7, la différence est non significative entre variétés. Les variétés qui présentent les valeurs moyennes du taux de chlorophylle « a » les plus faibles dans le maximum d'environnements sont GTA dur (4 E sur 7), Ofanto et Waha (3 E sur 7) (Tableau 3.13).

Tableau 3.13. Moyennes de la chlorophylle « a » par environnement, des différentes variétés.

VAR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	
AM6	33.5	36.1	35.1	32.4	33.2	35.3	35.7	35.0	
B17	34.4	35.7	35.5	35.9	36	35.5	33.7	36.5	
BOU	35.1	35.3	35.4	33.1	33	34.6	34.9	35.0	
CHE	34.3	35.9	35.3	34.7	35.1	35.2	33.9	35.2	
CIR	35.2	46	35	35	35.5	35	35.1	35.0	
GTA	35.2	35.8	35.1	34.5	34.3	34.9	35.4	34.5	
H3	35.2	35.4	35.1	34.5	34.7	34.5	35.1	36.7	
MBB	34	36.2	34.6	34.6	34.5	34.9	35	36.6	
MEG	33.4	35.9	35.2	35	35	35.2	35.4	34.8	
MEX	35.1	46.3	34.9	34.7	34.8	35.3	35.3	34.8	
OFA	35.5	46.1	35.1	34.5	34.7	35.1	34.4	34.5	
SIM	33.9	35.6	35.1	34.6	35.1	35.4	35.4	34.9	
VIT	34.2	35.9	35.6	35.2	35.5	35.2	35.4	35.3	
WAH	34.3	35.6	34.9	34.1	34.5	34.9	35.5	34.9	
Xj	34.5	38.0	35.1	34.5	34.7	35.1	35.0	35.3	
Ppds5%	1.0								

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

L'analyse graphique de l'interaction GXE montre peu de discrimination entre variétés pour le taux de chlorophylle « a » à travers les sept environnements, seul l'environnement 2 qui répartit les quatorze cultivars en deux groupes éloignés avec une variance de 19.5. L'un est constitué de Hedba<sub>03</sub>, MBB et Bidi<sub>17</sub>, le deuxième groupe se compose des autres variétés. Ceci peut être interprété par la différence de l'âge physiologique lors du prélèvement (Figure 3.13).

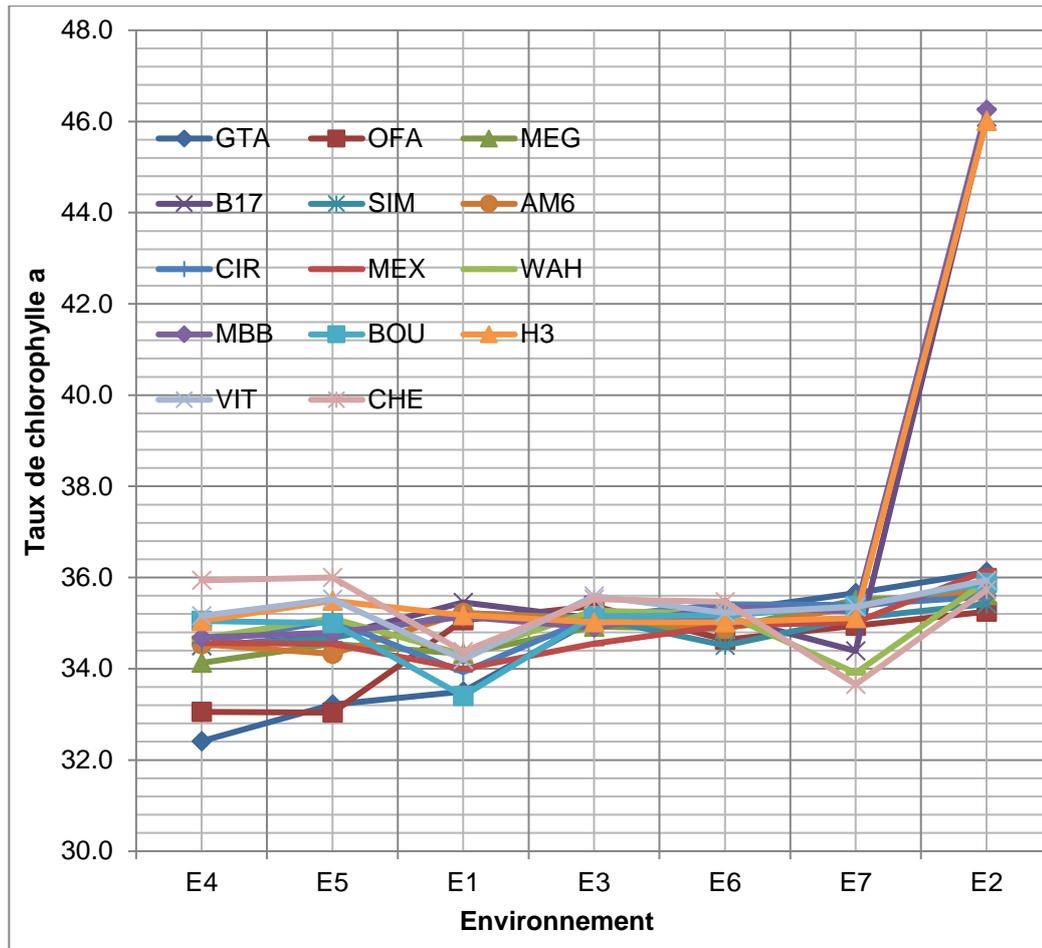


Figure 3.13. Variation des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle a (CHLa).

#### ■ Taux de chlorophylle b (CHLb)

L'analyse de la variance pour la variable taux de chlorophylle b (CHL<sub>b</sub>) montre des différences significatives pour les effets site, et interaction site x variété (Tableau 3.1). La moyenne de la CHL<sub>b</sub> varie de 15.6 µg/gMF, pour le site Oued Smar en 2015 à 27.2 µg, moyenne notée sur le site Khemis Miliana en 2014 (Tableau 3.2).

L'interaction génotype x environnements, indique que la variété Megress se présente en tête de classement dans trois environnements E1 (24.2 µg), E2 (29.1 µg) et E4 (15.9µg), avec GTA dur et MBB dans E1, avec Chen's dans E2 et avec Cirta, Vitron, MBB, Boussellam, Chen's, Hedba<sub>03</sub>, Waha, Amar<sub>6</sub> et Bidi<sub>17</sub> dans E4. Hedba<sub>03</sub> est le meilleur cultivar dans deux environnements E3 (30.0 µg) et E5 (17.6µg), avec Mexicali dans E3 et avec Vitron, MBB, Boussellam, Chen's, Waha,

Amar<sub>6</sub> et Bidi<sub>17</sub> dans E5. Simeto et Waha scorent les meilleurs résultats séparément chacun dans son environnement E6 (37.7µg) et E7 (37.9µg) respectivement (Tableau 3.14).

Tableau 3.14. Moyennes de la chlorophylle « b » par environnement, des différentes variétés.

VAR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi
AM6	20.4	19.9	24.6	15.3	15.0	24.1	24.8	20.6
B17	19.7	25.0	24.8	14.2	14.8	37.7	29.9	23.7
BOU	19.7	19.0	30.0	16.7	17.6	29.2	29.3	23.1
CHE	19.4	18.8	18.5	16.9	17.7	25.8	23.1	20.0
CIR	13.8	27.0	22.1	16.1	16.1	20.7	21.3	19.6
GTA	24.3	22.7	26.3	11.0	10.7	21.7	21.1	19.7
H3	21.4	23.8	24.6	17.8	17.6	23.5	37.9	23.8
MBB	19.8	27.3	26.4	16.5	17.4	29.1	11.9	21.2
MEG	19.0	26.6	23.6	13.9	14.5	33.3	31.4	23.2
MEX	23.3	19.3	25.2	16.4	17.0	23.2	28.5	21.8
OFA	18.0	23.5	32.0	14.4	14.4	27.8	31.3	23.1
SIM	24.2	29.1	22.3	15.9	15.0	28.3	25.5	22.9
VIT	20.1	24.3	23.1	16.7	17.6	30.5	24.9	22.5
WAH	18.2	22.3	24.0	16.1	17.0	25.3	21.6	20.6
Xj	20.1	23.5	24.8	15.6	15.9	27.2	25.9	21.8
Ppds5%	2.2							

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Les environnements les plus discriminants entre les variétés évaluées pour le taux de chlorophylle « b » sont les environnements E7 et à moindre degré E6 avec des variances de 38.9 et 21.9 respectivement. Les moins discriminants sont les environnements E4 et E5, avec des variances de 2.9 et 3.8 (Figure 3.14).

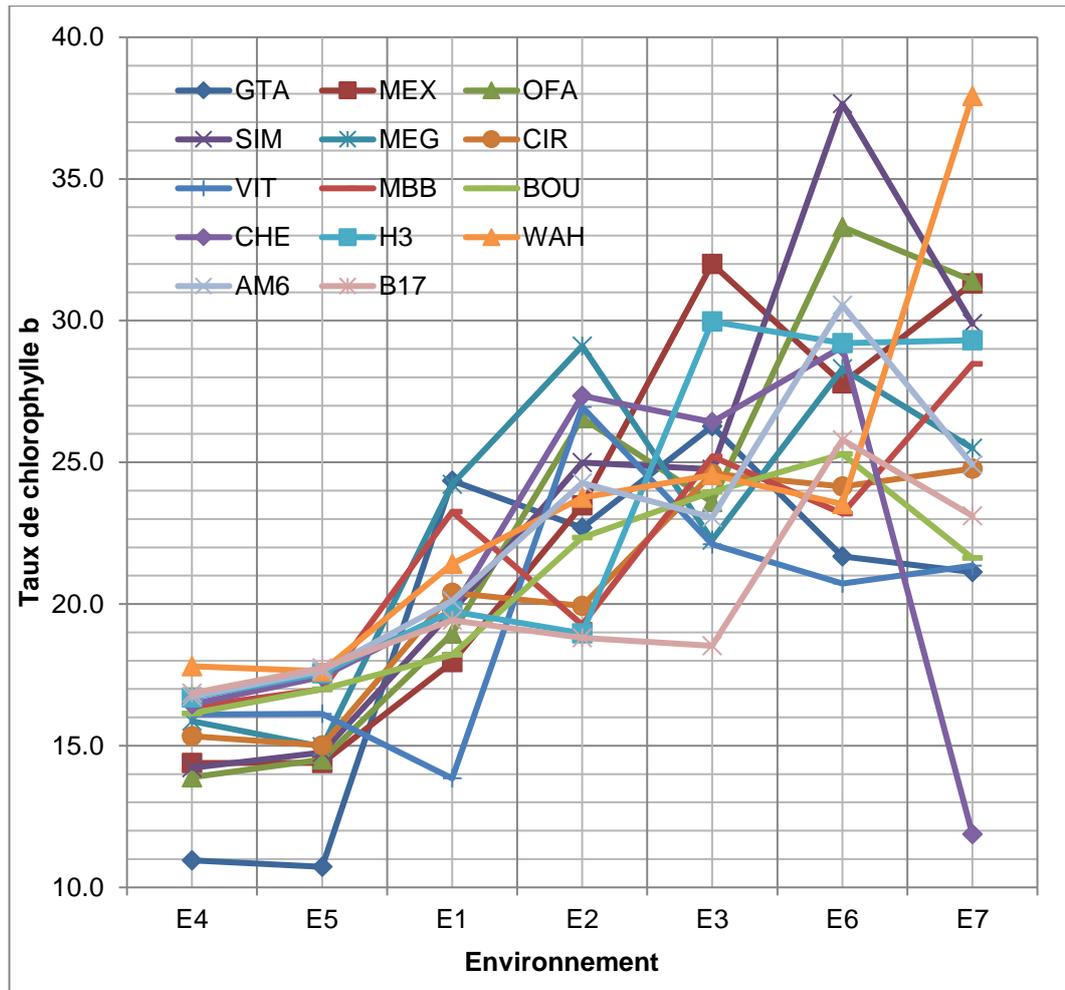


Figure 3.14. Variation des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle b (CHL<sub>b</sub>).

✚ Taux de chlorophylle ab (CHL<sub>ab</sub>)

L'analyse de la variance pour la variable taux de chlorophylle ab montre des différences significatives pour les effets site, et interaction site x variété (Tableau 3.1). La moyenne de la CHL<sub>ab</sub> varie de 71.0 µg/gMF, pour le site Oued Smar en 2015 à 81.8µg, moyenne notée sur le site Sétif en 2015 (Tableau 3.2).

D'après l'analyse statistique de l'interaction génotype x environnements, le meilleur génotype varie d'un environnement à un autre (Figure 3.18). Le taux de CHL<sub>ab</sub> le plus élevé est remarqué chez de nombreux cultivars dans plusieurs environnements à savoir, Hedba<sub>03</sub>, dans sept environnements allant de la moyenne 72.7 (E4) à 93.7 (E2) et Ama<sub>06</sub>, Bidi<sub>17</sub>, MBB et Waha dans quatre environnements dont E1, E4 et E5 sont communs. Dans seulement trois environnements, les génotypes qui se présentent en tête de classement sont,

Ofanto et Simeto qui situent dans les environnements E1, E6 et E7, Boussellam et Chen's dont E4 et E5 sont des environnements communs. Les cultivars qui montrent les valeurs moyennes les plus faibles de la  $CHL_{ab}$  sont GTA dur dans quatre environnements, Boussellam et Vitron dans trois environnements (Tableau 3.15).

Tableau 3.15. Moyennes de la chlorophylle « ab » par environnement, des différentes variétés.

VAR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi
AM6	72.7	78.2	76.2	71.8	71.9	80.9	77.8	75.6
B17	74.7	93.8	74.3	71.8	72.6	78.6	75.1	77.3
BOU	74.3	77.4	76.5	72.4	72.8	77.7	76.0	75.3
CHE	70.7	79.9	79.7	74.2	74.8	79.2	67.5	75.1
CIR	69.2	75.5	77.8	71.0	71.7	78.3	77.9	74.5
GTA	73.1	78.0	79.1	64.7	66.0	77.0	76.3	73.5
H3	75.4	93.7	79.2	72.7	74.0	80.2	79.9	79.3
MBB	68.4	94.4	77.7	71.8	72.4	77.5	79.7	77.4
MEG	75.6	80.7	75.4	70.6	70.8	79.7	78.5	75.9
MEX	70.5	78.5	82.1	70.5	70.5	79.6	80.8	76.1
OFA	75.2	78.6	77.8	67.5	67.8	81.3	80.8	75.6
SIM	74.7	78.0	78.6	70.3	70.9	82.7	80.2	76.5
VIT	69.7	80.1	76.6	72.5	73.2	75.3	75.9	74.8
WAH	74.5	78.2	77.7	72.6	73.3	77.3	82.6	76.6
Xj	72.8	81.8	77.8	71.0	71.6	79.0	77.8	76.0
Ppds5%	3.0							

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

Les environnements les plus discriminants entre les variétés évaluées pour le taux de chlorophylle « ab » sont E2 et E7 à moindre degré dont la variance est de 45.1 et 13.6 respectivement. Les moins discriminants sont les environnements E3 et E6, avec des variances de 3.8 pour chacun (Figure 3.15).

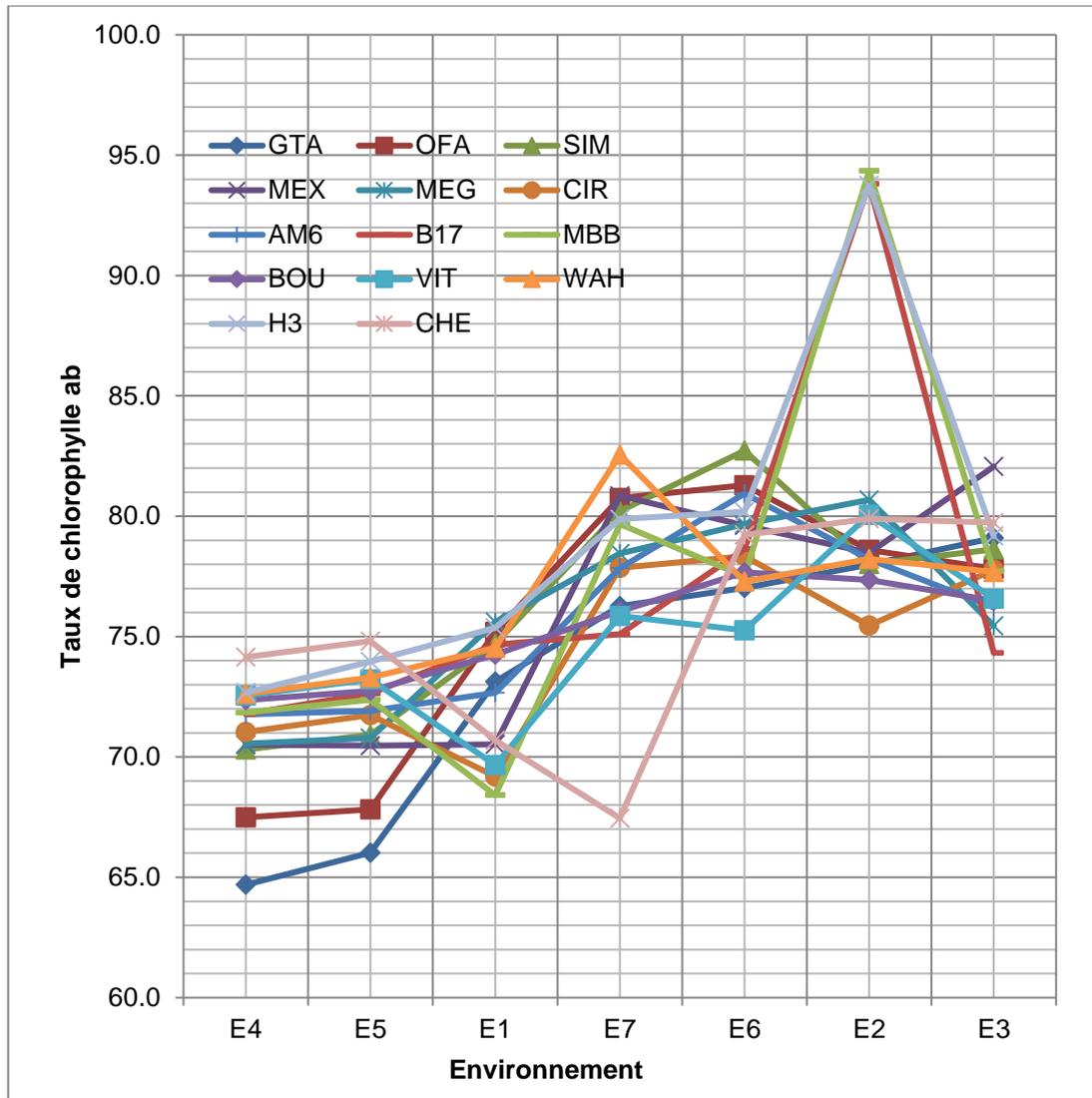


Figure 3.15. Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour le taux de chlorophylle ab ( $CHL_{ab}$ ).

Un effet variété non significatif pour le contenu en chlorophylle ( $CHL_a$ ,  $CHL_b$  et  $CHL_{ab}$ ) montre que les variétés évaluées possèdent une réponse similaire, par contre les valeurs moyennes pour les quatorze variétés changent d'un site à un autre et d'un environnement à un autre (effet année incluse) induisant une interaction GXE sévère pour la  $CHL_b$ ,  $CHL_{ab}$  et à degré moindre la  $CHL_a$ , ce caractère paraît sensible aux changements des conditions environnementales notamment les hautes températures et le déficit hydrique. Beaucoup d'auteurs ont rapporté l'effet des conditions climatiques sur le contenu en chlorophylle. Globalement, la combinaison de la température élevée et de la sécheresse a un impact négatif et additif sur la physiologie des plantes, à savoir la croissance, la teneur en chlorophylle, la photosynthèse des feuilles ([311]; [312]; [313]; [314]; [315]; [316]). Bien que les réponses aux deux stress

partagent des mécanismes communs, d'autres processus physiologiques sont antagonistes [317]. Par exemple, la sécheresse et le stress thermique combinés réduisent la teneur en chlorophylle des feuilles de 49%, tandis que la sécheresse ou la chaleur seule la réduisent respectivement de 9% ou 27% ([314]; [318]). Cette sénescence précoce des tissus verts affecte la quantité totale de glucides transportés vers les grains et le poids du grain final. La sénescence retardée, un phénotype restant vert, a été associée à la tolérance à la sécheresse [319].

La sélection sur la base du contenu en chlorophylle apparaît secondaire. Dans ce sens, plusieurs auteurs ont cité l'utilisation des caractéristiques physiologiques comme critères de sélection secondaires dans les programmes de sélection des blés ([320]; [321]; [322]; [235]).

#### **3.1.2.10. Teneur en sucre soluble (TSS)**

Pour le caractère teneur en sucres solubles, l'analyse de la variance révèle des différences significatives pour les effets site, variété et leur interaction (Tableau 3.1). La moyenne de ce caractère selon le facteur environnement, varie de 44.6 µg/100g de MF pour le site Oued Smar en 2015 à 108.9µg, moyenne affichée sur le site de Khemis Miliana en 2014 (Tableau 3.2). Le facteur site indique que la valeur moyenne du taux de sucre est très élevée à Khemis Miliana avec 89.5µg comparativement à Sétif et Oued Smar qui montrent des valeurs moyennes plus faibles avec 65.3 et 55.5µg respectivement (Tableau 3.2).

L'analyse, de l'effet principal variété, indique que le te taux de sucre varie de la valeur de 55.4µg observée chez MBB à 99.4µg chez Vitron. En se basant sur la valeur de la Ppds5% de 16.7, l'analyse de l'effet moyen variété indique qu'en moyenne des 7 sites testés, les variétés qui révèlent les teneurs les plus élevées en sucres sont GTA dur, Chen's et Vitron avec des valeurs respectives de 90.4, 95.8 et 99.4µg. Les variétés, qui affichent les teneurs les plus faibles, sont les deux témoins Waha et Boussellam avec Hedba<sub>03</sub>, Cirta, Mexicali, Bidi<sub>17</sub>, Amar<sub>6</sub> et MBB avec des moyennes allant de 55.4 à 71.2µg (Tableau 3.3).

L'analyse graphique de l'interaction génotype x environnements indique que les valeurs moyennes de la teneur en sucres solubles pour une variété varient en fonction de l'environnement (Tableau 3.16).

Tableau 3.16. Moyennes du taux de sucres solubles par environnement, des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi	
AM6	63.3	52.1	64.2	63.6	92.7	81.4	71.7	69.9	
B17	67.2	63.8	85.4	26.2	79.1	94.1	83.1	71.3	
BOU	89.3	40.4	69.0	48.5	62.0	90.2	89.3	69.8	
CHE	78.3	81.5	107.5	45.6	89.3	157.2	111.2	93.2	
CIR	54.2	59.7	56.9	31.2	59.9	126.3	90.4	68.4	
GTA	131.8	45.6	96.5	44.0	83.8	126.3	105.3	88.0	
H3	53.0	64.6	53.4	29.5	55.3	82.5	61.0	57.0	
MBB	60.3	47.2	36.0	30.0	51.5	100.6	62.2	55.4	
MEG	99.9	49.0	83.1	42.6	75.3	141.5	72.9	80.6	
MEX	77.5	43.5	68.5	46.9	56.2	103.0	65.9	65.9	
OFA	79.7	48.1	79.8	42.0	72.5	112.8	79.6	73.5	
SIM	51.4	55.9	74.8	63.8	91.8	83.7	96.2	73.9	
VIT	102.3	65.7	123.9	65.1	99.2	137.1	102.6	99.4	
WAH	42.1	61.4	67.8	45.2	63.8	87.5	66.0	62.0	
Xj	75.0	55.6	76.2	44.6	73.7	108.9	78.4	73.2	
Ppds5%	8.2								

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

En effet GTA dur est la variété qui présente la teneur élevée en sucres dans deux environnements correspondant à une moyenne de 131.8µg dans E1 et 105.3 dans E7, seul dans E1 et avec Chen's et Vitron dans E7. Les deux dernières variétés en plus de l'environnement 7 expriment le TSS le plus élevé dans plusieurs environnements, Chen's se montre seul en tête de classement dans deux autres environnements E2 (81.5) et E6 (157.2). Vitron se présente, seul dans E3, regroupé avec Simeto et Amar dans E4 et E5. Les variétés montrant les valeurs moyennes les plus basses de la teneur en sucres solubles sont MBB et Hedba<sub>03</sub> et à degré moindre, Waha et Mexicali (Tableau 3.16).

L'augmentation des sucres solubles par quelques variétés dans un environnement donné, représente un indice de tolérance vis-à-vis une contrainte, le déficit hydrique l'une des difficultés qui rend la plante stressée. Zerrad et al [323], décrit les sucres solubles comme indicateurs des degrés de stress lors de la sévérité. C'est un moyen d'adaptation de la plante en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu [324]. L'exposition des variétés aux stress peut induire des répercussions négatives sur la croissance mais aussi sur le rendement. D'après Zerrad et al [323], cette différence de l'accumulation des sucres entre variétés est due à une réduction de la croissance par rapport à la photosynthèse et n'est donc probablement pas associée à une stratégie de résistance au stress hydrique. En effet les sucres solubles, même s'ils représentent des osmoticums beaucoup moins puissants, ils participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé [325].

D'après la figure 3.16 tous les environnements paraissent discriminants entre les variétés évaluées pour le taux de sucres solubles, cela veut dire que ce caractère fluctue considérablement à l'intérieur du site et d'un environnement à un autre. Les environnements les plus discriminants sont E1, E3 et E6 dont la variance est de 600.0, 511.4 et 617.7 respectivement. Les moins discriminants sont les environnements E2 et E7, avec des variances correspondant aux 125.5 et 194.4.

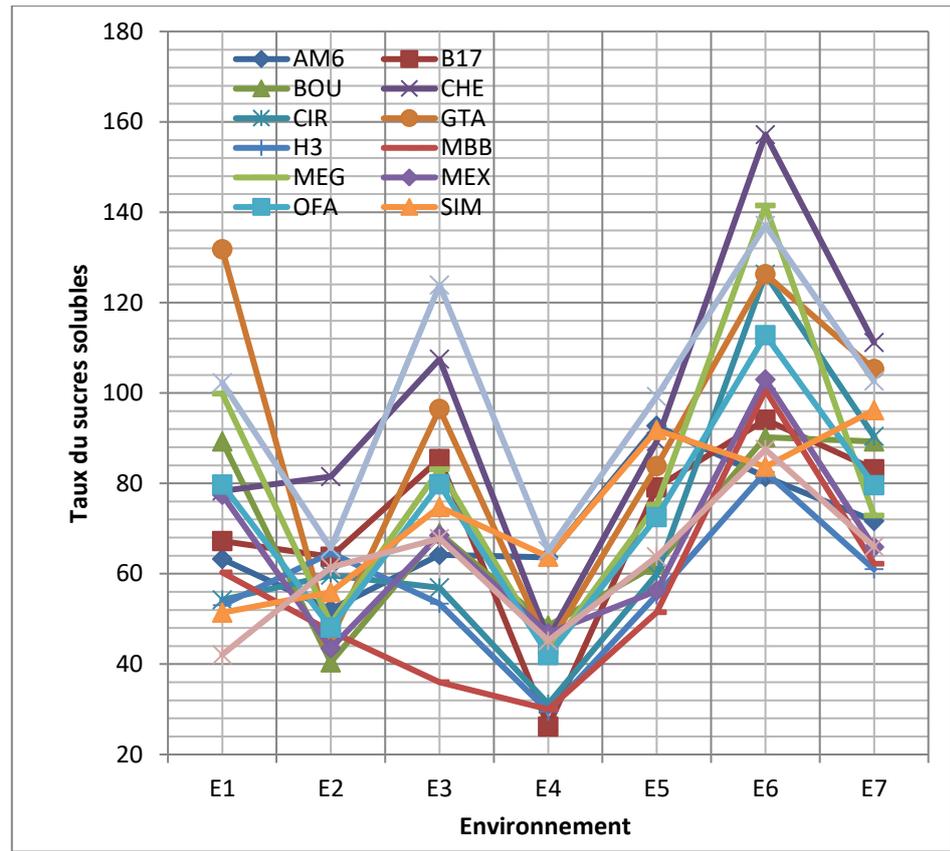


Figure 3.16. Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour le taux de sucres solubles.

### 3.1.3.1. Teneur relative en eau (TRE)

L'analyse de la variance des valeurs prises par la variable teneur relative en eau indique des effets principaux site et interaction site x variété sont significatifs (Tableau 3.1). Selon l'environnement, la moyenne de la TRE varie de 63.7%, moyenne enregistrée à Khemis Miliana en 2014 à 74.4%, moyenne notée sur le site d'Oued Smar en 2015 (Tableau 3.2).

L'analyse de la variance de l'effet principal variété, s'avère non significatif, avec une moyenne générale de 69.4%.

L'analyse de l'interaction génotype x environnements indique que le meilleur génotype varie en fonction de l'environnement (Tableau 3.17).

Tableau 3.17. Moyennes de la teneur en eau par environnement des différentes variétés.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Xi,
AM6	73.2	70.2	69.7	72.9	71.0	60.4	71.4	68.5
B17	70.8	71.3	63.4	77.1	69.2	62.1	70.8	69.1
BOU	68.5	69.9	67.2	73.6	67.3	67.3	68.3	69.6
CHE	74.8	65.0	64.5	73.9	67.8	63.0	66.7	68.3
CIR	71.7	70.4	70.6	77.4	74.2	62.5	73.5	70.3
GTA	70.8	69.7	72.9	73.5	68.8	64.4	74.4	69.9
H3	72.7	69.8	68.4	75.9	72.6	62.5	72.1	69.8
MBB	71.8	67.0	70.2	74.1	69.8	63.7	70.7	69.2
MEG	72.2	65.9	70.5	75.6	72.1	63.1	73.5	69.5
MEX	74.5	69.1	72.2	73.7	67.7	66.1	71.6	70.8
OFA	73.2	67.3	68.1	76.2	74.1	64.3	70.4	70.0
SIM	72.7	69.6	70.4	74.2	71.9	65.6	74.6	70.3
VIT	68.8	72.4	64.5	71.9	65.1	63.1	69.1	68.0
WAH	70.2	67.3	70.6	72.2	66.4	63.3	69.3	68.5
Xj	71.9	68.9	68.8	74.4	69.8	63.7	71.1	69.4
Ppds5%	2.7							

E1 = Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16 GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

En effet les meilleures variétés qui se présentent en tête de classement dans cinq environnements, sont Cirta, Hedba<sub>03</sub>, Megress, et Simeto. Ofanto, Megress et Simeto. Suivi par GTA dur, Mexicali et Ofanto qui scorent les meilleures valeurs moyennes de la TRE dans trois environnements. Les variétés montrant les valeurs moyennes les plus basses de TRE sont Chen's et Vitron et à degré moindre, se trouvent Bidi<sub>17</sub>, Boussellam et Waha (Tableau 3.17).

La figure 3.17 ci-dessous montre une légère discrimination entre les variétés d'un même site pour la teneur relative en eau, ceci est dû à l'effet du stade pendant laquelle on a réalisé notre prélèvement, en effet le stade début épiaison c'est-à-dire lors de l'apparition des premières épis, la feuille étandard de toutes les variétés garde son stock hydrique stable et intacte et son indemnité par rapport aux maladies.

L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique en réponse aux contraintes climatiques et d'évaluer l'aptitude à

réaliser une bonne osmorégulation en maintenant une turgescence cellulaire [326]. Dans ce présent travail, au stade de de début épiaison, la teneur relative en eau offre peu d'informations suite à son expression restreinte entre les variétés étudiées sous différents effets, variété, site ou interaction GXE, ce qui suggère le peu d'efficacité à ce stade, d'être un critère de sélection variétale comme paramètre physiologique.

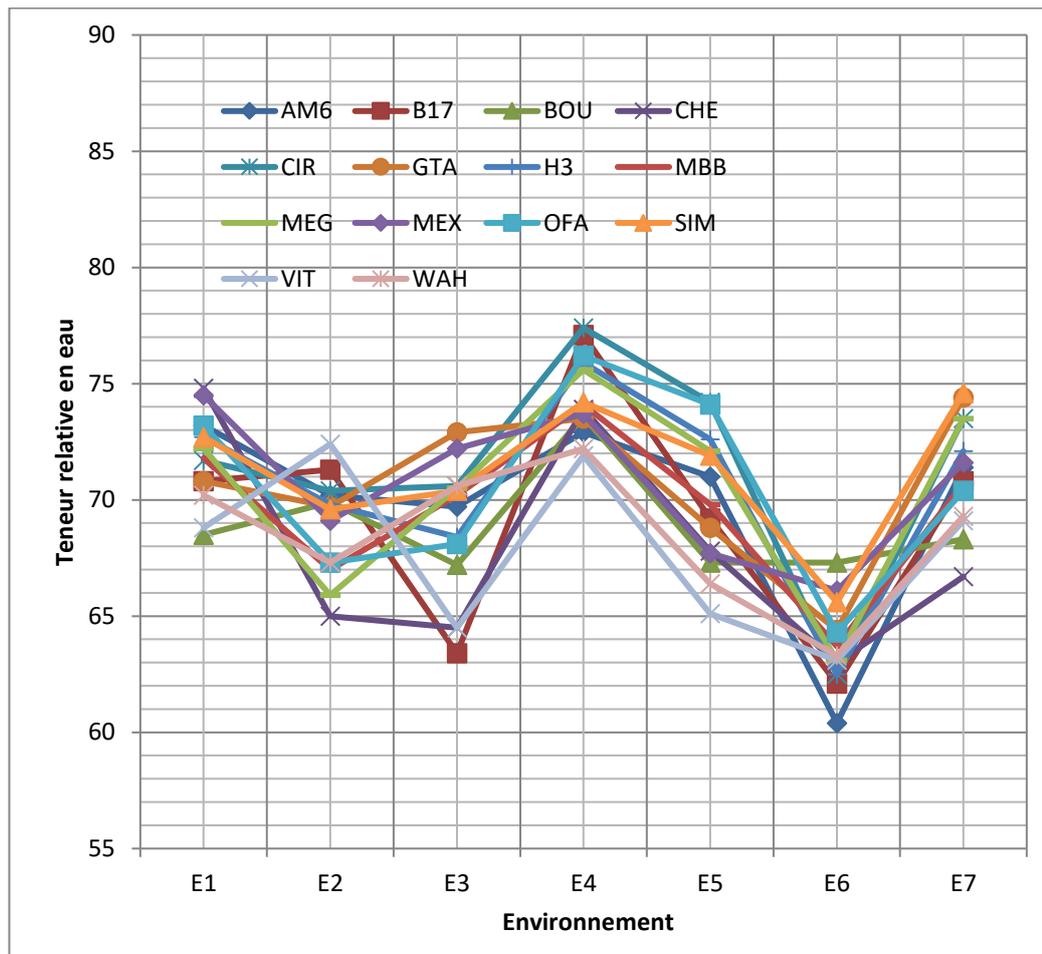


Figure 3.17. Discrimination des environnements entre les différentes variétés pour la teneur en eau.

### 3.2. Relations inter-caractères, intra et inter environnements

#### 3.2.1. Relations intra environnement

##### 3.2.1.1. Durée de la phase végétative (DPV)

L'étude des relations entre caractères est intéressante pour le sélectionneur qui cherche à identifier l'effet des caractères, facilement mesurables très tôt au cours du cycle de développement de la plante (DPV, HFV, NE, LE, TRE, SUC....), sur

les caractères plus complexes (NGE, RDT, PMG..) qui sont mesurés à la récolte par des méthodes destructives et relativement moins précises. De tels caractères peuvent servir d'aides à la sélection indirecte des caractères complexes. De ce fait et parmi les variables mesurées (DPV, RDT, NE, NGE, PMG, NGM<sup>2</sup>, HFV, LE, LB, CHL, TRE, et SUC) seules les liaisons de ces dernières avec la DPV, le RDT, le NE et la HFV seront discutées dans ce qui suit. L'analyse des coefficients de corrélations entre les caractères mesurés indique que la DPV présente des liaisons variables, selon l'environnement et le caractère ciblé (Tableau 3.18). Ainsi, dans l'environnement E1 (Sétif, 2014/15), elle est positivement liée avec la chlorophylle a, par contre dans l'environnement E2 (Sétif, 2015/16), elle maintient sa liaison significative avec la chlorophylle a et elle est de nouveau liée avec la hauteur de la plante, et les contenus en chlorophylle b et ab. Ces différentes liaisons ne sont plus significatives dans l'environnement E3 (OS, 2014/15), où ses liaisons avec le rendement, le nombre de grains par épi et celui des graines par m<sup>2</sup> atteignent le seuil de signification et sont de signes négatifs (Tableau 3.14). Ce type de liaisons se répète dans les environnements E5 (OS, 2016/17), et E6 (Khemis Miliana 2014/15).

Dans les conditions environnementales, similaires à celles des environnements E3, E5 et E6, une longue durée de la phase végétative n'est pas favorable à la réalisation d'un rendement élevé ni aux nombres de grains par épi et par m<sup>2</sup>. Une longue durée de la phase végétative est favorable à la réalisation d'une paille haute dans quatre environnements sur les sept analysés. Dans deux environnements sur sept la durée de la phase végétative est positivement liée à la teneur relative en eau et négativement à la teneur en sucres solubles (Tableau 3.18). Ces résultats suggèrent que lorsque les conditions du milieu discriminent, nettement entre génotypes testés, pour la durée de la phase végétative, la sélection dans le sens de la précocité est à favoriser, parce qu'elle engendre un plus en termes de rendement, mais elle est accompagnée par une réduction de la hauteur de la plante. Des résultats semblables, entre le nombre de jours à l'épiaison et le rendement et les composantes, sont rapportés par Moghaddam et al [327] et par Siahbidi et al [328].

Tableau 3.18. Coefficients de corrélations phénotypiques entre les différentes variables mesurées des différents environnements.

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>
<b>DPV</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
RDT	-0.187	-0.454	-0.581	-0.806	-0.825	-0.785	-0.091
NE	-0.121	-0.473	-0.513	-0.342	-0.659	-0.826	-0.577
NGE	-0.219	-0.321	-0.670	-0.301	-0.787	-0.590	0.194
PMG	0.059	0.137	0.239	0.424	-0.083	-0.263	0.698
NGM	-0.292	-0.467	-0.702	-0.415	-0.806	-0.833	-0.343
HFV	0.296	0.667	0.497	0.837	0.856	0.370	0.559
LEB	0.111	0.329	0.490	0.316	0.690	-0.633	-0.305
LB	0.211	0.314	0.329	0.362	0.582	-0.669	-0.397
CHA	0.760	0.680	-0.125	0.051	0.084	0.108	0.181
CHB	-0.156	-0.640	0.054	0.232	0.323	-0.083	0.200
CHAB	0.117	0.627	-0.187	0.127	0.204	0.003	0.243
TRE	0.419	-0.282	-0.186	0.681	0.668	-0.154	-0.210
SUC	-0.392	-0.107	-0.385	-0.674	-0.846	-0.238	0.359
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>
<b>RDT</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
NE	0.493	0.462	0.778	0.253	0.886	0.875	0.506
NGE	0.585	0.521	0.537	0.640	0.702	0.505	0.540
PMG	0.559	0.399	-0.309	-0.485	0.209	0.332	0.356
NGM	0.872	0.585	0.769	0.524	0.940	0.855	0.593
HFV	-0.438	-0.734	-0.218	-0.710	-0.881	-0.072	-0.354
LEB	0.012	-0.666	-0.290	-0.250	-0.606	0.703	-0.386
LB	0.125	-0.514	-0.294	-0.338	-0.629	0.696	-0.063
CHA	-0.013	-0.650	0.372	-0.311	-0.258	-0.163	0.200
CHB	0.405	0.629	0.014	-0.554	-0.433	-0.046	-0.412
CHAB	-0.006	-0.595	0.266	-0.428	-0.364	-0.179	-0.332
TRE	-0.136	-0.320	0.184	-0.580	-0.381	0.274	0.236
SUC	0.413	0.256	0.606	0.697	0.684	0.191	-0.021
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>
<b>NE</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
NGE	-0.267	0.359	0.400	0.102	0.486	0.474	0.396
PMG	0.297	-0.385	-0.409	-0.458	0.150	0.264	-0.363
NGM	0.412	0.820	0.770	0.875	0.932	0.932	0.914
HFV	-0.074	-0.501	-0.286	-0.600	-0.831	-0.026	-0.650
LEB	0.114	-0.510	-0.435	0.071	-0.342	0.638	0.064
LB	0.086	-0.524	-0.421	-0.048	-0.417	0.678	0.154
CHA	-0.127	-0.559	0.500	-0.190	-0.354	-0.201	0.090
CHB	0.401	0.577	0.193	-0.321	-0.484	0.126	-0.113
CHAB	0.070	-0.502	0.406	-0.254	-0.448	0.036	-0.081
TRE	-0.349	-0.440	0.017	-0.244	-0.261	0.273	0.265
SUC	0.275	-0.210	0.584	0.417	0.502	0.018	-0.150
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>
<b>HFV</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
LEB	0.709	0.740	0.096	0.344	0.691	0.097	-0.497
LB	0.626	0.665	-0.053	0.426	0.709	0.004	-0.585
CHA	0.558	0.971	-0.093	0.141	0.149	0.283	-0.033
CHB	0.009	-0.722	0.057	0.314	0.404	-0.390	0.096
CHAB	0.317	0.950	-0.016	0.219	0.282	-0.391	0.082
TRE	0.066	0.137	-0.450	0.400	0.473	-0.028	-0.189
SUC	-0.558	0.082	0.015	-0.687	-0.736	-0.438	0.035

DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la végétation, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CHa= Chlorophylle a, CHb= Chlorophylle b, CHab= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. E1= Setif 2014/15, E2= Setif 2015/16, E3= Oued Smar 2014/15, E4= Oued Smar 2015/16, E5= Oued Smar 2016/17, E6= Khemis Miliana 2014/15, E7= Khemis Miliana 2015/16. r5% =0.532, r 1%=0.661.

Les liaisons avec le contenu en chlorophylle, la teneur relative en eau et les sucres solubles s'expliquent partiellement par l'effet dû aux différences d'âge physiologique entre les génotypes au moment de la détermination de ces caractéristiques. Les génotypes tardifs expriment un contenu en chlorophylle et une teneur relative en eau plus élevées que ceux qui sont précoces et l'inverse est vrai pour la teneur en sucres. Les liaisons de ces dernières caractéristiques doivent être examinées par groupe de précocité à l'épiaison et à maturité.

### **3.2.1.2. Rendement en grains (RDT)**

Quelque soit l'environnement, le rendement est dépendant du NGM<sup>2</sup> auquel il est lié significativement et positivement avec un coefficient de corrélation variant de 0.505 (P<0.01) à 0.702 (P<0.01) (Tableau 3.18). La liaison avec les composantes est dépendante de l'environnement, elle est significative et positive avec le NGE dans cinq environnements sur sept, avec le NE dans quatre, dont trois sont commun aux NGE et NE, et avec le PMG, dans un seul environnement (Tableau 3.18). La liaison avec la hauteur de la végétation est dépendant aussi de l'environnement, et quand elle est significative, elle est de signe négatif dans trois environnements, suggérant que la sélection des génotypes performants est accompagnée par une réduction la hauteur de la plante. La liaison avec la longueur de l'épi et des barbes ainsi que celles avec le contenu en chlorophylle est dépendante de l'environnement et lorsqu'elle est significative, elle est inconsistante, négative dans certains environnement et positive dans d'autres. Chez les 14 variétés étudiées, les différences pour ces caractéristiques (dimensions de l'épi, des barbes et contenu en chlorophylle) ne semblent pas déterminantes dans la formation de rendement en grains. De ce fait la sélection sur la base de ces caractéristiques apparait secondaire : pour un même rendement en grains, le choix se ferait sur la base de ces caractéristiques, et en faveur d'un épi et barbes longs et d'un contenu en chlorophylle élevé.

La liaison avec la TRE est inconsistante, observée que dans un seul environnement, ceci corroborent les résultats d'autres recherches ([329]; [330]; [331]) qui notent l'absence de liaisons entre ces deux caractéristiques, suggérant le peu de variabilité dans la matériel végétal étudié pour la TRE. La liaison avec la teneur en sucres solubles est aussi inconstante et

dépendante de l'environnement, étant significative uniquement dans trois environnements sur les sept étudiés (Tableau 3.18). Parmi ces caractéristiques (NE, NGE, NGM<sup>2</sup>, PMG, HFV, CHL, LB, LE, TRE, SUC) seul le NE peut être utilisé à un stade précoce pour discriminer entre les géotypes évalués. De ce fait lorsque la variabilité existe pour cette variable, la sélection est recommandée pour le NE et à l'intérieur des variétés ayant des moyennes similaires pour le NE, on sélectionne pour les autres caractéristiques notamment le NGE, suivi du PMG, de la HFV et des autres caractéristiques. Des résultats similaires de liaisons entre le rendement en grains et ses composants, ont été signalés dans des études précédentes ([332]; [333]; [334]; [335]; [336]; [329]; [332]; [330]; [331]).

### **3.2.1.3. Nombre d'épis (NE) et hauteur finale de la végétation (HFV)**

Les seules liaisons consistantes du NE avec les variables mesurées et qui méritent d'être rapportées sont celles avec le NGM<sup>2</sup> qui sont hautement significatives, variant de 0.770 (P<0.01) à 0.932 (P<0.01) dans six environnements. Le NE présente une liaison significative et négative avec la HFV dans seulement trois environnements, les liaisons du NE avec les autres variables notamment avec la CHL, la TRE et les SUC sont le plus souvent non significatives (Tableau 3.18). Ces résultats indiquent que le NE est un déterminant essentiel du NGM<sup>2</sup>, dont dépendant largement le RDT. De ce fait la sélection doit prendre en compte ce caractère. La hauteur de la végétation, en dehors des liaisons avec la DVP, le RDT et le NE, déjà discutées ci-dessus, elle présente des liaisons significatives mais inconsistantes avec la CHL (dans deux environnements sur sept), et les dimensions de l'épi (dans trois environnements) et des barbes (dans quatre environnements avec des signe contraires) et avec le contenu en sucres solubles (dans trois environnements, Tableau 3.18). Ces résultats indiquent que les variétés hautes de pailles, qui sont le plus souvent tardives au stade épiaison, arborent de longues barbes et épis, ainsi qu'un contenu élevé en CHLa et faible en CHLb et en sucres solubles.

Globalement ces résultats corroborent ceux rapportés par Mansouri et al [35] qui notent que la DPV présente des liaisons significatives et négatives avec le NE et avec le RDT, que la HFV est positivement liée au rendement économique mais pas au rendement en paille et que le contenu en CHL ne présente pas de liaisons

significatives avec les caractères morphologiques. Ces auteurs expliquent cette situation par le fait que les caractères physiologiques ont été peu ou pas du tout pris en compte dans le processus de sélections des variétés étudiées.

Laala et al [273] rapportent des liaisons significatives de la hauteur de la végétation avec le poids de 1000 grains, le rendement en grains et le nombre d'épis. La durée de la phase végétative présente des corrélations significatives et de signes négatifs de faibles valeurs avec le poids de 1000 grains, le rendement en grains. Ali Sakin et al [337] déclarent une corrélation positive entre le rendement en grain et le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, alors que le nombre de jours à l'épiaison et la longueur de l'épi étaient corrélés négativement au rendement en grains. Ces auteurs commentent que la précocité est favorable à l'expression du rendement en grains, de la biomasse aérienne et du nombre d'épis par unité de surface emblavée, et suggèrent que la sélection indirecte du rendement en grains via la biomasse et le nombre d'épis serait efficace. Fellahi et al [295] notent que le rendement est plus lié au nombre d'épis, et reste indépendant du poids de 1000 grains qui ne montre pas de liaison significative avec le nombre d'épis. Mohammadi et al [338] rapportent que les rendements en grains les plus élevés sont associés à un poids de grain supérieur résultant d'une floraison précoce et que la sélection sur la base du PMG résultant d'une floraison précoce va améliorer d'avantage le rendement en grains.

### **3.2.2. Relations inter environnements**

L'analyse des coefficients de corrélations de rangs inter environnements indique que l'ordre de classement des génotypes pour la durée de la phase végétative reste relativement inchangé, notamment dans les environnements E2 à E7 (Tableau 3.19). L'ordre de classement de cette variable dans l'environnement E1 n'est pas lié significativement à celui des autres environnements, suggérant la présence de l'interaction G X E, surtout que cet environnement est celui du site de Sétif, qui se caractérise par un climat différent notamment en termes de températures. Ces résultats indiquent que le site de Khemis Miliana prédit relativement bien le classement de l'ordre de précocité de variétés du site d'Oued Smar, mais peu celui du site de Sétif. Ceci indique la détermination de la précocité peut être faite soit sur le site d'Oued Smar ou celui de Khemis Miliana, mais pas

nécessairement sur les deux sites, à la fois. Par contre l'ordre de précocité des variétés sur le site de Sétif nécessite une détermination spécifique sur ce site même. Le rendement en grains présente aussi des coefficients de corrélations de rangs significatifs entre les environnements E3 à E6. Ceci indique que l'ordre de classement des performances de rendement des variétés change relativement peu dans ces environnements qui ne montrent pas de comportement spécifique, donc pas d'interaction  $G \times E$ , à l'inverse des environnements E1 et E2 (Site de Sétif) et E7 (site de Khemis Miliana 2ème année), qui classent différemment les variétés pour la performance de rendement en grains (Tableau 3.19). Ces résultats indiquent que le site d'Oued Smar ne nécessite pas des essais répétés dans le temps pour identifier les variétés les plus performantes alors que les sites de Khemis Miliana et surtout celui de Sétif nécessitent des essais répétés dans le temps.

Le classement des quatorze variétés pour le NE, le NGE, le PMG, la TRE et les SUC change d'un environnement à l'autre vu que les coefficients de rangs inter environnements de ces variables ne sont pas significatifs, suggérant la présence de l'interaction  $G \times E$ . Par contre les coefficients de corrélations de rangs inter environnements de la HFV et à degré moindre ceux du  $NGM^2$  sont le plus souvent significatifs, suggérant que l'information fourni par un environnement pour ces deux variables peut être exploité pour les besoins des autres environnements.

Sur la base des coefficients de corrélations des rangs de la DPV, du RDT, de la HFV et à moindre degré ceux du  $NGM^2$ , les sept environnements peuvent être classés en deux ensembles : le site de Sétif seul et les deux sites d'Oued Smar et de Khemis Miliana ensemble. Dans ces deux ensembles d'environnements l'interaction  $G \times E$  est relativement moindre notamment pour les quatre caractères ci- dessus cités.

Tableau 3.19. Coefficients de corrélations de rangs inter environnements par caractère. (Prob., au-dessus de la diagonale et DPV au-dessous, RDT au-dessus et NE au-dessous, NGE au-dessus et PMG au-dessous, NGM au-dessus et HFV au-dessous, TRE au-dessus et SUC au-dessous,  $r5\% = 0.531$ ,  $r1\% = 0.661$ ).

Prob/DPV	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1		0.009	0.046	0.160	0.205	0.089	0.141
E2	0.666		0.003	0.006	0.001	0.002	0.005
E3	0.540	0.727		0.001	0.000	0.000	0.001
E4	0.397	0.694	0.768		0.000	0.000	0.000
E5	0.361	0.766	0.851	0.877		0.000	0.000
E6	0.471	0.762	0.845	0.890	0.943		0.001
E7	0.414	0.699	0.801	0.816	0.863	0.777	
RDT/NE	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1		0.051	0.007	0.095	0.284	-0.227	0.143
E2	0.026		0.587	0.626	0.499	0.678	0.407
E3	-0.077	0.218		0.903	0.574	0.581	0.209
E4	0.064	0.330	0.420		0.758	0.662	0.380
E5	0.121	0.389	0.473	0.305		0.383	0.468
E6	-0.393	0.517	0.464	0.349	0.301		0.026
E7	-0.099	0.218	0.508	0.385	0.433	0.481	
NGE/PMG	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1		0.095	0.090	0.297	0.015	0.042	0.705
E2	0.541		0.156	0.226	0.385	0.183	0.262
E3	0.515	0.409		-0.068	0.495	0.795	-0.182
E4	0.260	0.031	0.301		0.116	0.110	0.684
E5	0.501	0.602	0.088	-0.111		0.247	0.112
E6	0.013	0.355	0.148	-0.068	0.181		-0.174
E7	0.825	0.704	0.623	0.401	0.494	-0.022	
NGM/HFV	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1		0.296	0.209	0.386	0.431	0.031	0.373
E2	0.616		0.393	0.165	0.623	0.582	0.227
E3	0.452	0.620		0.532	0.441	0.741	0.614
E4	0.704	0.679	0.539		0.378	0.497	0.579
E5	0.541	0.807	0.504	0.837		0.416	0.539
E6	0.411	0.587	0.860	0.477	0.525		0.359
E7	0.769	0.867	0.709	0.713	0.739	0.671	
TRE/SUC	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1		-0.487	0.057	0.267	0.221	-0.129	-0.129
E2	-0.284		-0.250	-0.042	-0.024	-0.309	-0.309
E3	0.701	0.240		-0.108	-0.057	0.342	0.342
E4	0.204	-0.068	0.323		0.980	-0.249	-0.249
E5	0.209	0.134	0.349	0.916		-0.262	-0.262
E6	0.649	0.103	0.612	-0.026	-0.002		1.000
E7	-0.534	0.253	-0.213	-0.152	-0.244	-0.295	

E1= Setif 2014/15, E2 = Setif 2015/16, E3 = Oued Smar 2014/15, E4 = Oued Smar 2015/16, E5 = Oued Smar 2016/17, E6 = Khemis Miliana 2014/15, E7 = Khemis Miliana 2015/16.  $r5\% = 0.532$ ,  $r1\% = 0.661$ . DPV= Durée de la phase végétative, RDT = Rendement en grains, NE = Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE = Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV = Hauteur finale de la végétation, TRE = Teneur relative en eau, SUC = Taux des sucres solubles.

De ce fait les recommandations variétales doivent être faites sur la base de l'adaptation spécifique à ces deux ensembles d'environnements séparément. Cette conclusion est basée sur l'analyse uni-variée (anova par caractère) et bi-variée (corrélations des rangs intra et inter environnements), cependant la sélection d'une variété donnée amène des changements sur plusieurs caractères à la fois. Une typologie variétale, basée sur la totalité des variables remesurées, est nécessaire par ensemble d'environnements.

### 3.3. Typologie variétale

La classification hiérarchique des quatorze variétés, effectuée sur la base des distances euclidiennes, déduites des moyennes centrées et réduites des variables mesurées, par ensemble d'environnement, est indiquée par les figures 3.18 à 3.21.

Tableau 3.20. Caractéristiques des trois clusters issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif.

Cluster	Valeurs moyennes			% écart relatif à la moyenne du G3				
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	MBB	OFA
RDT	34.4	33.3	27.4	25.6	21.7	0.0	30.1	45.8
NE	243.5	267.2	210.2	36.1	35.0	0.0	41.5	29.2
NGE	44.8	41.0	38.9	15.9	27.1	0.0	24.8	12.9
PMG	41.1	40.4	41.5	15.3	5.5	0.0	13.1	14.9
NGM <sup>2</sup>	11.2	11.1	8.2	-0.9	-2.6	0.0	-3.0	9.0
DPV	135.0	141.0	143.0	-5.6	-1.4	0.0	0.0	-2.1
HFV	70.2	79.0	100.3	-29.9	-21.2	0.0	-8.0	-32.8
LEB	16.9	17.6	20.1	-16.1	-12.4	0.0	-9.3	-10.7
LB	10.1	10.9	12.7	-20.4	-14.5	0.0	-11.2	-9.2
CHA	35.0	36.9	40.7	-13.9	-9.2	0.0	0.0	-13.6
CHB	21.8	23.5	19.2	13.2	22.2	0.0	10.5	18.3
CHAB	75.2	78.6	84.4	-10.9	-6.8	0.0	-3.6	-8.9
TRE	70.7	69.1	71.1	-0.7	-2.9	0.0	-2.4	-1.3
SUC	67.8	60.0	62.1	9.1	-3.4	0.0	-13.5	2.9

DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la végétation, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. G1= GTA, BOU, OFA, SIM, CIR, MEX, CHE, AM6 et VIT, G2= MEG, MBB et WAH, G3= H3 et B17

L'étude de la figure 3.18 indique que sur le site de Sétif, les quatorze variétés constituent trois clusters différents dont les caractéristiques moyennes sont données au tableau 3.20. Le cluster 1 (G1) est constitué des variétés GTA, BOU,

OFA, SIM, CIR, MEX, CHE, AM6 et VIT, le cluster 2 (G2) est formé des variétés MEG, MBB et WAH et le cluster 3 (G3) de H3 et B17. Sur ce site et en moyenne des deux années le cultivar OFA est le plus performant en termes de rendement en grain et le cultivar MBB est le standard. Relativement à la moyenne du cluster G3, le cluster G1 se distingue par un plus 25.6% pour le RDT, 36.1% pour le NE, 15.9% pour le NGE, 15.3% pour le PMG, 13.2% de la CHL<sub>b</sub> et de 9.1% des SUC, associées à une réduction de 5.6% pour la DPV, 29.9% pour la HFV, 16.1% pour la LE, 20.4% pour la LB, 13.9% pour la CHL<sub>a</sub>, et 10.9% pour la CHLab (Tableau 3.20, et Figure 3.19). La réduction de la HFV sur ce site est indésirable suite au rôle que joue le rendement en paille pour couvrir la demande en énergie par l'élevage ovin.

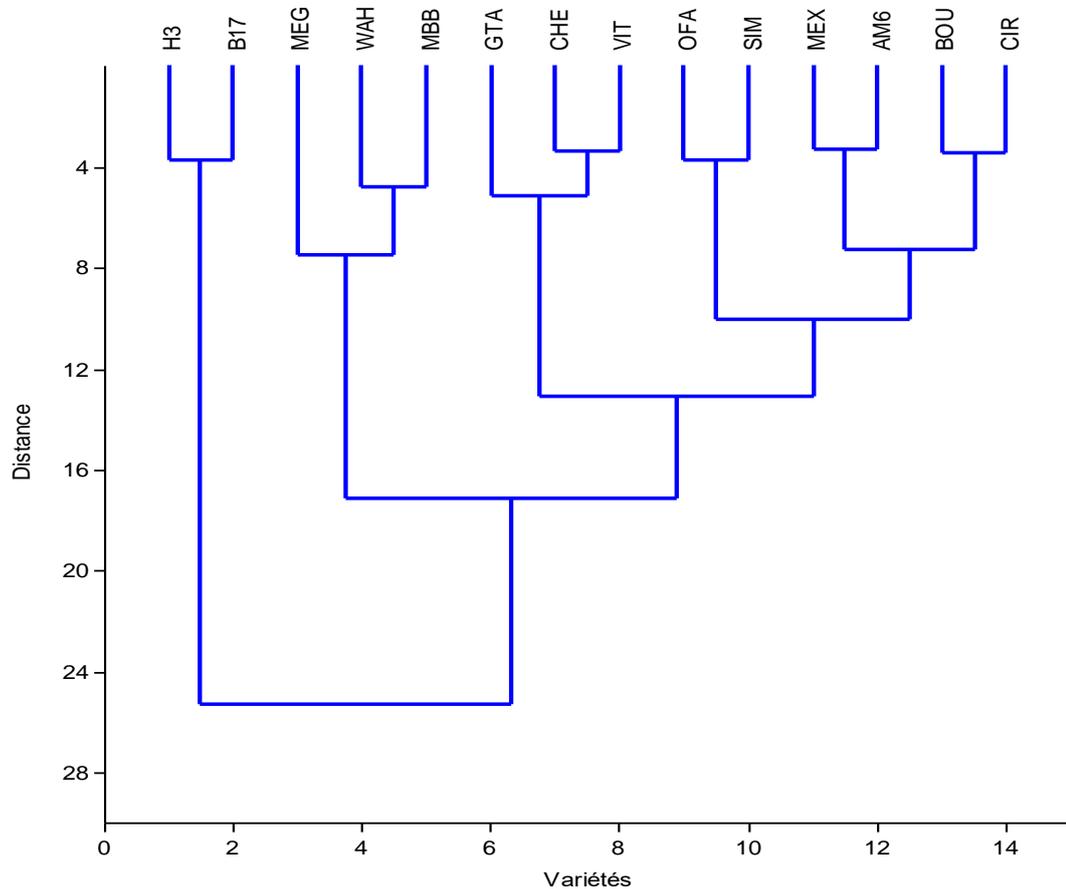


Figure 3.18. Classification hiérarchique des quatorze variétés étudiées sur la base des distances euclidiennes déduites des moyennes des variables mesurées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif. GTA = Gaviota Durum, BOU = Boussellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

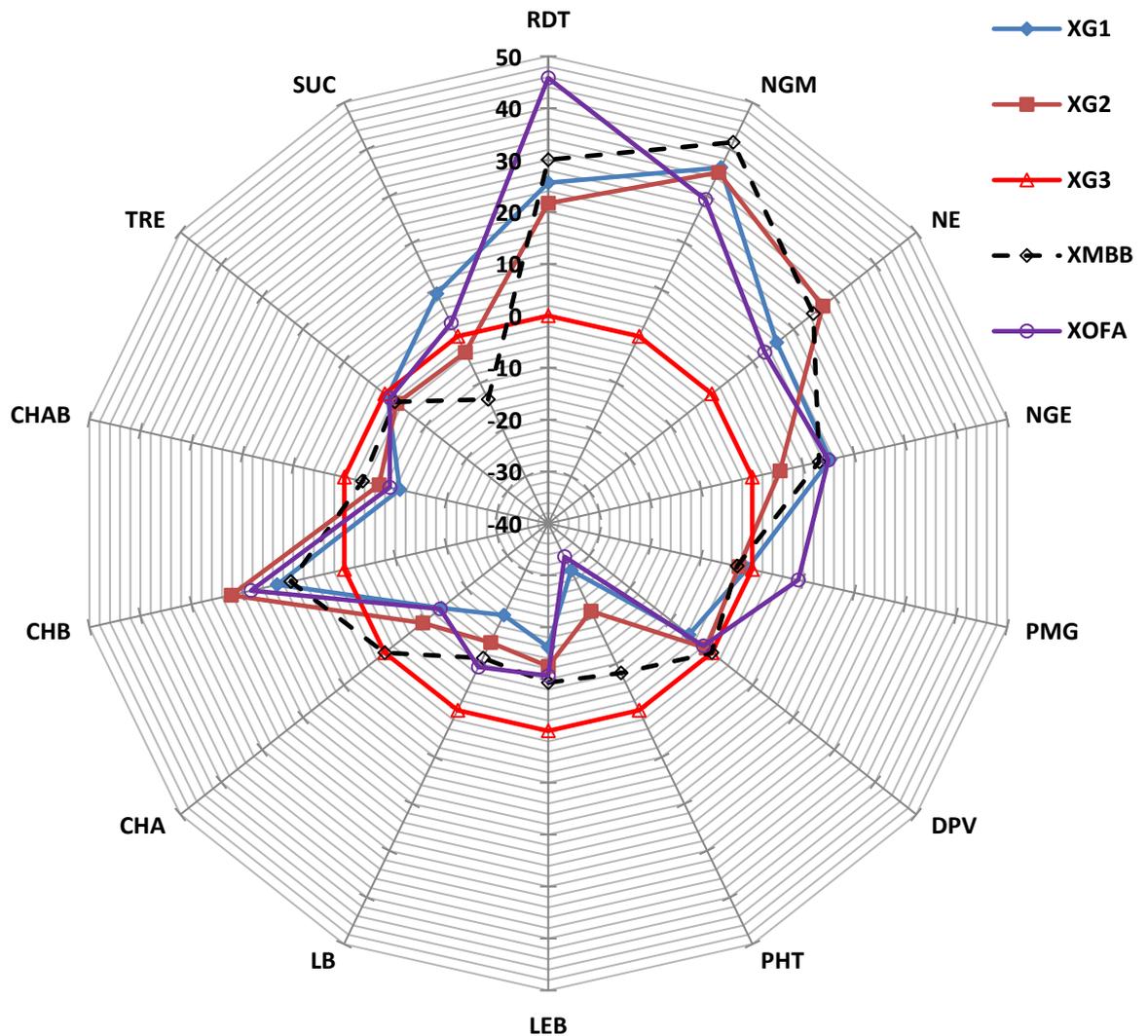


Figure 3.19. Différences relatives à la moyenne du G3 d'un seul génotype issu de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements du site de Sétif. (XG1= GTA dur, Boussellam, Ofanto, Simeto, Cirta, Mexicali, Chen's, Amar<sub>6</sub> et Vitron. XG2= Megress, Mohamed Ben Bachir et Waha et XG3= Hedba<sub>03</sub> et Bidi<sub>17</sub>. DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la plante, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CHA= Chlorophylle a, CHB= Chlorophylle b, CHAB= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles).

La culture de MBB minimise cette réduction avec un écart de rendement moindre, mais l'adoption de la variété OFA apporte un plus significatif en rendement, qui se fait au détriment de la hauteur de la végétation et donc le plus souvent au détriment du rendement paille (Figure 3.19). Sur les sites d'Oued Smar et Khemis Miliana, l'analyse de la figure 3.20 indique que le jeu de variétés évaluées se subdivise en trois clusters différents dont les caractéristiques

moyennes sont données au tableau 3.21. Le cluster 1 (G1) est constitué des variétés GTA, VIT, CHE et AM6. Le cluster 2 (G2) est formé des variétés MEX, SIM, CIR, BOU, WAH, MEG et OFA. Le cluster 3 (G3) est constitué des variétés MBB, H3 et B17 qui sont issues de sélections généalogiques des populations locales (Figure 3.20).

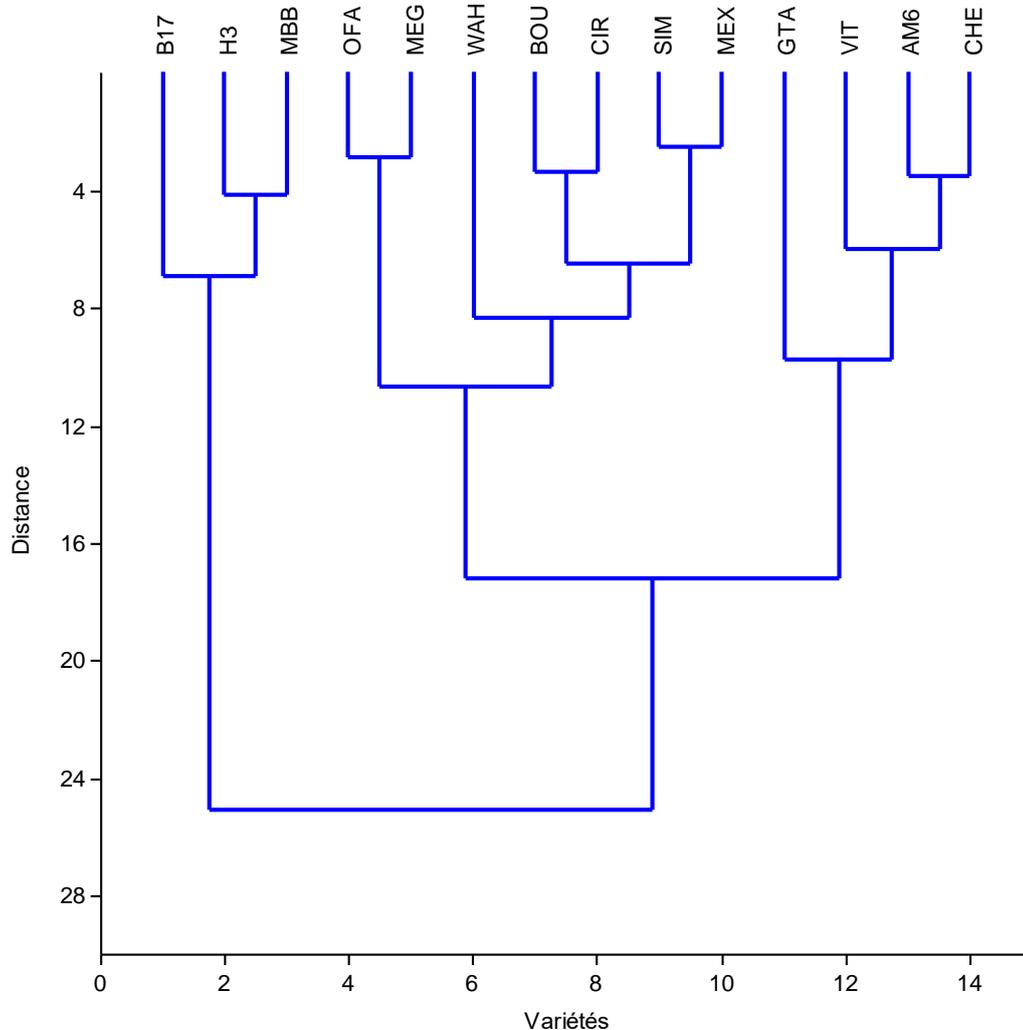


Figure 3.20. Classification hiérarchique des quatorze variétés étudiées sur la base des distances euclidiennes déduites des moyennes des variables mesurées sur l'ensemble des environnements d'Oued Smar et Khemis Miliana. GTA = Gaviota Durum, BOU = Bousellam, OFA = Ofanto, SIM = Simeto, H3 = Hedba<sub>03</sub>, CIR = Cirta, MEX = Mexicali, WAH = Waha, B17 = Bidi<sub>17</sub>, CHE = Chen's, AM6 = Amar<sub>06</sub>, MEG = Megress, MBB = Mohamed Ben Bachir, VIT = Vitron.

En moyenne des cinq environnements qui forment cet ensemble, le cultivar GTA est le plus performant en termes de rendement en grain dans le cluster G1 et le cultivar SIM est le plus performant occupant la seconde position après GTA, dans le cluster G2. Relativement à la moyenne du cluster G3, le cluster G1 se

distingue par un plus 67.7% pour le RDT, 68.4% pour le NE, 43.3% pour le NGE, 21.5% pour le PMG, 42.7% pour les SUC et une réduction de 4.7% pour NGM<sup>2</sup>, de 11.7% pour la DPV, 28.5% pour la HFV, 1.7% pour la LE, 3.5% pour la LB, 10.1 pour la CHLb, et 1.4% pour la TRE (Tableau 3.21, et Figure 3.21). La sélection de GTA et SIM pour cet ensemble d'environnements apporte des gains plus élevés pour les caractères déterminants le rendement en grains.

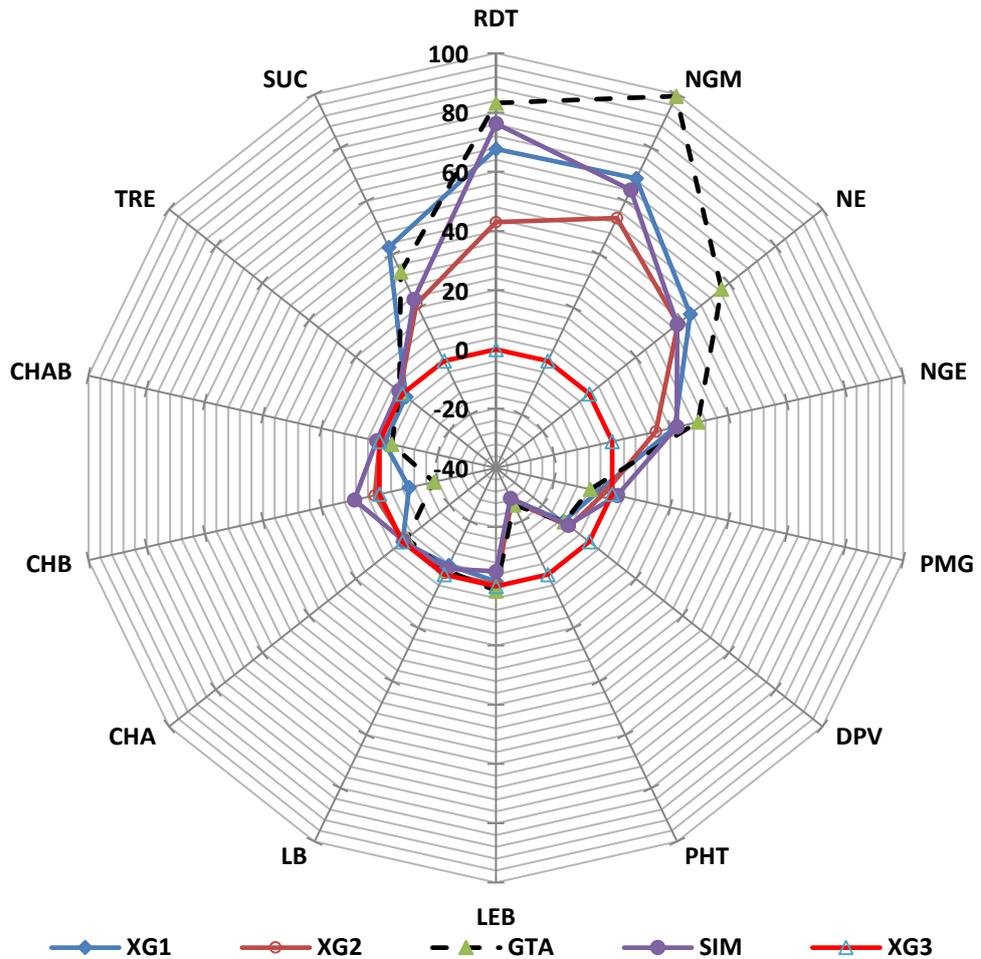


Figure 3.21. Différences relatives à la moyenne du G3 de deux génotypes issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements des sites d'Oued Smar et Khemis Miliana.

XG1= GTA dur, Vitron, Chen's et Amar<sub>6</sub>. XG2= Mexicali, Simeto, Cirta, Boussellam, Waha, Megress et Ofanto. XG3= Mohamed Ben Bachir, Hedba<sub>03</sub> et Bidi<sub>17</sub>. DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la plante, LEB = Longueur d'épi avec barbe, LB = Longueur de la barbe, CHA= Chlorophylle a, CHB= Chlorophylle b, CHAB= Chlorophylle a+b, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles).

Tableau 3.21. Caractéristiques des trois clusters issus de la classification hiérarchique des quatorze variétés évaluées sur l'ensemble des environnements des sites Oued Smar et Khemis Miliana.

Trait	Valeurs moyennes			% écart de la moyenne du G3				
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	GTA	SIM
RDT	28.3	24.1	16.9	67.7	42.9	0.0	83.2	76.3
NE	292.9	282.2	204.4	68.4	53.6	0.0	99.3	64.2
NGE	50.0	47.3	41.1	43.3	38.1	0.0	56.7	37.7
PMG	36.3	37.2	38.1	21.5	15.0	0.0	29.5	22.2
NGM	14.4	13.1	8.5	-4.7	-2.4	0.0	-7.5	1.7
DPV	107.6	110.8	120.9	-11.0	-8.4	0.0	-10.7	-9.0
HFV	78.4	79.3	109.6	-28.5	-27.7	0.0	-26.1	-28.6
LEB	18.3	18.5	18.6	-1.7	-0.4	0.0	1.5	-5.1
LB	10.6	11.0	11.0	-3.5	-0.6	0.0	-1.7	-2.2
CHA	35.0	34.8	35.0	0.0	-0.5	0.0	-1.8	-0.5
CHB	20.1	22.7	22.3	-10.1	1.6	0.0	-18.7	8.6
CHAB	74.5	75.8	75.8	-1.7	-0.1	0.0	-4.2	1.0
TRE	67.9	69.7	68.9	-1.4	1.2	0.0	1.3	1.6
SUC	80.2	68.2	56.2	42.7	21.3	0.0	33.4	23.2

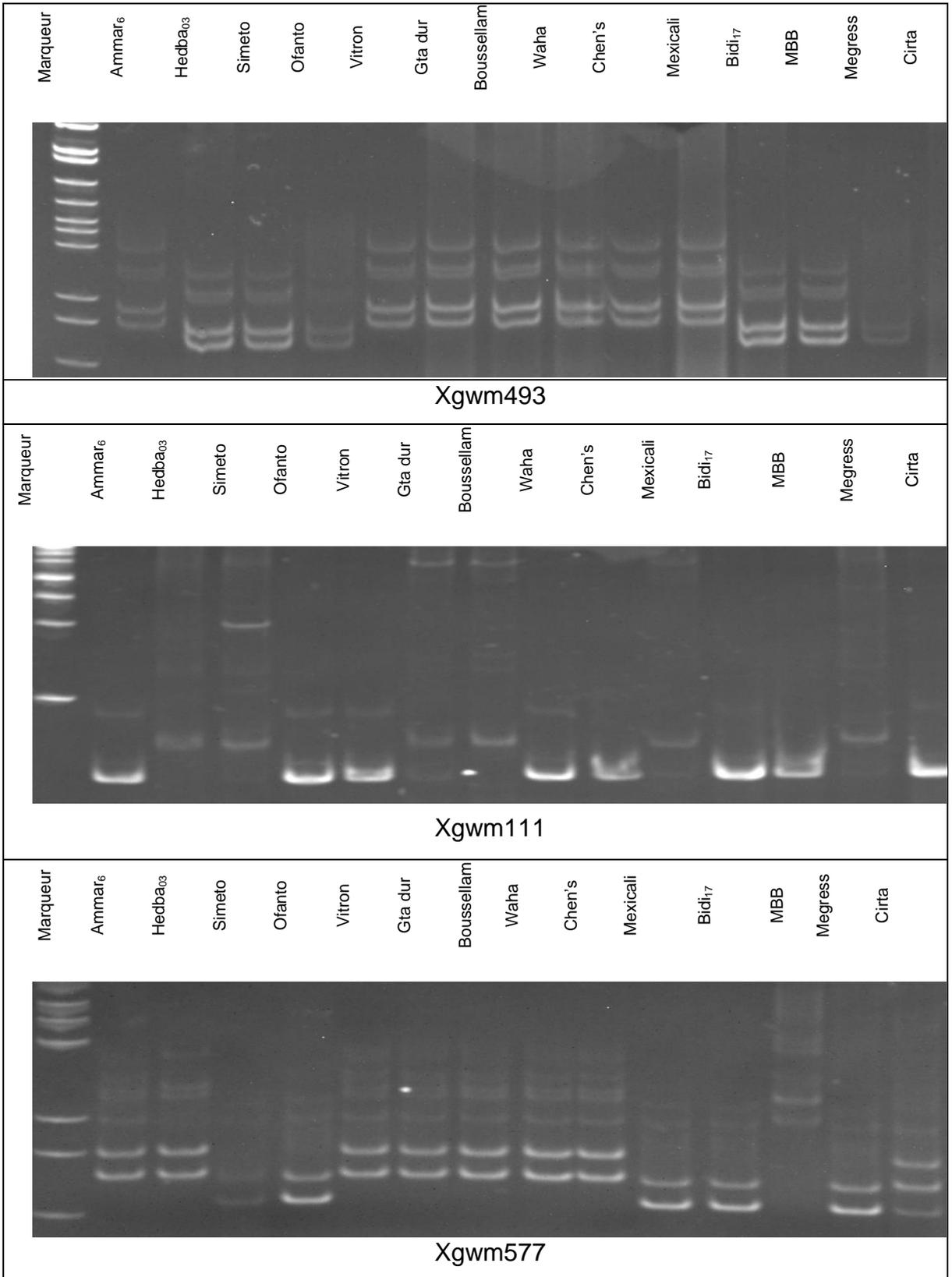
DPV= Durée de la phase végétative, RDT= Rendement en grains, NE= Nombre d'épis par m<sup>2</sup>, NGE= Nombre de grains par épis, PMG = Poids de mille grains, NGM<sup>2</sup> = Nombre de grains par m<sup>2</sup>, HFV= Hauteur finale de la végétation, TRE = Teneur relative en eau, SUC= Taux des sucres solubles. G1= GTA, VIT, CHE et AM6, G2= MEX, SIM, CIR, BOU, WAH, MEG et OFA., G3= MBB, H3 et B17

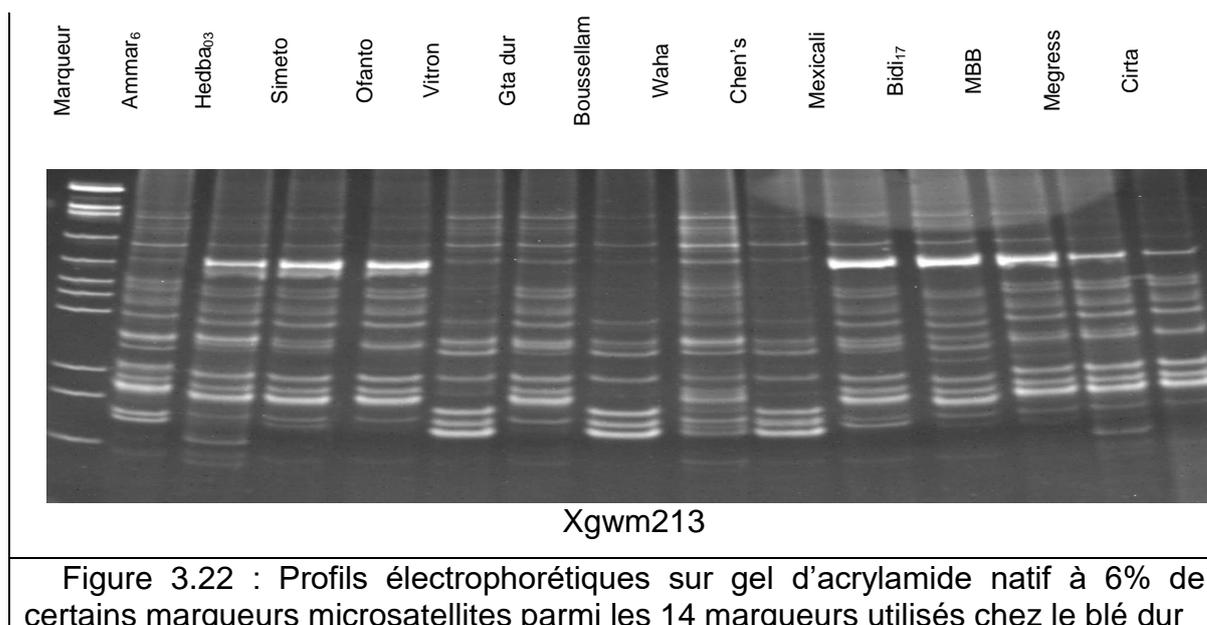
Ces résultats corroborent ceux de Mansouri et al [35] qui rapportent que les 5 meilleures variétés du meilleur cluster apportent des gains variant de 10.4 à 30.3% pour la biomasse aérienne, 10.3 à 31.2% pour le rendement économique, 13.7 à 33.7% pour le rendement en grains, associés à peu de changement de la durée de la phase végétative et du contenu en chlorophylle, et des réductions significatives pour l'indice de récolte et la hauteur de la végétation.

### 3.4. Etude de la diversité génétique

#### 3.4.1. Polymorphisme des marqueurs microsatellites

Un total de 39 allèles ont été détectés, le nombre d'allèles par locus variait de 2 pour *Xgwm106*, *Xgwm369*, *Xgwm337*, *Xgwm493* et *Xgwm111* à 6 pour *Xgwm213*, le nombre moyen d'allèles était de 3.00 (Tableau 3.14 ; Figure 3.22). La diversité génétique (Hep) variait de 0.142 pour *Xgwm337* à 0.735 pour *Xgwm213* avec une moyenne de 0.444 (Tableau 3.14).





Maccaferri et al [3] ont indiqué que les marqueurs SSR ont détecté en moyenne de 5.6 variantes alléliques différentes par locus, avec une diversité moyenne égale à 0.560, comparativement les chiffres rapportés dans la présente étude sont légèrement inférieurs (Tableau 3.15). Bantte et Mogus [339] ont signalé une dissemblance génétique parmi les lignes de sorgho allant de 0.326 à 0.839 avec une moyenne de 0.672. Yildirim et al [340] ont étudié la diversité génétique du blé dur, ils ont constaté que les bandes polymorphes allaient de 4 à 9 par locus SSR et les loci SSR les plus polymorphes étaient *Wms18*, *Wms155*, *Xgwm166* et *Stm578*. Gorji et Zolnoori [341] ont signalé que le nombre d'allèles observés par locus variait de deux à cinq avec une moyenne de 3.26, parmi 23 loci polymorphes. Les mêmes auteurs ont observé que la diversité génétique par locus ou le contenu d'information polymorphe, qui a estimé l'informativité à chaque locus, variait de 0.19 à 0.78 avec une moyenne de 0.49.

Selon Botstein et al [268], un marqueur est très informatif si son PIC est supérieur à 0.500. Dans la présente étude, les marqueurs les plus informatifs étaient *Xgwm213*, *Xgwm397*, *Xgwm193* et *Xgwm577* avec des valeurs PIC de 0.70, 0.65, 0.55 et 0.54, respectivement. Le PIC a été utilisé dans plusieurs études pour évaluer le pouvoir discriminatoire de l'amorce pour l'identification des cultivars [342].

Tableau 3.22 : Nombre d'allèles et diversité génétique de quatorze génotypes de blé dur utilisant 13 marqueurs

Locus	Nb de variétés	Nb d'allèles	Diversité génétique (H)	PIC <sub>2</sub>
<i>Xbarc263</i>	13	3	0.379	0.34
<i>Xgwm106</i>	14	2	0.337	0.28
<i>Xgwm369</i>	14	2	0.245	0.21
<i>Xgwm397</i>	14	4	0.704	0.65
<i>Xgwm337</i>	13	2	0.142	0.13
<i>Xwmc477</i>	14	3	0.255	0.24
<i>Xbarc101</i>	14	3	0.500	0.43
<i>Xgwm493</i>	13	2	0.497	0.37
<i>Xgwm213</i>	14	6	0.735	0.70
<i>Xgwm193</i>	14	3	0.622	0.55
<i>Xgwm644</i>	14	3	0.255	0.24
<i>Xgwm111</i>	14	2	0.490	0.37
<i>Xgwm577</i>	14	4	0.612	0.54
Total	-	39	-	-
Moyenne	-	3	0.440	0.39
Déviation standard	-	1.15	0.190	

Mangini et al [343] ont rapporté une valeur moyenne du continu d'information polymorphe (PIC) de 0.75 pour 11 marqueurs microsatellites, avec une plage de 0.42 à 0.96. Un seul marqueur, *Xwmc597*, a montré le contenu d'information polymorphe le plus élevé et a pu distinguer tous les 28 cultivars de blé dur. La grande informativité de certains marqueurs s'explique par leur nature multi-locus. En fait, Somers et al [344] ont constaté que certains marqueurs SSR présentaient des loci sur deux chromosomes ou plus. Mangini et al [343] a révélé que le marqueur *Xwmc597* était cartographié sur les chromosomes 1B, 2B, 3B, 4B et 6B et que *Xwmc415* était localisé sur les chromosomes 5A et 5B. Ceci explique la supériorité relative des loci SSR pour la détection du polymorphisme de l'ADN.

### 3.4.2. Relations génétiques entre les variétés

À une distance génétique de 0.25, les 14 variétés de blé dur ont été regroupées en 5 groupes (Figure 3.23). Chen's a été regroupé dans un groupe distinct qui indique sa large distance génétique par rapport aux autres variétés. Vitron et Boussellam ont formé un groupe distinct, ainsi que Cirta et Amar6. Megress et Ofanto, et d'autres sélections locales : MBB, Bidi17 et Hedba03, regroupés ensemble. De même, Mexicali, Simeto, Gaviota durum et Waha ont formé un groupe distinct (Figure 3.23).

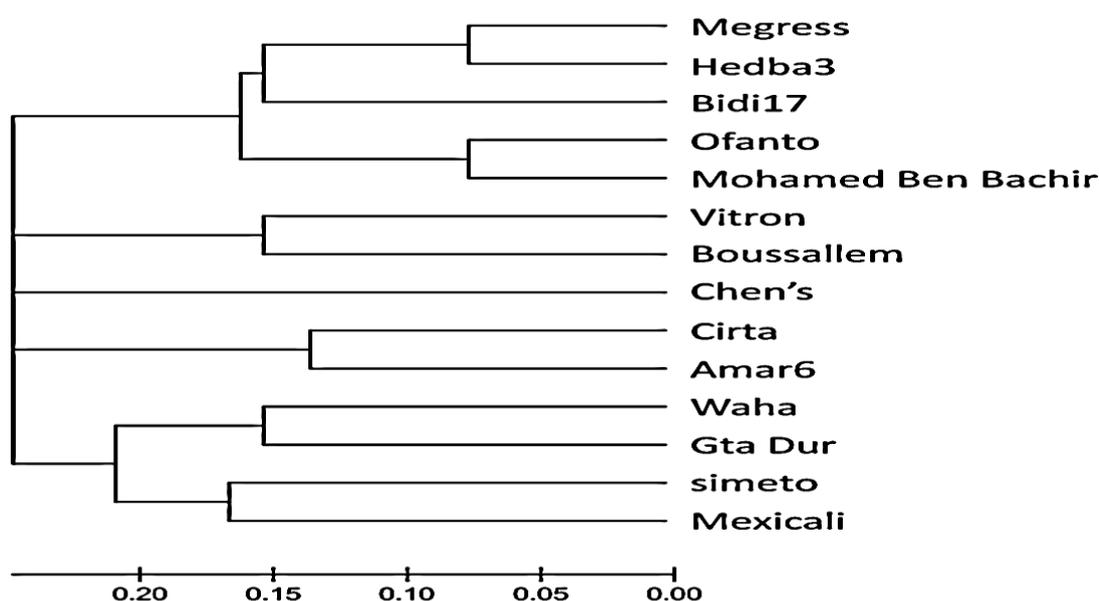


Figure 3.23 : Dendrogramme montrant la relation génétique entre 14 variétés de blé dur

Révéler par la méthode Neighbour-joining (NJ) basée sur la distance génétique des allèles partagés, Les distances génétiques entre Megress, d'une part, et Vitron, Chen, Cirta et Waha, représentant les autres groupes, d'autre part, étaient respectivement de 0.62, 0.45 et 0.54. La distance génétique la plus élevée a été observée entre Simeto et Vitron (0.77), et entre Boussellam et Cirta (0.73). La plus petite distance génétique a été observée entre Megress et Hedba03 (0.15) et entre Ofanto et MBB (0.15, Figure 3.23). Le regroupement des variétés semble être basé sur leurs pédigrées ou la similarité de la source de leurs matériaux de reproduction. En fait, les variétés les plus similaires étaient celles introduites par le programme de sélection CIMMYT-ICARDA, qui peuvent avoir des parents communs dans leur pedigree. Les sélections des races locales étaient plus

semblables et différentes du matériel CIMMYT-ICARDA. Cette différence peut être due à une adaptation agro-écologique spécifique de ce dernier groupe de variétés citées. Maccaferri et al. [3] a noté qu'une grande partie de la variation moléculaire détectée dans 45 cultivars modernes était attribuable aux allèles de la SSR qui remontent à dix génotypes de base; parmi lesquels les fondateurs dérivés du CIMMYT étaient génétiquement éloignés des anciennes variétés méditerranéennes. Yildirim et al [340] ont indiqué que les variétés de blé dur étaient regroupées en deux grands groupes, dont les génotypes génétiquement les plus proches et les plus éloignés ont été identifiés.

Les résultats de la présente étude indiquent qu'il existe une grande diversité génétique parmi les génotypes étudiés. Cette diversité pourrait être utile pour planifier des croisements plus prometteurs, attribuer des variétés à des groupes hétérotiques spécifiques et exploiter la variabilité génétique expressive en n'utilisant que des germoplasmes adaptés. Ces résultats corroborent ceux de Plaschke et al [345] qui ont signalé que peu de marqueurs étaient suffisants pour détecter le polymorphisme chez les génotypes de blé.

L'analyse des coordonnées principales (PCoA) a été choisie pour compléter l'information issue de l'analyse par regroupement. Selon Quinn et Keough [346], l'analyse par regroupement est plus sensible aux individus étroitement liées, tandis que PCoA est plus informatif en ce qui concerne les distances entre les grands groupes. PCoA a révélé que les deux premiers axes, ont présenté des valeurs propres supérieures à l'unité (respectivement 2.02 et 1.27) et ont expliqué 57.66% de la variation totale (35.69 et 22.26%, respectivement). Dans l'espace bidimensionnel, les variétés étudiées étaient clairement séparées le long des deux premières coordonnées PCoA. Cinq groupes peuvent être identifiés dans le diagramme mis en évidence par des génotypes encerclants appartenant à chacun des cinq groupes principaux (Figure 3.24).

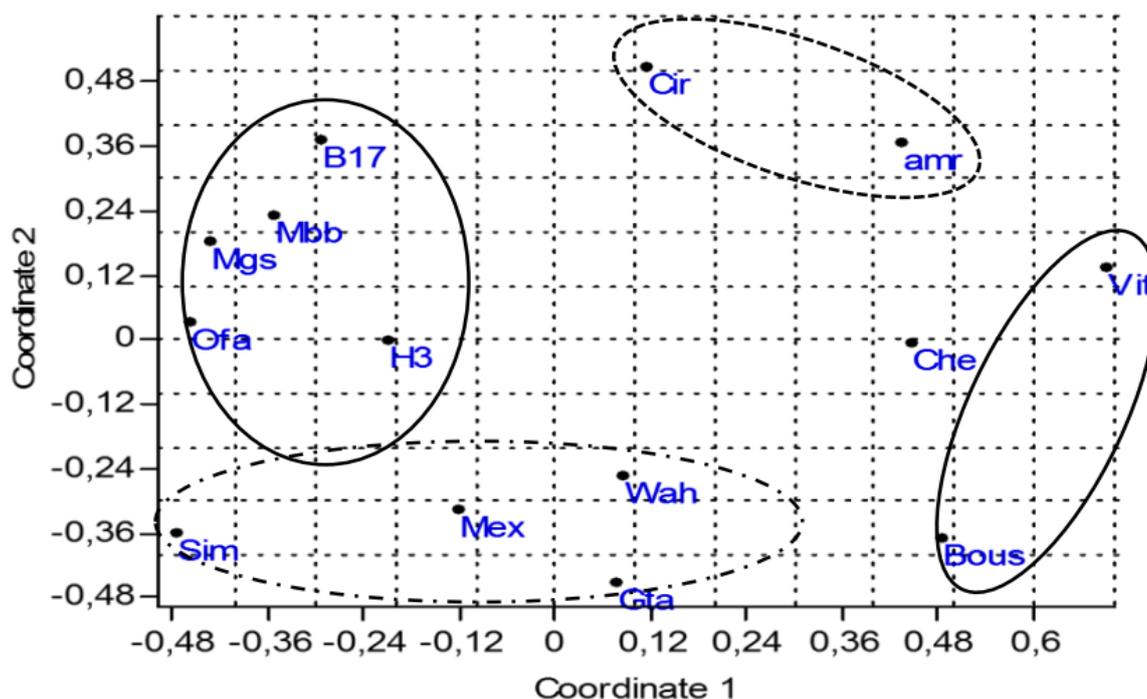


Figure 3.24: Analyse des coordonnées principale PCoA, après une analyse de la diversité génétique dérivée de 13 loci microsatellites dans 14 variétés de blé dur. (Amr= Ammar<sub>6</sub>, B17= Bidi<sub>17</sub>, Bous= Boussellam, Che =Chen's, Cir= Cirta, Gta= Gaviota durum, H3= Hedba<sub>03</sub>, Mbb= Mohamed Ben Bachir, Mex= Mexicali, Mgs=Megress, Ofa= Ofanto, Sim= Simeto, Vit= Vitron, Wah= Waha)

Les variétés étudiées sont regroupées selon leur population d'origine, indiquant un effet de provenance dans leur coordination. Le long de la première coordonnée PCoA se sont opposés à Vitron et Boussellam (Groupe 1) à Bidi<sub>17</sub>, Hedba<sub>03</sub>, Mohamed Ben Bachir, Ofanto et Megress (Groupe 2). Alors que le long de la deuxième coordonnée PCoA s'opposa à Cirta et Ammar<sub>6</sub> à Gaviota durum, Mexicali, Simeto et Waha. Le cultivar de Chen (groupe 5) était le mieux représenté sur la troisième coordonnée PCoA (données non présentées), qui représentaient 15.86% de la variation, ce qui porte la variation totale expliquée jusqu'à 73.81% (Figure 3.24). L'analyse de PCoA a indiqué que les sélections locales forment un groupe distinct en dehors des variétés modernes qui soutiennent les résultats de l'analyse par regroupement. Une telle différenciation a été observée par Maccaferri et al [3].

Les résultats suggèrent que les variétés locales de blé dur sont tout à fait uniques car elles diffèrent sensiblement du germoplasme de blé dur moderne dont la variation peut être attribuée aux différences dans les fondateurs utilisés dans les croisements dans les matériaux CIMMYT. Les sélections locales ne sont

généralement pas intégrées au programme de croisement en raison de leur grande taille, de leur retard et de leur susceptibilité aux maladies. Les techniques de reproduction par le biais moléculaire, peuvent contribuer à la pyramide des allèles souhaitables des deux sources génétiques dans le futur des variétés améliorées.

La diversité génétique utilisant 13 loci microsatellites a été utilisée avec succès dans la caractérisation moléculaire de 14 variétés de blé dur cultivés en Algérie. La variation génétique était similaire à celle décrite dans d'autres publications. Ces résultats sont importants pour la culture du blé dur en Algérie, car le succès d'un programme d'amélioration dépend en grande partie de la disponibilité d'une large base génétique. L'ensemble des marqueurs SSR sélectionné a généré un polymorphisme élevé, ce qui montre son utilité dans la caractérisation du germoplasme de blé dur. Les choix de variétés locales devraient être une bonne source de diversité génétique car ils avaient un polymorphisme élevé et ils se distinguent des matériaux dérivés du CIMMYT. Cela favorise les programmes d'amélioration du blé dur pour faire le meilleur choix des variétés à utiliser dans les croisements, ce qui facilite la gestion du matériel génétique.

## CONCLUSION

Le développement de variété à haut rendement lié à une adaptation large est un objectif primordial dans l'amélioration des plantes. L'interaction génotype x environnement représente le problème majeur qui entrave les sélectionneurs toute en affectant le progrès de la sélection. Ce facteur joue un rôle crucial dans la détermination des performances de matériel végétal testé dans différents environnements différentes.

Les résultats de cette étude indiquent des effets moyens site, génotype et interaction génotype x environnement significatifs pour l'ensemble des caractères analysés. Les caractères les plus sensibles à la variation sont le rendement en grains et ses composantes, la teneur en sucres solubles, et à moindre degré la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante.

L'étude des relations entre caractères est intéressante afin d'identifier l'effet des caractères, facilement mesurables avant récolte (DPV, HFV, NE, LE, TRE, SUC...), qui peuvent servir d'aides à la sélection indirecte des caractères complexes tels que le NGE, RDT, PMG qui sont mesurés à la récolte. La sélection en faveur d'un épi et barbes longs et d'un contenu en chlorophylle élevé apparaît secondaire pour un même rendement en grains. Par contre, la sélection dans le sens de la précocité est favorable à l'expression du rendement en grains, mais elle est accompagnée par une réduction de la hauteur de la plante. De même le NE est un déterminant principal du  $NGM^2$  dont dépendant largement le RDT, de ce fait, la sélection est recommandée pour le NE et en cas de similarité entre cultivars pour le NE, on sélectionne pour les autres caractéristiques notamment le NGE, suivi du PMG, de la HFV et des autres caractéristiques.

D'après les coefficients de corrélation inter environnements des variables étudiées, l'inversion de l'ordre de classement des génotypes est généralement peu observée pour quelques caractères notamment la hauteur de végétation suivi par la durée de la phase végétative et le rendement en grains à moindre degré. Par contre, le classement des variétés change pour le NE, le NGE, le PMG, la TRE et les SUC d'un environnement à l'autre, suggérant la présence de l'interaction GXE. Ces résultats suggérant le classement des sept environnements

en deux ensembles : le site de Sétif seul et les deux sites d'Oued Smar et de Khemis Miliana ensemble. De ce fait les recommandations variétales doivent être faites sur la base de l'adaptation spécifique à ces deux ensembles d'environnements séparément.

La classification hiérarchique des quatorze variétés étudiées sur la base des distances euclidiennes montre que la variété Ofanto sur le site de Sétif et en moyenne des deux années, est la plus performante en termes de rendement en grain et le cultivar MBB est le standard. Relativement à la moyenne du cluster G3 (H3 et B17), la variété Ofanto située dans le cluster G1, apporte un plus significatif en rendement (45%), qui se fait au détriment de la hauteur de la végétation (-38.8%) et donc le plus souvent au détriment du rendement paille. Sur les sites d'Oued Smar et Khemis Miliana, le cultivar GTA dur est le plus performant en termes de rendement en grain dans le cluster G1 et le cultivar Simeto est le plus performant occupant la seconde position après GTA dur, dans le cluster G2. Relativement à la moyenne du cluster G3, la sélection de GTA dur et Simeto pour cet ensemble d'environnements apporte des gains plus élevés pour le rendement en grains (83.2 et 76.3% respectivement) et les caractères qui le déterminent.

Pour l'évaluation de la performance et la stabilité du rendement des génotypes, l'indice  $P_i$ , indice de la supériorité génotypique a pu discriminer deux variétés GTA dur et Simeto stables et performants, possédant les plus petite valeurs de cet indice. La sélection de ces deux cultivars a permis l'obtention des gains de rendement sur l'ensemble des environnements, relativement à la moyenne de rendements des témoins standards Boussellam, Waha et MBB, varie de 11.15% à 74.64% pour GTA dur et de 2.13% à 76.68% pour Simeto.

L'étude de la phylogénie en utilisant les marqueurs moléculaires de type microsatellite semble être basé sur la relation généalogique ou la similarité de la source de matériel de reproduction. En fait, les variétés les plus similaires étaient celles qui provenaient du programme d'amélioration CIMMYT-ICARDA, qui peuvent avoir des parents communs dans leur pedigree. Les sélections des variétés locales étaient plus similaires les unes aux autres et dissemblables au matériel CIMMYT-ICARDA. Cette différence peut être due à une adaptation agro-écologique spécifique.

En perspectives, la diversité génétique révélée à travers notre étude, pourrait être utile pour la sélection du blé dur algérien. Les sélections locales ne sont généralement pas intégrées au programme de croisement en raison de leur grande taille, de leur retard et de leur vulnérabilité aux maladies. Les techniques de sélection moléculaire peuvent aider à pyramider des allèles désirables provenant des deux sources génétiques dans les futures variétés améliorées. Ces types d'études doivent être renforcés par des méthodes d'échantillonnage plus complètes et des techniques moléculaires avancées.

L'étude suivante a été menée dans le but d'analyser l'interaction  $G \times E$  du blé dur à travers le modèle AMMI. Et elle a permis d'identifier certains facteurs explicatifs de cette interaction, ce qui aidera à diriger et à cibler la sélection variétale de cette culture pour atteindre des objectifs de stabilité et de performance des rendements. L'ensemble des résultats obtenus ont montré clairement que les variétés analysées présentent une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés à la phénologie, à l'architecture et aux composantes du rendement. Cette variabilité génétique observée entre cultivars constitue un atout pour les travaux de sélection permettront de continuer d'apporter un soutien à notre agriculture en favorisant la sélection pour l'adaptation spécifique qui valorise les différents terroirs au détriment de l'adaptation générale plus difficile à obtenir. Ceci exige une sélection continue. Pour appuyer et mener à bien l'analyse de l'interaction GXE, dans la région de Khemis Meliana et surtout à Sétif, il serait intéressant d'élargir le réseau d'essais variétaux par l'augmentation du nombre d'environnements surtout temporels afin d'avoir une information plus précise et exacte sur les causes explicatives de l'interaction GXE.

## ANNEXES 1

### Solutions nécessaires pour l'extraction

#### Solution stock de Tris-HCl:

1 M Tris-HCl (pH 8)	Pour 100 mL
Tris base (Amresco)	12.114 g
Eau distillée	Compléter jusqu'à 100 mL

Ajouter le pH avec le HCl concentrée jusqu'à pH 8.

#### Solution stock de NaCl:

5 M NaCl	Pour 250 mL
NaCl (Merck)	73.05 g
Eau distillée	Compléter jusqu'à 250 mL

#### Solution stock d'EDTA:

0.5 M EDTA (pH 8)	Pour 100 mL
EDTA (Amresco)	18.6 g
Eau distillée	Compléter jusqu'à 100 mL

Ajuster le pH avec les pelletes de NaOH jusqu'à pH 8.

#### Solution stock du tampon d'extraction 2x CTAB:

2 x CTAB	Volume final de 50 mL	Volume final de 250 mL
1 M Tris-HCl (pH 8)	5 mL	25 mL
5 M NaCl	14 mL	70 mL
0.5 M EDTA (pH 8)	2 mL	10 mL
CTAB (Amresco)	1 g	5 g
Eau distillée	Compléter jusqu'à 50 mL	Compléter jusqu'à 250 mL

#### Solution de Chloroforme / Isoamyl alcool:

Chloroforme / isoamyl alcool (24 : 1)	Pour 25 mL	100 mL
Chloroforme (Scharlau)	24 mL	96 mL
Isoamyl alcool ou 3-Methylbutanol (Sigma)	1 mL	4 mL

#### Solution de 70% Ethanol:

70% Ethanol	Pour 100 mL
Ethanol absolu ou Ethanol Anhydrous denatured (Amresco)	70 mL
Eau distillée	30 mL

**ANNEXE 2**  
**Solutions stock pour les gels**

**Gel d'agarose:**

Solution d'agarose	Gel 1.2%	Gel 1.5%
Agarose (Promega)	3.6 g	4.5 g
5 X TBE	30 mL	30 mL
Eau distillée	Compléter jusqu'à 300	Compléter jusqu'à 300

0.5XTBE

**Tampon de migration 5 X TBE:**

5 X TBE	Pour 1 L
Acide borique (Amresco)	27.5 g
Tris base (Sigma)	54 g
0.5 M EDTA (pH 8)	20 mL
Eau distillée	Compléter jusqu'à 1 L

Ajuster le pH avec l'acide borique jusqu'à pH 8.

**Solution de 40% acrylamide:**

40% Acrylamide	Pour 250 mL
Acrylamide (Promega)	96.65 g
Bis acrylamide ou N, N'- Methylenebiacrylamide (Sigma)	3.35 g
Eau distillée	250 mL

**Solution de 6% acrylamide natif:**

6% Acrylamide	Pour plaque de 100 mL	Pour plaque de 150 mL
40% Acrylamide natif	15 mL	22.5 mL
5 XTBE	10 mL	15 mL
Eau distillée	75 mL	112.5 mL

**Solution de 20% acrylamide:**

20% Acrylamide	Pour 250 mL
Acrylamide (Promega)	47.5 g
Bis acrylamide ou N, N'- Methylenebiacrylamide (Sigma)	2.5 g
Eau distillée	250 mL

**Préparation d'ammonium persulfate:**

Solution d'ammonium persulfate (10 mL)	10%	25%
Ammonium persulfate (Pharmacia Biotech)	1 g	2.5 g
Eau distillée	10 mL	25 mL

**Préparation du gel 6% acrylamide natif:**

Gel de 6%acrylamide	Pour plaque de 100	Pour plaque de 150 mL
6% Acrylamide	100 mL	150 mL
TEMED (Pharmacia)	74 µL	110 µL
25% Ammonium	280 µL	400 µL

**Préparation du tampon de charge:**

Bleu d'agarose	Pour 10 mL
1 M Tris-HCl (pH 8)	0.5 mL
0.5 M EDTA (pH 8)	0.1 mL
50% Glycérol (Acro Organics)	5 mL
Bleu de bromophénol	20 mg

**Préparation du tampon de charge:**

Bleu d'acrylamide	Pour 25 mL
Formamide (Roche)	24.75 mL
Bleu de bromophénol	12.5 mg
Xylene cyanole (Sigma)	12.5 mg
Eau distillée	1.25 mL

**ANNEXE 3****Solutions pour la coloration des gels****Solution de bromure d'éthidium (BET):**

Solution diluée de Bromure d'éthidium	Pour 1 L
Bromure d'éthidium (10 mg/mL)	100 µL
Eau distillée	1 L

**Solution de carbonate de sodium (solution de développement):**

Solution de carbonate de sodium	Pour 2 L
Carbonate de sodium (Panreac)	60 g
Sodium thiosulfate (10 mg/mL ; Fluka)	400 µL
37% Formaldéhyde (Amresco)	3 mL
Eau distillée	2 L

## ANNEXE 4

### Produits nécessaires pour PCR

#### Préparation de 2 mM dNTPs:

2 mM dNTPs	Pour 1000 $\mu$ L
100 mM dATP (Promega)	20 $\mu$ L
100 mM dTTP (Promega)	20 $\mu$ L
100 mM dCTP (Promega)	20 $\mu$ L
100 mM dGTP (Promega)	20 $\mu$ L
Eau bi-distillée stérile	920 $\mu$ L

#### Préparation de l'amorce 10 pmol/ $\mu$ L:

Amorce F / R	Pour 500 $\mu$ L
100 $\mu$ M Amorce Forward (Sigma)	50 $\mu$ L
100 $\mu$ M Amorce Reverse (Sigma)	50 $\mu$ L
Eau bi-distillée stérile	400 $\mu$ L

# ANNEXE 5

## Fiches variétales

**Bidi 17**

**Blé dur**

**Origine :** Espagne  
**Pédigrée :** \*  
**Obtenteur :** \*  
**Demandeur :** ITGC  
**Année d'inscription :** 1998

**CARACTÉRISATION AU CHAMP :**

	<b>Coléoptile</b> Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Première feuille</b> Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Plante</b> Port au tallage :	Dressé
	Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :	Nulle ou très faible
	Hauteur (tige, épi et barbes) :	Longue
	<b>Dernière Feuille:</b> Glaucescence de la gaine :	Moyenne
	Glaucescence du limbe :	Moyenne
	Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :	Tardive
	<b>Barbes</b> Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Tige</b> Pilosité du dernier nœud :	Nulle ou très faible
	Glaucescence du col de l'épi :	Moyenne
	<b>Epi</b> Glaucescence :	Moyenne

**CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC**

	<b>Barbes</b> Distribution des barbes :	Sur toute la longueur
	Longueur par rapport à l'épi :	Plus longues
	Couleur :	Noire

30

**Bidi 17**

	<b>Epi</b> Longueur à l'exclusion des barbes :	Moyenne
	Pilosité du bord du 1er article du rachis :	Faible
	Couleur (à maturité) :	Blanc
	Forme en vue de profil :	Pyramidale
	Compacité :	Moyenne
	<b>Paille</b> Moelle en section transversale	Moyenne
	<b>Glume inférieure</b> Forme de la glume :	Allongée
	Forme de la tronçature :	Echancrée
	Largeur de la tronçature :	Etroite
	Longueur du bec :	Moyen
	Forme du bec :	Légèrement coudé
	Pilosité de la face externe :	Absente
	<b>Grain</b> Forme :	Allongé
	Longueur des poils de la brosse vue dorsale :	Moyens
	Coloration au phénol :	Faible

Type de développement : Hiver

**CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

Rendement :	Elevé
Poids de mille grains (PMG) :	Elevé
Qualité semoulière :	Bonne
Mitadinage :	Assez sensible
Teneur en protéines :	*

**RÉSISTANCE AUX MALADIES**

Oidium sur feuille :	Sensible
Oidium sur épi :	Sensible
Rouille brune :	Sensible
Charbon :	*
Fusariose :	*
Septoriose :	Peu sensible

\* : Pas d'information

31

## Hedba 03



Origine : Algérie  
 Pédigrée : Hedba 3/GDVZ 619  
 Obtenneur : ITGC El Khroub  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Demi-dressé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Très longue



**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Forte  
 Glaucescence du limbe : Moyenne

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Forte

**Epi**  
 Glaucescence : Moyenne

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

64

## Hedba 03



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Long  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Nulle ou très faible  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la troncature : Droit  
 Largeur de la troncature : Moyenne  
 Longueur du bec : Court  
 Forme du bec : Droit  
 Pilosité de la face externe : Absente



**Grain**  
 Forme : Allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Courts  
 Coloration au phénol : Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Moyen  
 Qualité semoulière : \*  
 Mitadinage : \*  
 Teneur en protéines : 14,50%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille : Résistante  
 Oïdium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Résistante  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : Résistante

\* : Pas d'information

65

# Mohamed Ben Bachir



Origine : Algérie  
 Pédigrée : \*  
 Obtenteur : ITGC Sétif  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



<b>Coléoptile</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Première feuille</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Plante</b>		
Port au tallage :		Dressé
Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :		Nulle ou très faible
Hauteur (tige, épi et barbes) :		Longue
<b>Dernière Feuille:</b>		
Glaucescence de la gaine :		Forte
Glaucescence du limbe :		Faible
Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :		Tardive
<b>Barbes</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Tige</b>		
Pilosité du dernier nœud :		Nulle ou très faible
Glaucescence du col de l'épi :		Faible
<b>Epi</b>		
Glaucescence :		Moyenne

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

<b>Barbes</b>		
Distribution des barbes :		Sur toute la longueur
Longueur par rapport à l'épi :		Plus longues
Couleur :		Noire

74

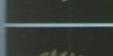
# Mohamed Ben Bachir



<b>Epi</b>		
Longueur à l'exclusion des barbes :		Moyen
Pilosité du bord du 1er article du rachis :		Forte
Couleur (à maturité) :		Faiblement coloré
Forme en vue de profil :		Pyramidale
Compacité :		Moyenne



<b>Paille</b>		
Moelle en section transversale :		Epaisse



<b>Glume inférieure</b>		
Forme de la glume :		Allongée
Forme de la troncature :		Droite
Largeur de la troncature :		Etroite
Longueur du bec :		Court
Forme du bec :		Droit
Pilosité de la face externe :		Présente



<b>Grain</b>		
Forme :		Allongé
Longueur des poils de la brosse vue dorsale :		Courts
Coloration au phénol :		Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement :		Elevé
Poids de mille grains (PMG) :		Elevé
Qualité semoulière :		Bonne
Mitadinage :		Résistante
Teneur en protéines :		*

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille :		Résistante
Oïdium sur épi :		Résistante
Rouille brune :		Résistante
Charbon :		*
Fusariose :		*
Septoriose :		Moyennement sensible

\* : Pas d'information

75

# Boussellam



Origine : Syrie  
 Pédigrée : Heider/Marli/Heider-Cro ICD  
 -414-1BLCTR-4AP  
 Obtenteur : Semilas Fito .Sa.  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 2007

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



### Coléoptile

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

### Première feuille

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

### Plante

Port au tallage : Mi- dressé à mi- étalé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne



### Dernière Feuille:

Glaucescence de la gaine : Moyenne  
 Glaucescence du limbe : Faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

### Barbes

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

### Tige

Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Faible

### Epi

Glaucescence : Faible

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

### Barbes

Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

34

# Boussellam



### Epi

Longueur à l'exclusion des barbes : Moyen  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Forte  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



### Paille

Moelle en section transversale : Peu épaisse

### Glume inférieure

Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la tronçature : Droite  
 Longueur du bec : Étroite  
 Forme du bec : Moyen  
 Pilosité de la face externe : Droit  
 Présent



### Grain

Forme : Demi-allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Moyens  
 Coloration au phénol : Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Élevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Élevé  
 Qualité semoulière : Bonne  
 Mitadinage : Résistante  
 Teneur en protéines : 15,01%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille : Moyennement sensible  
 Oïdium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Sensible  
 Charbon : +  
 Fusariose : +  
 Septoriose : Moyennement sensible

\* : Pas d'information

35

## Chen's



Origine : Syrie  
 Pédigrée : Ihwa'S'/Bit 'S'CD  
 26406-3B-2Y-9Y-OM-3Y-OB  
 Obtenteur : Icarda  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Dressé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Courte



**Dernière Feuilles**  
 Glaucescence de la gaine : Forte  
 Glaucescence du limbe : Faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

**Epi**  
 Glaucescence : Moyenne

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

44

## Chen's



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Court  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Nulle ou très faible  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Compact



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Ovoïde  
 Forme de la tronçature : Echançrée  
 Largeur de la tronçature : Étroite  
 Longueur du bec : Court  
 Forme du bec : Moyen  
 Pilosité de la face externe : Présente



**Grain**  
 Forme : Demi-allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Courts  
 Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Elevé  
 Qualité semoulière : \*  
 Mitadinage : \*  
 Teneur en protéines : \*

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille : \*  
 Oïdium sur épi : \*  
 Rouille brune : \*  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : \*

\* : Pas d'information

45

## Cirta



Origine : Algérie  
 Pédigrée : KB214-OKB-20KB-OKB-OKB-1KB-OKB  
 Obtenneur : ITGC Khroub  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 2004

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Demi-dressé à demi-étalé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne



**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Forte  
 Glaucescence du limbe : Moyenne

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Tardive

**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Faible

**Epi**  
 Glaucescence : Moyenne

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

48

## Cirta



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Moyen  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Nulle ou très faible  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Moyenne

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la troncature : Echancrée  
 Largeur de la troncature : Étroite  
 Longueur du bec : Court  
 Forme du bec : Droit  
 Pilosité de la face externe : Absente



**Grain**  
 Forme : Demi-allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Courts  
 Coloration au phénol : Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Élevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Élevé  
 Qualité semoulière : Bonne  
 Mitadinage : Résistante  
 Teneur en protéines : 15,19%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Faiblement sensible  
 Oidium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Moyennement sensible \*  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : Moyennement sensible

\* : Pas d'information

49

## GTA Dur



Origine : Mexique  
 Pédigrée : Gaviota x Durum  
 Obtenteur : \*  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage: Demi-dressé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne



**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Moyenne  
 Glaucescence du limbe : Faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

**Epi**  
 Glaucescence : Faible

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

60

## Gta Dur



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Moyen  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Moyenne  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la troncature : Echancrée  
 Largeur de la troncature : Moyenne  
 Longueur du bec : Moyen  
 Forme du bec : Droit  
 Pilosité de la face externe : Présente



**Grain**  
 Forme : Allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Courts  
 Coloration au phénol : Moyenne

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Elevé  
 Qualité semoulière : \*  
 Mitadinage : \*  
 Teneur en protéines : \*

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Résistante  
 Oidium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Résistante  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : Résistante

\* : Pas d'information

61

# Megress



Origine : Algérie  
 Pédigrée : 023-99-ITGC SETIF/15-8S-1S-1S-0S  
 Obtenteur : ITGC Sétif  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 2011

## CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Dressé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Longue

**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Forte  
 Glaucescence du limbe : Faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Tardive



**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Forte  
 Glaucescence du col de l'épi : Forte

**Epi**  
 Glaucescence : Moyenne

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

72

## Megress



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Long  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Nulle ou très faible  
 Couleur (à maturité) : Faiblement coloré  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la troncature : Echancrée  
 Largeur de la troncature : moyenne  
 Longueur du bec : Moyen  
 Forme du bec : Droit  
 Pilosité de la face externe : Présente



**Grain**  
 Forme : Demi-allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Courts  
 Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Elevé  
 Qualité semoulière : Bonne  
 Mitadinage : Résistante  
 Teneur en protéines : 14,76%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Résistante  
 Oidium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Résistante  
 Charbon : Résistante  
 Fusariose : Résistante  
 Septoriose : Résistante

73

## Ofanto



Origine : Italie  
 Pédigrée : Adamelio x Appulo  
 Obtenneur : IAO ITALIO  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 2004

## CARACTÉRISATION AU CHAMP

**Coléoptile**

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**

Port au tallage : Demi-dressé à demi-étalé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tiges, épi et barbes) : Moyenne

**Dernière Feuille:**

Glaucescence de la gaine : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du limbe : Nulle ou très faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précocité

**Barbes**

Pigmentation anthocyanique : Moyenne

**Tige**

Pilosité du dernier nœud : Moyenne  
 Glaucescence du col de l'épi : Nulle ou très faible

**Epi**

Glaucescence : Nulle ou très faible

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**

Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

76

## Ofanto

**Epi**

Longueur à l'exclusion des barbes : Court  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Moyenne  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Compact

**Paille**

Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**

Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la tronçature : Echancrée avec présence d'un 2ème bec  
 Largeur de la tronçature : Étroite  
 Longueur du bec : Court  
 Forme du bec : légèrement coudé  
 Pilosité de la face externe : Absente

**Grain**

Forme : Demi-allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Moyen  
 Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Élevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Moyen  
 Qualité semoulière : Bonne  
 Mitadinage : Sensible  
 Teneur en protéines : 15,64%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Moyennement sensible  
 Oidium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Moyennement sensible  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : Moyennement sensible

\* : Pas d'information

77

# Simeto



Origine : Italie  
 Pédigrée : Capeiti x valvona  
 Obtenueur : IAO ITALIO  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP

	<b>Coléoptile</b>	
	Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Première feuille</b>	
	Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Plante</b>	
	Port au tallage :	Demi-dressé
	Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :	Nulle ou très faible
	Hauteur (tige, épi et barbes) :	Moyenne
	<b>Dernière Feuille:</b>	
	Glaucescence de la gaine :	Très forte
	Glaucescence du limbe :	Forte
	Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :	Précoce
	<b>Barbes</b>	
	Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
	<b>Tige</b>	
	Pilosité du dernier nœud :	Nulle ou très faible
	Glaucescence du col de l'épi :	Forte
	<b>Epi</b>	
	Glaucescence :	Forte

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

<b>Barbes</b>	
Distribution des barbes :	Sur toute la longueur
Longueur par rapport à l'épi :	Plus longues
Couleur :	Noire

92

# Simeto



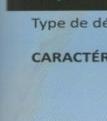
<b>Epi</b>	
Longueur à l'exclusion des barbes :	Court
Pilosité du bord du 1er article du rachis :	Nulle ou très faible
Couleur (à maturité) :	Blanc
Forme en vue de profil :	Pyramidale
Compacité :	Moyenne



<b>Paille</b>	
Moelle en section transversale	Peu épaisse



<b>Glume inférieure</b>	
Forme de la glume :	Allongée
Forme de la troncation :	Inclinée
Largeur de la troncation :	Etroite
Longueur du bec :	Court
Forme du bec :	Droit
Pilosité de la face externe :	Absente



<b>Grain</b>	
Forme :	Demi-allongé
Longueur des poils de la brosse vue dorsale :	Moyenne
Coloration au phénol :	Faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement :	Elevé
Poids de mille grains (PMG) :	Elevé
Qualité semoulière :	Très bonne
Mitadinage :	Résistante
Teneur en protéines :	15,80%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille :	Moyennement sensible
Oïdium sur épi :	Résistante
Rouille brune:	Moyennement sensible
Charbon :	*
Fusariose :	*
Septoriose :	Moyennement sensible

\* : Pas d'information

93

**Blé dur**

# Targui

Origine : Syrie  
Pédigrée : ID94.0920-C-OAP-7AP  
Obtenteur : ITGC Sétif  
Demandeur : ITGC  
Année d'inscription : 2011



### CARACTÉRISATION AU CHAMP

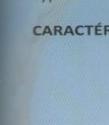
	<b>Coléoptile</b>		
	Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
	<b>Première feuille</b>		
	Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
	<b>Plante</b>		
	Port au tallage :		Dressé
	Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :		Faible
	Hauteur (tige, épi et barbes) :		Moyenne
	<b>Dernière Feuille:</b>		
	Glaucescence de la gaine :		Moyenne
	Glaucescence du limbe :		Faible
	Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :		Précoce
	<b>Barbes</b>		
	Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
	<b>Tige</b>		
	Pilosité du dernier nœud :		Faible
	Glaucescence du col de l'épi :		Moyenne
	<b>Epi</b>		
	Glaucescence :		Moyenne

### CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

	<b>Barbes</b>		
	Distribution des barbes :		Sur toute la longueur
	Longueur par rapport à l'épi :		Plus longues
	Couleur :		Blanchâtre

98

# Targui

	<b>Epi</b>		
	Longueur à l'exclusion des barbes :		Moyen
	Pilosité du bord du 1er article du rachis :		Forte
	Couleur (à maturité) :		Blanc
	Forme en vue de profil :		Pyramidale
	Compacité :		Moyenne
	<b>Paille</b>		
	Moelle en section transversale		Peu épaisse
	<b>Glume inférieure</b>		
	Forme de la glume :		Allongée
	Forme de la troncature :		Droite
	Largeur de la troncature :		Moyenne
	Longueur du bec :		Court
	Forme du bec :		Légèrement coudé
	Pilosité de la face externe :		Absente
	<b>Grain</b>		
	Forme :		Demi-allongé
	Longueur des poils de la brosse vue dorsale :		Courts
	Coloration au phénol :		Faible

Type de développement : Hiver

### CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement :	Elevé
Poids de mille grains (PMG) :	Elevé
Qualité semoulière :	Bonne
Mitadinage :	Résistante
Teneur en protéines :	16,09%

### RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oidium sur feuille :	Résistante
Oidium sur épi :	Résistante
Rouille brune :	Résistante
Charbon :	Résistante
Fusariose :	Résistante
Septoriose :	Résistante

99



Origine : Espagne  
 Pédigrée : \*  
 Obtenueur : \*  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

#### CARACTÉRISATION AU CHAMP



**Coléoptile**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Première feuille**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Plante**  
 Port au tallage : Demi-dressé à demi-étalé  
 Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante : Nulle ou très faible  
 Hauteur (tige, épi et barbes) : Courte

**Dernière Feuille:**  
 Glaucescence de la gaine : Forte  
 Glaucescence du limbe : Moyenne

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce



**Barbes**  
 Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

**Tige**  
 Pilosité du dernier nœud : Nulle ou très faible  
 Glaucescence du col de l'épi : Faible

**Epi**  
 Glaucescence : Moyenne

#### CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

**Barbes**  
 Distribution des barbes : Sur toute la longueur  
 Longueur par rapport à l'épi : Plus longues  
 Couleur : Noire

100



**Epi**  
 Longueur à l'exclusion des barbes : Moyen  
 Pilosité du bord du 1er article du rachis : Nulle ou très faible  
 Couleur (à maturité) : Blanc  
 Forme en vue de profil : Pyramidale  
 Compacité : Moyenne



**Paille**  
 Moelle en section transversale : Peu épaisse

**Glume inférieure**  
 Forme de la glume : Allongée  
 Forme de la tronçature : Droite  
 Largeur de la tronçature : Étroite  
 Longueur du bec : Court  
 Forme du bec : Droit  
 Pilosité de la face externe : Présente



**Grain**  
 Forme : Allongé  
 Longueur des poils de la brosse vue dorsale : Moyenne  
 Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

#### CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Élevé  
 Poids de mille grains (PMG) : Élevé  
 Qualité semoulière : Bonne  
 Mitadinage : Résistante  
 Teneur en protéines : 13,50%

#### RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille : Résistante  
 Oïdium sur épi : Résistante  
 Rouille brune : Sensible  
 Charbon : \*  
 Fusariose : \*  
 Septoriose : Moyennement sensible

\* : Pas d'information

101

## Waha "S"



Origine : Syrie  
 Pédigrée : PLC/Ruff//GTA"S"/3/...  
 Obtenneur : Icarda  
 Demandeur : ITGC  
 Année d'inscription : 1998

## CARACTÉRISATION AU CHAMP

<b>Coléoptile</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Première feuille</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Plante</b>		
Port au tallage :		Demi-dressé à demi-étalé
Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :		Nulle ou très faible
Hauteur (tige, épi et barbes) :		Courte
<b>Dernière Feuille:</b>		
Glaucescence de la gaine :		Forte
Glaucescence du limbe :		Nulle ou très faible
Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :		Précoce
<b>Barbes</b>		
Pigmentation anthocyanique :		Nulle ou très faible
<b>Tige</b>		
Pilosité du dernier nœud :		Nulle ou très faible
Glaucescence du col de l'épi :		Moyenne
<b>Epi</b>		
Glaucescence :		Faible

## CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

<b>Barbes</b>		
Distribution des barbes :		Sur toute la longueur
Longueur par rapport à l'épi :		Plus longues
Couleur :		Noire

102

## Waha "S"



<b>Epi</b>		
Longueur à l'exclusion des barbes :		Moyenne
Pilosité du bord du 1er article du rachis :		Nulle ou très faible
Couleur (à maturité) :		Faiblement coloré
Forme en vue de profil :		Pyramidale
Compacité :		Moyenne



<b>Paille</b>		
Moelle en section transversale :		Peu épaisse



<b>Glume inférieure</b>		
Forme de la glume :		Allongée
Forme de la troncature :		Echancrée
Largeur de la troncature :		Etroite
Longueur du bec :		Moyenne
Forme du bec :		Légèrement coudé
Pilosité de la face externe :		Présente

<b>Grain</b>		
Forme :		Demi-allongé
Longueur des poils de la brosse vue dorsale :		Moyenne
Coloration au phénol :		Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

## CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement :		Elevé
Poids de mille grains (PMG) :		Elevé
Qualité semoulière :		Très bonne
Mitadinage :		Sensible
Teneur en protéines :		13,95%

## RÉSISTANCE AUX MALADIES

Oïdium sur feuille :		Résistante
Oïdium sur épi :		Résistante
Rouille brune :		Très sensible
Charbon :		*
Fusariose :		*
Septoriose :		Moyennement sensible

\* : Pas d'information

103

## REFERENCES

1. Cantrell, R.G., "Breeding and genetics of durum wheat", *Plant Breed Rev*, V.5, (1987), 11 - 40.
2. ICE., "ICE DURUM WHEAT, FUTURES & OPTIONS", Intercontinental Exchange, ICE Futures Canada, ICE Clear Canada, (2013), 6p.  
[https://www.theice.com/publicdocs/futures\\_canada/ICE\\_Durum\\_Wheat\\_white\\_paper.pdf](https://www.theice.com/publicdocs/futures_canada/ICE_Durum_Wheat_white_paper.pdf)
3. Maccaferri, M., Sanguineti, M.C., Donini, P. and Tuberosa, R., "Microsatellite analysis reveals a progressive widening of the genetic basis in the elite durum wheat germplasm", *Theoretical and Applied Genetics*, V. 107, (2003), 783 - 797.
4. Bonjean, A.P., Angus, W.J. and van Ginkel, M., "The World Wheat Book : A History of Wheat Breeding", Paris, Lavoisier, V.3, (2016).
5. Rush, C., "Algeria exporter guide. Global Agricultural Information Network", USDA-Foreign Agricultural service, AG1610:14, (2016).  
<http://www.fas.usda.gov>
6. Benbelkacem, A., "Enhancing Food Security in Arab ", *Rapport des résultats du projet, Icarda-INRAA*, (2013), 35p.
7. Mekhelouf, A., Dehbi, F., Bouzerzour, H., Hannchi, A., Benmahammed, A. and Adjabi, A., "Between cold tolerance, grain yield performances and stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria", *Asian Journal of Plant Sciences*, V.5 n°4, (2006), 700 - 708.
8. Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Hassous, K.L., "Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions", *Journal of Agronomy*, V.4, n°4, (2005), 360 - 365.
9. Laala Z., Oulmi, A., Saraoui, T., Haddad, T. Nouar, H. Benmahammed, A. et Bouzerzour, H., "Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides", *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur*, V.1, n°4, (2009), 56 - 69.

10. Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M. and Amri, A., "Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran", *Crop and Pasture Science*, V.62, (2011), 137 - 151.
11. Finlay, K.W., Wilkinson, G.N., "The analysis of adaptation in a plant breeding program", *Australian Journal of Agricultural Research*. V.14, (1963), 742 - 754.
12. Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun, H.J. and Cormier, R., "Yield and adaptation of hexaploid spring triticale", *Euphytica*, V.47, (1990), 57 - 64.
13. Rao, A.R. and Prabhakaran, V.T., "Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability", *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, V.59, (2005), 76 - 82.
14. Yan, W. and Tinker, N.A., "An integrated biplot system for displaying, interpreting, and exploring genotype  $\times$  environment interaction", *Crop Science*, V.45, (2005), 1004 - 1016.
15. Becker, H.C., Léon, J., "Stability analysis in plant breeding", *Plante Breeding*, V.101, (1988), 1 - 23.
16. Zobel, R.W., Wright, M.J. and Gauch, H.G., "Statistical analysis of yield trial", *Agronomy Journal*, V.80, (1988), 388 - 393.
17. Gauch, H.G., "Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs", Elsevier, Amsterdam, (1992).
18. Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavncics, Z., "Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot", *Crop Science*, V.40, (2000), 596 - 605.
19. Huehn, V.M., "Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat", *EDV Med iol*, V.10, (1979), 112 - 117.
20. Amri, A., "Caractérisation de l'environnement et stratégies d'amélioration génétique de l'orge", Thèse pour le concours d'Ingénieur en chef INRA Maroc, (1992).
21. Aguiriano, E., Ruiz, M., Fite, R. and Carrillo, J.M., "Analysis of genetic variability in a sample of the durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Spanish collection based on gliadin markers", *Genetics Resources and Crop Evolution*, V.53, (2006), 1543 - 1552

22. Franco, J., Crossa, J., Ribaut, J.M., Betran, J., Warburton, M.L. and Khairallah, M., "A method for combining molecular markers and phenotypic attributes for classifying plant genotypes", *Theoretical and Applied Genetics*, V.103, (2001), 944 - 952.
23. Liu, Y., Guo, J., Zhang, D., Zhao, Y., Zhu, L., Huang, Y. and Chen, J. "Genetic diversity and linkage disequilibrium estimation among the maize breeding germplasm for association mapping", *International Journal of Agriculture and Biology*, V.16, (2014), 851 – 861.
24. Van Hintum, Th. J. L. and Haalman, D., "Pedigree analysis for composing a core collection of modern cultivars, with examples from barley (*Hordeum vulgare*)", *Theoretical and Applied Genetics*, V.88, (1994), 70 - 74.
25. Hamrick, J.L. and Godt, M.J.W., "Allozyme diversity in cultivated crops", *Crop Science*, V.37, (1997), 26 - 30.
26. Bar-Hen, A., Charcosset, A., Bourgoin, M. and Cuiard, J., "Relationships between genetic markers and morphological traits in a maize inbred lines collection", *Euphytica*, V.84, (1995), 145 - 154.
27. Ali, Y., Atta, B.M., Akhtar, J. Monneveux, P. and Lateef, Z. "Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm", *Pakistan Journal of Botany*, V.40, (2008), 2087 - 2097.
28. Khodadadi, M., Fotokian, M.H. and Miransari, M., "Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies". *Australian Journal of Crop Science*, V.5, (2011), 17 - 24.
29. Aharizad, S., Sabzi, M. Mohammadi, S.A., and Khodadadi, E. "Multivariate analysis of genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum* L.) recombinant inbred lines using agronomic traits", *Ann. Biol. Res*, V.3, (2012), 2118-2126.
30. Pordel-Maragheh, F., "Assessment of genetic diversity of wheat genotypes through agronomic traits and seed protein profiles", MS Thesis, Islamic Azad University, Ardabil, (2013), 130p.
31. Siahbidi, M.M.P., Aboughadareh, A.P., Tahmasebi, G.R., Teymoori, M. and Jasemi, M. "Evaluation of genetic diversity and inter relationships of agromorphological characters in durum wheat (*Triticum durum* desf.) lines using multivariate analysis", *International Journal of Agricultural Research and Reviews*, V.3, (2013), 184 - 194.

32. Fahim, M.G., "Grouping of promising agronomic traits of genotypes and lines of bread wheat using cluster analysis and detection function. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, V.4, (2014), 182 - 185.
33. Sabaghnia, N., Mohammadi, M.J. Bashiri, A. and Shirghan, R.A. "Genetic variation of several bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on some morphological traits", Annales, V.1, (2014), 44 - 54.
34. Verma, P.N., Singh, B.N. Singh, G. Singh, M.K. and Setter, T.L. "Genetic diversity analysis for yield and other agronomic traits in bread wheat under water logged sodic soil condition", Journal of Wheat Research, V.6, (2014), 51 - 58.
35. Mansouri, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z abd Bouzerzour, H., "Variation and Relationships among Agronomic Traits in Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *Durum* (Desf.) MacKey] under South Mediterranean Growth Conditions: Stepwise and Path Analyses", V.2018, (2018), 1-11.
36. Thompson, J.A. and Nelson, R.L. "Core set of primers to evaluate genetic diversity in soybean", Crop Science, V.38, (1998), 1356 - 1362.
37. Hayden M.J., Tabone T.L., Nguyen T.M., Coventry S., Keiper F.J., Fox R.L., Chalmers K.J., Mather D.E., Eglinton J.A., "An informative set of SNP markers for molecular characterization of Australian barley germplasm", Crop and Pasture Science, V.61, (2010), 70 - 83.
38. Astarini, I.A., Plummer, J.A., Lancaster, R.A. and Yan, G., "Fingerprinting of cauliflower cultivars using RAPD markers", Australian Journal of Agricultural Research, V.55, (2004), 117 - 124.
39. Tautz, D., Trick, M. and Dover, G.A., "Cryptic simplicity in DNA is a major source of genetic variation", Nature, V.322, (1986), 652 - 656.
40. Al Khanjari, S.Al., Hammer, K., Buerkert, A. and Röder, M.S., "Molecular diversity of Omani wheat revealed by microsatellites: I . Tetraploid landraces", Genetic Resources and Crop Evolution, V.54, (2007), 1291 - 1300.
41. Feldman, M., "Origin of Cultivated Wheat. In Bonjean, A.P. and Angus, W.J (éd.), The World Wheat Book: a history of wheat breeding", Intercept Limited, Andover, Angleterre, (2001), 3 - 58, 1600p.

42. Lev-Yadun, S., Gopher, A. and Abbo, S., "The cradle of agriculture", *Science*, V.288, (2000), 1602 - 1603.
43. Bozzini, A., "Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In *Durum: Chemistry and Technology*". AACCC (Minnesota), États-Unis, (1988), 1 - 16.
44. Feldman, M., Lupton, F.G.H., Miller, T.E., "Wheats. In *Evolution of Crops*", 2nd ed, London, (1995), 184 - 192.
45. Eckardt, N.A. "A sense of self: The role of DNA sequence elimination in allopolyploidization", *Plant Cell*, V.13, (2001), 1699 - 1704.
46. Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, X.J., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R. and Gornicki P., "Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploidy wheat", *Proceedings of the national academy of science of the USA*, V.99, (2002), 8133 - 8138.
47. Kilian, B., Martin, W. and Salamini, F., "Genetic Diversity, Evolution and Domestication of Wheat and Barley in the Fertile Crescent. In: M. Glaubrecht (ed.), *Evolution in action*", Springer, Berlin, (2010), 137 - 166.
48. Blake, N.K., Leffler, B.R., Lavin, M. and Talbert, L.E., "Phylogenetic reconstruction based on low copy DNA sequence data in an allopolyploid: The B genome of wheat", *Genome*, V.42, (1999), 351 - 360.
49. Talbert, L.E., Blake, N.K., Storlie, E.W. and Lavin, M., "Variability in wheat based on low copy DNA sequence comparisons", *Genome*, V.38, (1995), 951 - 957.
50. Khlestkina, E.K., Salina, E.A., "Genome-specific markers of tetraploid wheats and their putative diploid progenitor species", *Plant Breeding*, V.120, (2001), 227 - 232.
51. Wang, G.Z., Miyashita, N.T. and Tsunewaki, K., "Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCP) analyses of organellar DNA", *PNAS*, V. 94, (1997), 14570 - 14577.
52. Kimber G., Sears, ER., "Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. In: *Wheat and Wheat Improvement*, 2nd Ed (Heyne EG, Ed.)", American Society of Agronomy, Madison, WI, (1987), 154-164.

53. Elias, E.M. and Manthey, F.A., "End products: present and future uses. In: Royo C, Nachit MM, Di Fonzo N, Araus JL, Pfeiffer WH, Slafer GA, eds. Durum wheat breeding : current approaches and future strategies", New York, London, Oxford : Food Products Press, an Imprint of The Haworth Press Inc, V. 1, (2005), 63 - 85.
54. Faostat., "Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations", (2013). <http://faostat.fao.org>
55. Oudjani, W., "Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude des caractères de production et d'adaptation", Mémoire de master, (2009), 113p.
56. CIC., "Conseil International des Céréales", Rapport sur l'exercice, (2015).
57. Bouzerzour, H., Adjabi, A., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A. et N. Harkati., "Productivité et adaptation comparée des variétés de céréales en zone semi -aride d'altitude", Céréaliculture, V.37, n°1, (2002), 4 - 13.
58. Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A. and Harkati, N., "Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride", Sécheresse, V.17, (2006), 507 - 513.
59. ONFAA., "Observatoire nationale des filières agricoles et agroalimentaires", pré-bilan de la campagne céréalière 2016/2017, n°2, (déc 2017).
60. USDA., " Données officielles du commerce algérien, Grain and feed Annual for Algeria ", Foreign Agricultural service, Global Agricultural Information Network, Gain report n° AG1803, (2018).
61. USDA, "in [www.world-grain.com](http://www.world-grain.com) par **Chris Lyddon**", (2016). <http://www.world-grain.com/Departments/Country-Focus/Country-Focus-Home/Algeria-2016.aspx>
62. Chabane, M., "L'agriculture de conservation : voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb", IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Option Méditerranéennes, V. 96, (2010), 189 - 208.
63. USDA, "Foreign Agricultural service, Global Agricultural Information Network, Données officielles du commerce algérien in USDA", Exporter guide for Algeria, Gain report n° AG1711, (2017).
64. Schonfeld, M., Johnson, R., Carver, B. and Mornhinweg, D., "Water relations in winter wheat as drought resistant indicators", Crop Science, V. 28, (1988), 526 - 531.

65. Hafeez khan, A., Ashraf, M.Y. and Azmi, A.R., "Osmotic adjustment in wheat. A response to water stress". Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. V. 36, (1993), 151 - 155.
66. Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H. and Deleens, E., "Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains", Colloque n° 64, INRA, Paris, (1993).
67. Granier, C., Inze, D., Tardieu, F., "Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status", Plant Physiology, V.124, (2000), 1393 - 1402.
68. Cosgrove, D.J., "Growth of the cell wall". Nature Reviews. Molecular Cell Biology, V.6, (2005), 850 - 861.
69. Bouchabke, O., Tardieu, F. and Simonneau, T., "Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand in well-watered but not in water saturated soil", Plant, Cell and Environment, V.29, (2006), 1138 - 1148.
70. Nachit, M.M., Nachit, G., Ketata, H., Gauch, H.G. and Zobel, R.W., "Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat", Theoretical Applied Genetics, V.83, (1992), 97 - 601.
71. Ykhlef, N., "Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)", Thèse de doctorat d'Etat, Univ de Constantine, (2001), 146p.
72. Tardieu, F. and Davies, W.J., "Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants", Plant, Cell and Environment, V. 16, (1993), 341 - 349.
73. Borel, C., Frey, A., Marion-Poll, A., Tardieu, F., Simonneau, T., "Does engineering ABA synthesis in *N. plumbaginifolia* modify stomatal response to drought?", Plant, Cell and Environment, V. 24, (2001), 477 - 489.
74. Farquhar, G.D. and Sharkey, T.D. "Stomatal conductance and photosynthesis", Annual Review of Plant Physiology, V.33, (1982), 317-345.

75. Aboussouan-Sropian, C. and Planchon, C., "Réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire", *Agronomie*, V.5, n°7, (1985), 639 - 644.
76. Ykhlef, N. and Djekoun, A. "Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) : Analyse de la variabilité génotypique", *Options Méditerranéennes*, V.40, 327 - 330.
77. Salter, P.J, Goode, J.E., "Crop responses to water at different stages of growth", Farnham Royal, Bucks, England : Commonwealth Agricultural Bureaux, (1967).
78. Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A., "The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals", *Plant, Cell & Environment*, V.31, (2008), 11 - 38.
79. Parent, B., Bonneau, J., Maphosa, L., Kovalchuk, A., Langridge, P., Fleury, D., "Quantifying wheat sensitivities to environmental constraints to dissect Genotype × Environment interactions in the field", *Plant Physiology*, V.174, (2017), 1669 - 1682.
80. Debaeke, P., Purch, J., Casal, M.L., "Elaboration du rendement de blé d'hiver en condition de deficit hydrique; I; Etude en lysimètre", *Agronomie*, V.16, (1996), 3 - 23.
81. Day, W., "Growth of spring barley under drought : crop development photosynthesis, dray-matter accumulation and nutrient content", *Journal of experimental Botany*, V.96, (1981), 167 - 186.
82. Triboï, E., "Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre". *Agronomie*, V.10, (1990), 191 - 200.
83. Parent, B., Tardieu, F., "Temperature responses of developmental processes have not been affected by breeding in different ecological areas for 17 crop species", *New Phytologist*, V.194, (2012), 760 - 774.
84. Al-Khatib, K. and Paulsen, G.M., "Mode of high temperature injury to wheat during grain development", *Physiologia Plantarum*, V.61, (1984), 363 - 368.
85. Balota, M., Payne, WA., Evett, SR. and Lazar, MD., "Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat", *Crop Science*, V.47, (2007), 1518 - 1529.

86. Wardlaw, I.F., Moncor J.F. and Wrigley, C.W., "Heat tolerance in temperate cereals: an overview", *Australian Journal of Plant Physiology*, V.21, (1998), 695 - 703.
87. Asseng, S., Foster, I. and Turner, N.C., "The impact of temperature variability on wheat yields", *Global Change Biology*, V.17, (2010), 997-1012.
88. Hays, D.B., Do, J.H., Mason, R.E., Morgan, G. and Finlayson, S.A., "Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar", *Plant Science*, V.172, (2007), 1113 - 1123.
89. Dorion, S., Lalonde, S. and Saini, H.S., "Induction of mal sterility in wheat by meiotic stage water deficit is preceded by a decline in invertase activity and change in carbohydrate metabolism in anthers". *Plant physiology*, V.111, (1996), 137 - 145.
90. Abbassenne, F., Bouzerzour, H. et Hachemi, L., "Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride d'altitude", *Annales Agronomique, INA*, V.18, N°1 et 2, (1997), 24 - 36.
91. Saini, H.S., Sedgley, M. and Spinall, D., "Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.)". *Australian Journal of Plant Physiology*, V.10, (1983), 137 - 144.
92. Takeuchi, T.S. and Thornber, J.P., "Heat-induced alternations in thylakoid membrane protein composition in barley", *Australian Journal of Plant Physiology*, V.21, (1994), 759 - 770.
93. Demirevska-Kepova, K., Hölzer, R., Simova-Stoilova, L. and Feller, U., "Heat stress effects on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, rubisco binding protein and rubisco activase in wheat leaves", *Biology Plantarum*, V.49, (2005), 521 - 525.
94. Ristic, Z., Bukovnik, U. and Prasad, P.V.V., "Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress", *Crop Science*, V.47, (2007), 2067 - 2073.
95. Randall, P.J. and Moss, H.J., "Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality", *Australian Journal of Agricultural Research*, V.41, (1990), 603 - 617.

96. Ciaffi, M., Tozzi, L., Borghi, B., Corbellini, M. and Lafiandra, D., "Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat". *Australian Journal of Plant Physiology*, V.24, (1996), 245 - 260.
97. Stone, P.J. and Nicolas, M.E., "Effect of timing of heats tress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance", *Fractional protein accumulation*, *Australian Journal of Plant Physiology*, V.23, (1996), 739 - 749.
98. Corbellini, M., Mazza, L., Ciaffi, M., Lafiandra, D. and Borghi, B., "Effect of heats hock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. In: *Wheat, prospects for global improvement*", Proc of the 5<sup>th</sup> International Wheat Conference, Ankara, Turkey, June 1996, Kluwer Académie Publishers, Dordrecht, Netherlands, (1998), 213 - 220.
99. Blumenthal, C.S., Batey, I.L., Bekes, F., Wrigly, C.W., Barlow, E.R., Moss, H.J. and Mares, D.J., "Interpreting of grain quality results from wheat variety trials with reference to high temperature stress", *Australian Journal of Agricultural Research*, V.42, (1991), 325 - 334.
100. Rawson, H.M., Bagga, A.K. et Bremner, P.M., "Aspects of adaptation by wheat barley to sol moisture deficits". *Australian Journal of Plant Physiology*, V.4, (1977), 189 - 201.
101. Belhassen, E., This, D. et Monneveux, P., "L'adaptation génétique aux contraintes de la sécheresse", *Cahiers Agricultures*, V.4, (1995), 251 - 261.
102. Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Djekoun, A., "Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*", Univ de Constantine, N° spécial D, (2002), 33 - 38.
103. Slafer, G.A., Araus, J.L., Royo, C. and Del Moral, L.G., "Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments", *Journal of Applied Biology*, V.146, (2005), 61 - 79.
104. Ortiz-Ferrara, G., Yau, S.K. and Assad Moussa, M., "Identification of agronomic traits associated with yield under stress conditions. in: *Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments*", Colloques 55, eds Montpellier, INRA Paris, (1991), 67 - 88.

105. Brinis, L., "Étude de quelques mécanismes de tolérance à la sécheresse et de déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf)", Thèse de Doctorat d'état, Université d'Annaba, (1995), 159p.
106. Monneveux, P. and Belhassen, E., "The diversity of drought adaptation in the wide", *Plant Growth Regulation*, V. 20, (1996), 85 - 92.
107. Kramer, P.J. and Boyer, J.S., "Water relations of plants and soils (Book)", Academic Press, Inc, (1995).
108. Benabdallah, N. et Bensalem, M., "Paramètres morpho-physiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale", *Les colloques 64*, INRA, (1993), 173 - 190.
109. Belkharchouche, H., Benbelkacem, A. Bouzerzour, H. and Benmahammed, A., "Flag Leaf and Awns Ablation and Spike Shading Effects on Spike Yield and Kernel Weight of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. Var. *Durum*) Under Rainfed Conditions", *Advances in Environmental Biology*, V.9, (2015), 184 - 191.
110. Monneveux, PH., et Nemmar, M., "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement", *Agronomie*, V. 6, (1986), 583 - 590.
111. Richards, R.A., Rebtzke, G.Y., Van Herwaardlen, A.F., Dugganb B.L., and Gondon A., "Improving yield in ranifed environments through physiological plant breeding", *Dryland Agriculture*, V.36, (1986), 254 - 266.
112. Ludlow, M.M. and Muchow, R.C., "A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments", *Advances in agronomy*, V.43, (1990), 107 - 153.
113. UPOV., "Principes directeurs pour la conduite de l'examen des caractères distinctifs, de l'homogénéité et de la stabilité. Blé tendre (*Triticum aestivum* L.)", (1994), 55p.
114. Qariani, L., Djekoune, A., et El- Jaafari, S., In " Adaptation des blés aux contraintes environnementales". S. El Jaafari & Ph. Monneveux eds., INRA-GRAM-eds., Paris. (1977).

115. Munns, R., Richard, A.J and Lauchli, A., "Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals", *Journal of Experimental Botany*, V.7, n°5, (2006), 1025 - 1043.
116. Santarmaria, J.M., Ludlow, M.M. and Fukai, S., "Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* L. under water-limited conditions: 1. Water stress before anthesis", *Australian Journal of Agricultural Research*, V.41, (1990), 51 - 65.
117. Munns, R., "Comparative physiology of salt and water stress", *Plant Cell and Environment*, V. 25, (2002), 239 - 250.
118. Grennan, A.K., "High Impact Abiotic Stress in Rice. An "Omic" Approach", *Plant Physiology*, V.140, (April 2006), 1139 - 1141.
119. Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F. and Pinto, M., "Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.)", *European journal of agronomy* Jan, V.26, n°1, (2007), 30 - 38.
120. Triboulot, M.B., Brosché, M., Renaut, J., Jouve, L., Le Thiec, D., Fayyaz, P., Vinocur, B., Witters, E., Laukens, K., Teichmann, T., Altman, A., Hausman, J.F., Polle, A., Kangasjärvi, J. and Dreyer, E., "Gradual soil water depletion results in reversible changes of gene expression, protein profiles, ecophysiology, and growth performance in *Populus euphratica*, a Poplar growing in Arid Regions", *Plant Physiol*, V.143, (2007), 876 - 892.
121. De Leonardis, A.M., Petrarulo, M., De Vita, P. and Mastrangelo, A.M., "Genetic and molecular aspects of plant response to drought in annual crop species", *Advances in Selected Plant Physiology Aspects*, CRA-Cereal research Centre, Foggia, Italy, (Apr 2012), 388p.
122. Ottow. E., Brinker, M., E.Fritz, E., Teichmann, T., Kaiser, W., Brosche, M., Kangasjarvi, J., Jiang, X. and Polle, A., "*Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress 1", *Plant Physiology*, V.139, (2005), 1762 - 1772.
123. Morgan, J.M., "Osmoregulation and water stress in higher plants". *Annual Review of Plant Physiology*, V.35, (1984), 299 - 319.
124. Lamaze, T., Tousch, D., Sarda, X., Grignon, C., Depigny-This, D., Monneveux, P. et Belhassen, E., "Résistance de plantes a la sécheresse :

- mécanismes physiologiques”, *Le sélectionneur Français*, V.45, (1994), 75 - 85.
125. Kameli, A. and Lösel, D.M., “Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress”, *Journal of Plant Physiology*, V.145, (1995), 363 - 366.
  126. Umezawa, T., Okamoto, M., Kushiro, T., Nambara, E., Oono, Y., Seki, M., Kobayashi, M., Koshiya, T., Kamiya, Y. and Shinozaki, K., “CYP707A3, a major ABA 8'-hydroxylase involved in dehydration and rehydration response in *Arabidopsis thaliana*”, *Plant Journal*, V.46, (2006), 171 - 182.
  127. Benderradji, L., Brini, F., Ben Amar, S., Kellou, K., Azaza, J., Masmoudi, K., Bouzerzour, H. and Hanin, M., “Sodium transport in the seedlings of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes showing contrasting salt stress tolerance”, *Australian Journal of Crop science*, V.5, (2011), 233 - 241.
  128. Henchi, B., “Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans* L”, Thèse de doctorat d'État, Univ de Tunis, (1987).
  129. Sorrells, M.E., Diab, A. and Nachit, M., “Comparative genetics of drought tolerance”, *Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens)*, V.40, (2000), 191 - 201.
  130. Turner, N.C., “Adaptation to water deficit/ a changing perspective”, *Australian Journal of plant physiology*, V.13, (1986), 175 - 180.
  131. Brisson, N. et Delecolle, R., “Développement et modèles de simulation des cultures”, *Agronomie*, V.12, n°3, (1992), 253 - 263.
  132. Djekoun, A. and Planchon, C., “Stomatal conductance photosynthesis and acetylene reduction rate in Soybean genotypes”, *Canadian Journal of Plant science*, V.72, (1992), 383 - 390.
  133. Assmann, S.M., Snyder, J.A. and Lee, Y.J., “ABA-deficient (*aba1*) and ABA insensitive (*abi1-1*, *abi2-1*) mutants of *Arabidopsis* have a wild-type stomatal response to humidity”, *Plant Cell and Environment*, V.23, (2000), 387 - 395.
  134. El jaafari, S. et Paul, R., “Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L.)” *Arch Int Physiol. Biochem. Biophys*, V.101, (1993), B8.

135. Tardieu, F. and Simonneau, T., "Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours", *Journal of Experimental Botany*, V.49, (1998), 419 - 432.
136. Kiani,P.S., Talia, P., Maury, P., Grieu, P., Heinz, R., Perrault, A., Nishinakamasu, V., Hopp, E., Gentzbittel, L., Paniego, N. and Sarrafi, A ., "Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments", *Plant Science*,V.172, (2007), 773 - 787.
137. Shahinnia, F., Roy, J.L., labored, B., Sznajder, B., Kalambettu, P., Mahjourimajd, S., Tilbrook, J. and Fleury, D., "Genetic association of stomata traits and yield in wheat grown in low rainfall environment". *BMC Plant Biology*, V.16, n°150, (2016).
138. Dakheel, A.J., Inadji, V., Mahalazkshmi, J.M. and Peacock., "Morphophysiological traits with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments", *Aspects of Applied Biology*, V. 34, (1993), 297 - 307.
139. Blum, A., Gozlan, G. and Meyer, J., "The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm", *Crop Science*, V.21, (1981), 495 - 499.
140. Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Crosatti, C., Guerra, D., Stanca, A.M. and Cattivelli, L., "Abiotic stress response in plants: when post-transcriptional and posttranslational regulations control transcription", *Plant Science*, V.174, (2008), 420 - 431.
141. Gilmour, S.J., Zarka, D.G., Stockinger, E.J., Salazar, M.P., Houghton, J.M. and Thomashow, M.F., "Low temperature regulation of the Arabidopsis CBF family of AP2 transcriptional activators as an early step in cold-induced COR gene expression". *Plant Journal*, V.16, (1998), 433 - 442.
142. Cattivelli, L., Baldi, P., Crosatti, C., Di Fonzo, N., Faccioli, P., Grossi, M., Mastrangelo, A.M., Pecchioni, N. and Stanca, A.M., "Chromosome regions and stress-related sequences involved in resistance to abiotic stress in Triticeae", *Plant Molecular Biology*, V. 48, (2002), 649 - 665.

143. Vinocur, B. and Altman, A., "Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations", *Current Opinion in Biotechnology*, V.16, (2005), 123 - 132.
144. Mastrangelo, A.M., Belloni, S., Barilli, S., Ruperti, B., Di Fonzo, N., Stanca, A.M. and Cattivelli, L., "Low temperature promotes intron retention in two ecor genes of durum wheat", *Planta*, V.221, (2005), 705 - 715.
145. Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., "Gene networks involved in drought stress response and tolerance", *Journal of Experimental Botany*, V.58, (2007), 221 - 27.
146. Sanders, D., Brownlee, C., Harper, J.F., "Communicating with calcium", *Plant Cell*, V.11, (1999), 691 - 706.
147. Knight, H., "Calcium signaling during abiotic stress in plants", *International Review of Cytology*, V. 195, (2000), 269-325.
148. Yamaguchi-Shinozaki, K., Kasuga, M., Liu, Q., Nakashima, K., Sakuma, Y., Abe, H., Shinwari, Z.K., Seki, M. and Shinozaki, K., "Biological mechanisms of drought stress response", *JIRCAS Working Report*, (2002), 1 - 8.
149. Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses, *Annual Review of Plant Biology*, V.57, (2006), 781-803.
150. Close, T.J., "Dehydrins: a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature". *Plant Physiology*, V.100, (1997), 291 - 296.
151. Bravo, L.A., Gallardo, J., Navarrete, A., Olave, N., Martinez, J., Alberdi, M., Close, T.J. and Corcuera, L.J., "Cryoprotective activity of a cold-induced dehydrin purified from barley". *Plant Physiology*, V.118, (2003), 262 - 269.
152. Ingram, J. and Bartels, D., "The molecular basis of dehydration tolerance in plants", *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, V.47, (1996), 377 - 403.
153. Ligterink, W. and Hirt, H., "Mitogen-activated protein (MAP) kinase pathways in plants: versatile signaling tools", *International Review of Cytology*, V. 201, (2001), 209 - 275.
154. Urao, T., Katagiri, T., Mizoguchi, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., Hayashida, N. and Shinozaki, K., "Two genes that encode CA<sup>2+</sup>-dependent protein

- kinases are induced by drought and high-salt stresses in *Arabidopsis thaliana*", *Molecular Genomics and Genetics*, V.224, (1994), 331- 340.
155. Lindquist, S. and Craig, E A., "The heat-shock proteins", *Annual Review Genetics*, V. 22, (1988), 631-677.
  156. Ougham, H.J. and Stoddart, J L., "Synthesis of heat-shock protein and acquisition of thermo tolerance in high-temperature tolerant and high temperature susceptible lines of *Sorghum bicolor*", *Plant Physiology*, V. 44, (1986), 163 - 168.
  157. Maimiroli, N., Terzi, V., Ooardi, M., Stanca, M., Lorenzoni, C., "Protein synthesis during cold shock in barley tissues: comparison of two genotypes with winter and spring growth habit", *Theoretical and Applied Genetics*, V.73, (1986), 190 - 196.
  158. Clarke, A.K. and Critchley, C., "Synthesis of early heat shock proteins in young leaves of barley and sorghum", *Plant Physiology*, V. 94, (1990), 567 - 76.
  159. Vierling, E., "The role of heat shock proteins in plants", *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, V.42, (1991), 579 - 620.
  160. Komatsu, S., Muhammad, A. and Rakwal, R., "Separation and characterization of proteins from green and etiolated shoots of rice (*Oryza sativa* L.): towards a rice proteome", *Electrophoresis*, V.20, (1999), 63 636.
  161. Wang, D. and Luthe, S.D., "Heat sensitivity in a bentgrass variant: failure to accumulate a chloroplast heat shock protein isoform implicated in heat tolerance", *Plant Physiology*, V. 133, (2003), 319 - 327.
  162. Kim, C.Y., Zhang, S., "Activation of a mitogen-activated protein kinase cascade induces WRKY family of transcription factors and defense genes in tobacco", *Plant Journal*, V.38, (2004), 142 - 151.
  163. Dong, J., Chen, C. Chen, Z., "Expression profile of the Arabidopsis WRKY gene superfamily during plant defense response", *Plant Molecular Biology*, V.51, (2003), 21 - 37.
  164. Marè, C., Mazzucotelli, E., Crosatti, C., Francia, E., Stanca, A.M., Cattivelli, L., "Hv-WRKY 38/ a new transcription factor involved in cold- and drought-response in barley", *Plant Molecular Biology*, V.55, (2004), 399 - 416.

165. Fowler, S.G., Thomashow, M.F., "Arabidopsis transcriptome profiling indicates that multiple regulatory pathways are activated during cold acclimation in addition to the CBF cold response pathway", *Plant Cell*, V.14, (2002), 1675 - 1690.
166. Seki, M., Narusaka, M., Ishida, J., Nanjo, T., Fujita, M., Oono, Y., Kamiya, A., Nakajima, M., Enju, A., Sakurai, T., Satou, M., Akiyama, K., Taji, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., Carninci, P., Kawai, J., Hayashizaki, Y. and Shinozaki, K., "Monitoring the expression profiles of 7000 Arabidopsis genes under drought, cold and high-salinity stresses using a full-length cDNA microarray", *Plant Journal*, V.31, (2002), 279 - 292.
167. Vranova, E., Atichartpongkul, S., Villarroel, R., Montagu, M.V., Inzé, D. and Van, W., "Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress", *Proceedings of National Academy of Sciences*, V.99, (2002), 10870 - 10875.
168. Rizhsky, L., Liang, H.J., Shuman, J., Shulaev, V., Davletova, S. and Mittler, R., "When Defense pathways collide. The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress", *Plant Physiology*, V.134, (2004), 1683 - 1696.
169. Ober, E.S., Sharp, R.E., "Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials". *Plant Physiology*, V. 105, (1994), 981 - 987.
170. Kavi Kishor, P.B., Hong, Z., Miao, G.H., Hu, C.A.A., Verma, D.P.S., "Overexpression of  $\Delta^1$ -pyrroline 5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants", *Plant Physiology*, V. 108, (1995), 1387 - 1394.
171. Zhu, J.K., Liu, J. and Xiong, L., "Genetic analysis of salt tolerance in Arabidopsis: evidence for a critical role of potassium nutrition", *Plant Cell*, V.10, (1998), 1181 - 1191.
172. Xu, D., Duan, X., Wang, B., Hong, D., Ho, T.H.D. and Wu, R., "Expression of a Late Embryogenesis Abundant Protein Gene, HVA1, from Barley Confers Tolerance to Water Deficit and Salt Stress in Transgenic Rice", *Plant Physiology*, V.110, (1996), 249 - 257.
173. Kume, S., Kobayashi, M., Ishibashi, M., Ohno, R., Nakamura, C., Takumi, S., "Differential and coordinated expression of Cbf and Cor/Lea genes

- during long-term cold acclimation in two wheat cultivars showing distinct levels of freezing tolerance”, *Genes and Genetic Systems*, V.80, (2005), 185 - 197.
174. Liu, Q., Kasuga, M., Sakuma, Y., Abe, H., Miura, S., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., “Two transcription factors, DREB1 and DREB2, with an EREBP/AP2 DNA-binding domain separate two cellular signal transduction pathways in drought- and low-temperature responsive gene expression, respectively, in *Arabidopsis*”, *Plant Cell*, V.10, (1998), 1391 - 1406.
  175. Haake, V., Cook, D., Riechmann, J.L., Pineda, O., Thomashow, M.F. and Zhang, J.Z., “Transcription factor CBF4 is a regulator of drought adaptation in *Arabidopsis*”, *Plant Physiology*, V.130, (2002), 639 - 648.
  176. Dubouzet, J.G., Sakuma, Y., Ito, Y., Kasuga, M., Dubouzet, E.G., Miura, S., Seki, M., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., “Os-DREB genes in rice, *Oryza sativa* L., encode transcription activators that function in drought-, high-salt- and cold-responsive gene expression”, *Plant Journal*, V.33, (2003), 751 - 763.
  177. Neffar, F., “Analyse de l’expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotique dans différents géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et d’orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse”. Thèse de doctorat en sciences, Univ de Sétif1, (2013), 98p.
  178. Skinner, J.S., Von Zitzewitz, J., Szucs, P., Marquez-Cedillo, L., Filichkin, T., Amundsen, K., Stockinger, E.J., Thomashow, M.F., Chen, T.H. and Hayes, P.M., “Structural, functional, and phylogenetic characterization of a large CBF gene family in barley”, *Plant Molecular Biology*, V.59, (2005), 533 - 551.
  179. Dong, C.H., Agarwal, M., Zhang, Y., Xie, Q. and Zhu, J.K., “The negative regulator of plant cold responses, HOS1, is a RING E3 ligase that mediates the ubiquitination and degradation of ICE1”, *Proceedings of National Academy of Sciences*, V.103, (2006), 8281 - 8286.
  180. Li W. and Gill, B.S., “Genomics for cereal improvement”, In: P.K. Gupta, R.K. Varshney (Eds.), *Cereal Genomics*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, (2004), 585 - 634.

181. Bouzerzour, H. et Djekoun, A., "Variabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi aride d'altitude. I. Interaction géotype lieu", Sciences et Technologie, V. 7, (1996), 16 - 18.
182. Annichiarico, P., Bellah, F. and Chiari, T., "Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria", European Journal of Agronomy, V.24, (2006), 70 - 81.
183. Kamoshita, A., Babu, R.C., Boopathi, N.M. and Fukai, S., "Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments", Field Crops Research, V.109, (2008), 1 - 23.
184. Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H. and Nachit, M., "Plant breeding and climate changes", Journal of Agricultural Science, Cambridge, V.148, (2010), 627 - 637.
185. St-pierre, C., Monneveux, P. et Comeau, A., "Tolérance génétique des céréales au VJNO et à la sécheresse, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides", Ed AUPELF-UREF, John Libbey, (1991), 35 - 50.
186. Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Bouzerzour, H., "Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides", Biotechnologie Agronomie Société et Environnement, V.14, n°1, (2010a), 177 - 186.
187. Tester, M., Langridge, P., "Breeding technologies to increase crop production in a changing world", Science, V.327, (2010), 818 - 822.
188. Fischer, R. and Maurer, R., "Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses", Australian Journal of Agricultural Research, V.29, (1978), 897 - 912.
189. Kadi, Z., Adjel, F. and Bouzerzour, H., Analysis of the genotype x environment interaction of Barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi arid conditions", Advances in Environmental Biology, V.4, (2010), 30 - 40.

190. Monneveux, P. et Depigny-This, D., "Intégration des apports physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. Quel avenir pour l'amélioration des plantes? L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides", Ed AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, (1995), 165 - 186.
191. Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., "Determinisme genetique et associations entre le rendement et quelques caractères a variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* desf.)", Recherche Agronomique (INRAA), V.7, (2000), 37 - 49.
192. Hancock, J.F., "Plant evolution and the origin of crop species", 2<sup>nd</sup> ed. Wallingford (UK), Cambridge, CABI, (2004), 313p.
193. Benbelkacem, A. et Kellou, K., "Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie", Options méditerranéennes, V.6,(2001), 105 - 10.
194. Ceccarelli, S., Grando, S. and Hamblin, J., "Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments", Euphytica, V.64, (1992), 49 - 58.
195. El Mourid, M., "Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region", PhD dissertation, Iowa State University, (1988).
196. Sharma, R.C., "Selection for biomass yield in wheat", Euphytica, V.70, (1992), 35 - 42.
197. Austin, R.B., Morgan, C.L., Ford, M.A. and Balckwell, R.D., "Contribution to grain yield from pre anthesis assimilation in tall and dwarf phenotypes in two contrasting seasons", Annals of Botany, V.45, (1980), 309 - 319.
198. Duggan, B.L., Domitruk, D.R., Fowler, D.B., "Yield component variation in winter wheat grown under drought stress", Canadian Journal of Plant Science, V.80, (2000), 739 - 745.
199. Wang, Z., Li, S., Vera, C.L. and Malhi, S.S., "Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil", Communications Soil Science Plant Analysis, V.36, (2005), 1405 - 1419.

200. Hadjichristodoulou, A., "Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: Drought tolerance in winter cereals", U.K, (1985), 191 - 200.
201. Annichiarico, P., Abdellaoui, Z., Kelkouli, M. and Zerargui H., "Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria", Journal of Agricultural Science, V.143, (2005), 57 - 67.
202. Gate, P., "Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture", Editions TEC & DOC, Lavoisier, Cachan, (1995), 417p.
203. Ghennai, A., Zérafa, C. et Benlaribi, M., "Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V", Journal of Applied Biosciences, V.113, (2017), 11246-11256.
204. Barbottin, A., "Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes : Pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre", Thèse de doctorat en agronomie, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, (2004), 178p.
205. Mahaut, B., "Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur? In colloque. Perspectives blé dur", Ed ONIC, ITCF, France, (1996), 29 - 31.
206. Hardouin, J.P., Lonnet, P., Lemaire, P., Haselé, H., Trottet, M., Bastergue, P., Branlard, G., Jestain, G., Roumet, P., Bar, C. et Bernicot, M., "Sélection variétale des céréales à paille", Dossier Gnis, (2002).
207. Bernicot, M. et Braune, Ph., "Le point de départ. Blé dur objectif qualité", ITCF, (1994), 34 - 35.
208. Gallais, A., "Bases Génétiques et Stratégies de Sélection de l'Adaptation Générale", Le Sélectionneur Français, V. 42, (1992b), 59 - 78.
209. Annichiarico, P., Chiari, T., Bazzani, F., Bellah, F., Doucene, S., Yallaoui-Yaïci, N., Abdellaoui, Z., Belloula, B., Bouazza, L., Bouremel, L., Hamou, M., Hazmoune, T., Kelkouli, M., Ould-Said, H. and Zerargui, H., "Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. I. Yield", Journal of Agriculture Environment for International Development, V.96, (2002), 157 - 187.

210. Cazenave, M., and Ferté, M., "La variété de blé: entre outil de conquête des marchés et levier de négociation avec les fournisseurs", Rapport DAA, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, (2003).
211. Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, A., Hazmoune, T., Zerargui, H., "Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE Models", *Advances in Environmental Biology*, V. 6, (2012), 3007-3015.
212. Adjabi, A., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A., "Stability analysis of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) grain yield", *Journal of Agronomy*, V.13, (2014), 131 - 139.
213. Trotter, M, and Doussinault, G., "Analyse du progrès génétique chez le blé tendre au cours du XXème siècle", *Le Sélectionneur Français*, V. 53, (2002), 3 - 13.
214. Godfray, H.C.J., Beddington, JR., Crute, IR., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, JF., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, SM. and Toulmin, C., "Food security: the challenge of feeding 9 billion people", *Science*, V.327, (2010), 812 - 818.
215. Prowse, T.A.A. and Brook, B.W., "Climate change, variability and conservation impacts in Australia. *Pacific conservation biology*", V.17, (2011), 168 - 178.
216. Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. "Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid". *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, V.9, n°1, (2017), 102 - 118.
217. Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A. et Hassous, L.K., "Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L) en zone semi-aride d'altitude", *Cahiers d'agriculture*, V. 8, (1998), 133 - 137.
218. Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakhoul, H. and Nachit, M.M., "Chlorophyll fluorescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions", *Field Crop Research*, V.55, (1998), 209 - 223.

219. Lefebvre, V. et Pflieger, S., "L'approche gène candidat pour la caractérisation moléculaire et fonctionnelle de locus de résistance aux parasites chez les plantes", *Sel Fr*, V.51, (2000), 31 - 45.
220. Brancourt-Hulmel, M., "Sélection variétale et milieu : Sélection pour l'adaptation au milieu et prise en compte des interactions génotype/milieu". *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, Vol.7,n° 6, Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, (2000), 504 - 511.
221. Sinclair, R. and Venables, W.N., "An alternative method for analyzing pressure – volume curves produced with the pressure chamber", *Plant Cell Environment*, V.6, (1983), 211 - 217.
222. Blum, A., Munns, R., Passioura, J.B., Turner, N.C., Sharp, R.E., Boyer, J.S., Nguyen, H.T. and Hsiao, T.C., "Genetically engineered plants resistant to soil drying and salt stress: how to interpret osmotic relations?", *Plant Physiology*, V.110, (1996), 1051 - 1053.
223. Bajji, M.S., Lutts, J.M. and Kient., "Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions", *Plant Sci*, V. 160, (2001), 669 - 681.
224. Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Watt, M., Condon, A.G., Spielmeyer, W. and Dolferus, R., "Breeding for improved water productivity in temperate cereals: Phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment", *Functional Plant Biology*, V.37, (2010), 85 - 97.
225. Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H., and Langridge, P., "Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat". *Journal of Experimental Botany*, V.61, (2010), 3211 - 3222.
226. Boudour, L., "Étude des ressources phyto-génétiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) algérien : Analyse de la diversité génétique et des critères d'adaptation au milieu". Thèse Doctorat d'Etat. Univ Constantine, (2006), 142p.
227. Clarke, J.M., De Pauw, R.M., Townley-Smith, T.F., "Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat", *Crop Science*, V.32, (1992), 723 - 728.

228. Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Djekoun, A., "Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*T. durum* Desf.)", Actes de l'IAVHII, V.64, (2002), 35 - 42.
229. Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L. and Ruiz, J.M., "Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants", Plant Science, V,178, (2010), 30 - 40.
230. El hakimi, A., Monneveux, P. and Galiba, G., "Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in *Triticum durum*", Journal of Plant Genetics and Breeding, V.49, (1995), 234 - 244.
231. Blum, A., Zhang, J. and Nguyen, H.T., "Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production", Field Crop Research, V. 64, (1999). 287 - 291.
232. Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P. and Royo, M.A.J., "Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for?", Annals of Botany, V.89, (2002), 925 - 940.
233. Simane, B., Peacock, J.M. and Struik, P.C., "Differences in developmental plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*)". Plant soil, V.157, (1993), 155 - 166.
234. Slafer, G.A., Araus, J.L., Richards, R.A., "Physiological traits to increase the yield potential of wheat". In: Storre. E.H., Slafer, G.A (Eds), Wheat product press, New York. Food products press, (1999), 379- 415.
235. Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. and Van Herwaarden A.F., "Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals", Crop Science, V.42, (2002), 111 - 21.
236. Tardieu, F., "Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit", Trends in Plant Science, V. 8, (2003), 9 - 14.
237. Passioura, J., "Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management", In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia, (2004), 12p.
238. Condon, A., Farquhar, G., Richards, R., "Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas

- exchange and whole plant studies", *Functional Plant Biology*, V.17, (1990), 9 - 22.
239. Condon, A.G., Richards, R.A, Rebetzke, G.J, Farquhar G.D., "Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield", *Crop Science*, V.42, (2002), 122 - 131.
240. Morgan, L.M., "A gene controlling differences in osmoregulation in wheat", *Australian Journal of Plant Physiology*, V.18, (1991), 249 - 257.
241. Moinuddin, R.A.F., Sayre, K.D. and Reynolds, M.P., "Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments", *Agronomy Journal*, V.97, (2005), 1062 - 1071.
242. Evans, L.T. and Rawson, H.M., "Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of ear during grain development in wheat". *Australian Journal of Biology*, (1975), 223 - 245.
243. Spiertz, J.H.J., Van de Haar, H. and Kupers, J.p., "Differences in grain growth, crop photosynthesis and distribution of assimilates between a semi dwarf and a standard cultivars of Winter wheat", *Netherlands Journal of Agricultural Science*, V.23,(2006), 233 - 249.
244. Reynolds, M., Balota, M., Delgado, M., Amani, I., Fischer, R., "Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions", *Functional Plant Biology*, V.21, (1994), 717 - 730.
245. Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K D., Lu, Z M., Condon, A G. and Larque Saavedra, A., "Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies", *Crop Science*, V.38, (1998), 1467 - 1475.
246. Ayeneh, A., van Ginkel, M., Reynolds, M.P. and Ammar, K., "Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress", *Field Crops Res*, (2002), V.79, 173 - 184.
247. Bilge,B., Yildirim, M., Barutcular, C. and Genc, I., "Effect of canopy temperature depression on grain yield and yield components in Bread and Durum wheat", *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. Cluj-Napoca*, V.36, (2008), 34 - 37.
248. Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan, D.M. and Reynolds, M.P., "Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping", Mexico DF, CIMMYT, (2012).

249. Fokar, M., Nguyen, HT. and Blum, A., "Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability", *Euphytica*, V.104, (1998a), 1 - 8.
250. Ibrahim A. and Quick, J.S., "Heritability of heat tolerance in winter and spring wheat", *Crop Science*, V.41, (2001), 1401 - 1405.
251. Acevedo, E., Craufurd, P.Q., Austin, RB. and Perez-Marco, P., "Traits associated with high yield in barley in low-rainfall environments", *Journal of Agricultural Science –Cambridge-*, V.116, (1991), 23 - 36.
252. Camejo, D., Rodriguez, P., Morales, MA., Dell.amico, JM., Torrecillas, A. and Alarcon, JJ., "High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility", *Journal of Plant Physiology*, V.162, (2005), 281 - 289.
253. Wahid A. and Ghazanfar, A., "Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane", *Journal of Plant Physiology*, V.163, (2006), 723 - 730.
254. Hervé, Y., "Fonction et base génétique de la sélection végétale. Sélection végétale. Techniques agricoles", Fascicule n° 2340, (1991a), 10p.
255. Doussinault, G., Kaan, F., Leconte, C., et Monneveux, P., "Les céréales à paille, présentation générale. In : Amélioration des espèces végétales cultivées by Gallais A : objectifs et critères de sélection", INRA (Ed), (1992), 13 - 21.
256. Canterro-Martinez, C., Villar, J.M., Romagosa, I. and Fereres, E., "Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment", *European Journal of Agronomy*, V.4, (1995), 317 - 26.
257. Oosterom, E.J., Ceccarelli, V.S., Peacock, J.M., "Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediteranean environments", *Journal of Agricultural Science*, V.121, (1993), 307 - 313.
258. Barrs, H.D., "Effect od cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis", V.21, (1968), 8014 - 8018.
259. Rao D.N and Le Blanc B.F "Effects of sulfur dioxyde on the lichen alga, with special reference to chlorophyll", *Bryologist*, V.69 (1965), 69 - 75.

260. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A and Fred Smith., "Colorimetric method for determination of sugars and related substances", V.28, n°3, (1956), 350 - 356.
261. Hammer, O., Harper, D.A.T. and RYAN, P.D. "PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis", Paleontologia Eletronica, V.4, n°1, (2001), 1 - 9.
262. Lin, C.S., Binns, M.R., "A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter". Theoretical Applied of Genetics, V.76, (1988), 425 - 430.
263. Francis, T.R., Kannenberg, L.W. "Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes", Canandian Journal of Plant Science, V.58, (1978), 1029 - 1034.
264. Saghai-Marroof, M.A., Soliman, K.M., Jorgensen, R.A. and Allard, R.W., "Ribosomal DNA spacer length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics", Proceedings of the National Academy of Sciences USA, V.81, (1984), 8014 - 8018.
265. Udupa, S.M., Robertson, L.D., Weigand, F., Baum, M. and Kahl, G., "Allelic Variation at (TAA) Microsatellite Loci in a World Collection of Chickpea (*Cicer arietinum* L) Germplasm", Molecular and General Genetics, V. 261, (1999), 354 - 363.
266. Nei, M., "Molecular evolutionary genetics", Columbia University Press, New York, (1987), 512 p.
267. Liu, K. and Muse, S.V., "PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker analysis", Bioinformatics, V. 21, (2005), 2128 - 2129.
268. Botstein, D., White, R.L., Skolnick, M. and Davis, R.W., "Construction of a Genetic Linkage Map in Man Using Restriction Fragment Length Polymorphisms". American Journal of Human Genetics, V.32, (1980), 314 - 331.
269. Jin, L. and Chakraborty, R., "Estimation of genetic distance and coefficient of gene diversity from single-probe multilocus DNA fingerprinting Data", Molecular Biology and Evolution, V.11, (1993),120 - 127.
270. Saitou N. and Nei, M., "The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Molecular Biology and Evolution", V.4, (1987), 406 - 425.

271. Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M. and Kumar, S., "MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods", *Molecular Biology and Evolution*, V.28, (2011), 2731 - 2739.
272. Peakall, R., Smouse, P.E., "GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update", *Bioinformatics*, V.28, (2012), 2537 - 2539.
273. Laala, Z., Benmahammed, A., Oulmi, A., Fellahi, Z., and Bouzerzour, H., "Response to F3 Selection for Grain Yield in Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *Turgidum* conv. *durum* (Desf.) Mac Key] under South Mediterranean Conditions", V.21, n°2, (2017), 1 – 11.
274. Adjabi, A., "Etude de la tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux stress abiotiques sous climat méditerranéen. Thèse de Doctorat en Sciences. ENSA, El-Harrach, Alger, (2011), 130 p.
275. Wardlaw, I.F., and Moncur, L., "The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling", *Australian Journal of Plant Physiology*, V.22, (1995), 391 - 397.
276. Kadi, Z., "Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques". Univ de Sétif-1, Thèse de doctorat, (2012), 80p.
277. Bendjama, A., Bouzerzour, H., and Benbelkacem, A., "Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) to contrasted locations. *Australian Journal Basic and Applied Sciences*, V.8, n°6, (2014), 390 - 396.
278. Bendjama, A. and Solonechnyi, P., "GGE biplot analysis of yield performance and stability of durum wheat genotypes in multi environment trials in Algeria", V.114, (2018), 8 – 18.
279. Ferdous, M.F., Shamsuddin, A.K.M., Hasna, D., and Bhuiyan, M.M.R., "Study on relationship and selection index for yield and yield contributing characters in spring wheat". *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, V.8, (2010), 191 - 194.
280. Oulmi, A., "Analyse de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* var *durum* L.) aux stress abiotiques de fin de cycle", Thèse doctorat en sciences, Univ de Sétif-1, (2015), 159p.
281. Haddad, L., "Analyses AMMI et GGE de l'interaction génotype x milieux du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) et identification des facteurs

- explicatifs de l'interaction", Thèse de doctorat science, Univ de Sétif-1, (2017), 160p.
282. Bendjemaa, O., "Contribution à l'étude de l'élaboration de rendement de quelques variétés de blé dur fonction des conditions de semis dans les conditions écologiques de la station d'El Khroub", Thèse ingénieur Agronomie, INA, Alger, (1977), 105p.
283. Demotes-Mainard, S., Jeuffroy, M., and Robin, S., "Spike dry matter and nitrogen accumulation before anthesis in wheat as affected by nitrogen fertilizer : relationship to kernels per spike". *Field Crops Research*, V.64, n° 3, (1999), 249 - 259.
284. Cossani, C.M., Slafer, G.A. and Savin, R., "Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site", *Field Crops Research*, V.112, (2009). 205 - 213.
285. Amallah, L., Hassikou, R., Rhrib, K., Gaboun, F., Ennadir, J., Bouazza, F., Rochdi, A., Arahou, M., Diria, G. et Taghouti, M., "Analyse de la diversité génétique d'une collection de blé dur par les marqueurs agromorphologiques et biochimiques", *Journal of Materials and Environmental Sciences*, V.7, n°7, (2016), 2435 - 2444.
286. Nachit, M., "Durum wheat improvement. In VARMA Ed., *Cereal improvement program*, ICARDA, (1986), 78 - 101.
287. Saraoui, T., "Etude de la variabilité morphologique population f2 blé dur (*Triticum durum* Desf.) utilisation d'un indice de sélection", Thèse de magister, Univ de Batna, (2011), 80p.
288. Hamada Y. (2002). Evaluation de la variabilité génétique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre *Triticum* pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister. Univ Constantine, 167p.
289. Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., Garcia del Moral, L.F., "Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grain yield and its components grown in Mediterranean environments" , *Field Crops Research*, V.103, (2007), 25 - 35.
290. Nouar., "Contribution à l'étude de l'interaction génotype-environnements du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous climat méditerranéen: application des

- modèles de la régression conjointe et de l'AMMI", Thèse de doctorat en sciences, Univ de Sétif-1, (2015), 171p.
291. Zouaoui, G., "Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères a intérêt agronomique", Mem Ing d'Etat, INRA, El Harrach, Alger, (1993), 71p.
  292. Chaker, A., "Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)". Thèse dedoctorat d'état en science, Univ. Annaba, 2003.
  293. Erchidi, A.E., Benbella, M. et Talouizte, A., "Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique", Options méditerranéennes, Série A (Séminaires méditerranéens), V.40, (2000), 279 - 82.
  294. Grignac, P.H., "Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français", (1981).
  295. Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A., "Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid". Journal of Fundamental and Applied Sciences, V.9, n°1, (2017), 102 - 118.
  296. Craufurd, P.O., Clipson, N.J., Austin, R.B., and Acevedo, E., "Defining an ideotype for barley in low rainfall Mediterranean environments," in "Improvement and Management of Winter Cereals Under Temperature, Drought and Salinity Stresses", Proceedings of the International Symposium, Vol. Monografías INIA, ed E. Acevedo (Córdoba: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias), (1991), 309 - 325.
  297. Slafer, G.A., Savin, R., and Sadras, V.O., "Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment", Field Crops Research, V.157, (2014), 71 - 83.
  298. Mouret, J.C., Conesa, A.P., Bouchier, A., Gaid, M. and Sennour, M., "Identification des facteurs de variabilité du rendement du blé dur en conditions hydriques limitantes dans la région de Sidi -bel-Abbés (Algérie)," in "Physiology Breeding of Winter Cereals for stressed Mediterranean

- Environments", eds E. Acevedo, A.P. Conesa, P. Monneveux, and P. Srivastava (Montpellier: INRA), (1991), 35 - 47.
299. Ribaut, J.M., William, H. M., Khairallah, M., Worland, A.J., Hoisington, D., "Genetic basis of physiological traits. Chapter 3, In: Reynolds M. P., Ortiz Monasterio J. I., McNab A. (Ed.)", Application of physiology in wheat breeding, CIMMYT, Mexico,(2001), 29-47.
300. Dolferus, R., Ji, X., and Richards, R. A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Sci.* 181, 331–341.
301. Mellado, M., "El Trigo en Chile. Cultura, Ciencia y Tecnología. (Colección Libros INIA; 21), 684. Chillán: Centro Regional de Investigación Quilamapu. (2007).
302. Sip, V., Ružek, P., Chrpová, J., Vavera, R. and Kusá, H., "The effect of tillage practice, input level and environment on the grain yield of winter wheat in the Czech Republic", *Field Crops Research*, V.113, (2009), 131 - 137.
303. Zapata, C., Silva, P. and Acevedo, E., "Comportamiento de Isolíneas de Altura en Relación con el Rendimiento y Distribución de Asimilados en Trigo", *Agric. Técnica*, V.64, (2004), 139 - 155.
304. Royo, C., Nazco, R. and Villegas, D., "The climate of the zone of origin of Mediterranean durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces affects their agronomic performance", *Genetic Resources and Crop Evolution*, V.61, (2014), 1345 - 1358.
305. Amallah, L., "Structuration de la variabilité génétique d'une collection de blé dur au Maroc par les marqueurs agro-morphologiques, physico-chimiques, biochimiques et moléculaires et étude des associations marqueurs SSR – paramètres de qualité", Thèse de doctorat, Univ Rabat, (2017), 156p.
306. Subhashchandra, B., Lohithaswa, H.C., Desais, S.A., Hanchinal, R.R., Kalappanavar, I.K., Math, K.K. and Salimath, P.M., "Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat". *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, V. 22, (2009), 36 - 38.
307. Gate, P., Brain, P., Colnenne, J. et Briffaux, G., "pour les cereales à paille à chaque variété son époque de survie", *Perspectives agricoles*, V. 148, (1990), 20 - 27.

308. Ali Dib, T., "Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation", Thèse de doctorat, Montpellier, (1992), 196 p.
309. Bort, J., Febrero, A., Amaro, T. and Araus, J., "Role of awns in ear water-use efficiency and grain weight in barley", *Agronomie*, V.2, (1994), 133 - 139.
310. Merah, O., and Monneveux, P., "Contribution of Different Organs to Grain Filling in Durum Wheat under Mediterranean Conditions I. Contribution of Post-Anthesis Photosynthesis and Remobilization", *Journal of Agronomy and Crop Science*, (2014).
311. Altenbach, S.B., DuPont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L., Lieu, D., "Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat". *Journal of Cereal Science*, V.37, (2003), 9 - 20.
312. Shah, N.H. and Paulsen, G.M., "Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat", *Plant and Soil*, V.257, n°1, (2003), 219 - 226.
313. Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Momčilović, and Ristic, Z., "Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat", *Journal of Agronomy and Crop Science*, V.197, (2011), 430 - 441.
314. Pradhan, G.P, Prasad, P.V.V., Fritz, A.K., Kirkham, M.B. and Gill, B.S., "Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat". *Functional Plant Biology*, V.39, (2012), 190 - 198.
315. Perdomo, J.A., Conesa, M.À., Medrano, H., Ribas-Carbó, M. and Galmés, J., "Effects of long-term individual and combined water and temperature stress on the growth of rice, wheat and maize: relationship with morphological and physiological acclimation", *Physiologia Plantarum*, V.155, (2015), 149 - 165.
316. Perdomo, J.A., Capó-Bauçà, S., Carmo-Silva, E. and Galmés, J., "Rubisco and Rubisco activase play an important role in the biochemical limitations of photosynthesis in rice, wheat, and maize under high temperature and water deficit", *Frontiers in Plant Science*, V.8, (2017), 490.

317. Machado, S. and Paulsen, G.M., "Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum", *Plant and Soil*, V.233, (2001), 179 - 187.
318. Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H.M. and Nayyar, H., "Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea", *Functional Plant Biology*, V.41, (2014), 1148 - 1167.
319. Pinto, R.S., Reynolds, M.P., Mathews, K.L., McIntyre, C.L., Olivares-Villegas, J.J. and Chapman, S.C., "Heat and drought adaptive QTL in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects", *Theoretical and Applied Genetics*, V.121, (2010), 1001 - 1021.
320. Fischer, K.S., Edmeades, G.O., Johnson, E.C., "Selection for the improvement of maize yield under moisture-deficits", *Field Crops Research*, V.22, (1989), 227 - 243.
321. Fukai, S., Pantuwan, G., Jongdee, B., Cooper, M., "Screening for drought resistance in rainfed lowland rice", *Field Crops Research*, V.64, (1999), 61 - 74.
322. Reynolds, M.P., Van Ginkel, M., Ribaut, J.M., "Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat", *Journal of Experimental Botany*, V.51, (2000a), 459 - 473.
323. Zerrad, W., Hilali, S., Maataoui, B.S., Al Antri, S. 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. Congrès international de biochimie. Agadir*, (2006).
324. Loreti, E., De Bellis, L., Alpi, A. and Perata, P., "Why and how do plant cells sense sugars?", *Annals of Botany*, V. 88, (2001), 803 - 812.
325. Bouzoubaa, Z., El Mourid, M., Karrou, M. et El Gharous, M., "Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes". Eds INRA Maroc, (2001).
326. Zerrad, W., Maataoui, B.S., Hilali, S., Al Antri, S. and Hmyene, A., "Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur", *Lebanese Science Journal*, V.9, (2008), 2 - 36.

327. Moghaddam, M., Ehdaie, B. and Waines, J.G., "Genetic variation and interrelationships of agronomic characters in landraces of bread wheat from southeastern Iran", *Euphytica*, V.95, n°3, (1997), 361 - 369.
328. Siahbidi, M.M.P., Aboughadareh, A.P., Tahmasebi, G.R., Seyedi, A. and Jasemi, M., "Factor analysis of agro-morphological characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, V.4, (2012), 1758 - 1762.
329. Fellahi, Z., "Analyse génétique d'un croisement line X tester, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi arides", Thèse de doctorat en sciences, Univ de Sétif-1, (2017), 260p.
330. Hannachi, A., "Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semiarides", Thèse de doctorat en sciences, Univ de Sétif-1, (2017), 218p.
331. Rabti, A., Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H et Benmahammed, A., "Variabilité phénotypique et sélection pour la performance et l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) aux conditions des zones semi-arides", *Revue Agriculture*, V.11, (2016), 4 - 14.
332. Sharma, S.C. and Rao, S.R.G., "Genetic variability, association among metric traits and path coefficient analysis in Triticale". *Annals of Agricultural Research*, V.10, n°2, (1989), 145 - 152.
333. Mohan, D.S.R., Harbir, S., Kholra, O.P.S. and Singh, H., "Correlation and path analysis in late sown bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv WH 291", *Crop Research*, V.6, n°1, (1993), 72 - 77.
334. Singh, I. and Sharma, S.K., "Interrelationship of harvest index and other traits in wheat", *Hayrana Agricultural University Journal of Research*, V.24, n°1, (1994), 33038.
335. Subhani, G.M. and Khaliq, I., "Path coefficient analysis in wheat", *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, V.37, n°11, (1994), 474 - 476.
336. Sharma, D.J., Yadav, R.K. and Silarma, R.K., "Genetic variability and association of some yield components in winter x spring nursery of wheat". *Advances in Plant Sciences*, V.8, n°1, (1995), 95 - 99.
337. Ali Sakin, M., Akinici, C., Duzdemir, O. and Donmez., "Assessment of genotype x environment interaction on yield and yield components of durum

- wheat genotypes by multivariate analyses”, African Journal of Biotechnology, V.10, n°15, (2011), 2875 - 2885.
338. Mohammadi, R., Farshadfar, E and Amric, A., "Path analysis of genotype x environment interactions in rainfed durum wheat", Plant production science, V.19, n°1, (2016), 43 - 50.
339. Bantte, K. and Mogus, Y., "Fingerprinting and Genetic Relationship among Ethiopian Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Lines". International Journal of Plant Breeding and Genetics, V. 10, (2016), 38 - 44.
340. Yildirim, A., Sönmezoğlu, Ö.A., Gökmen, S., Kandemir, N. and Aydin, N., "Determination of genetic diversity among Turkish durum wheat landraces by microsatellites", African Journal of Biotechnology, V. 10, (2011), 3915 - 3920.
341. Gorji, A.H. and Zolnoori, Z., "Genetic diversity in hexaploide wheat genotypes using microsatellites markers", Asian Journal of Biotechnology, V.3, (2011), 368 - 377.
342. Tatikonda, L., Wani, S.P., Kannan, S., Beerelli, N., Sreedevi, T.K., Hoisington, D.A., Devi, P. and Varshney, R.K., "AFLP-based molecular characterization of an elite germplasm collection of *Jatropha curcas* L: a biofuel plant", Plant Science, V.176, (2009), 505 - 513.
343. Mangini, G., Taranto, F., Giove, S.L., Gadaleta, A. and Blanco, A., "Identification of Durum Wheat Cultivars by a Minimum Number of Microsatellite Markers", Cereal Research Communications, V.38, (2010), 155 - 162.
344. Somers, D.J., Isaac, P. and Edwards, K., "A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theoretical and Applied Genetics, V.109, (2004), 1105 - 1114.
345. Plaschke, J., Ganai, M.W. and Röder, M.S., "Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers", Theoretical and Applied Genetics, V.91, (1995), 1001 - 1007.
346. Quinn, GP. and Keough M.J., "Experimental design and data analysis for biologists", Cambridge University Press, New York, (2002).