

**Université des Frères Mentouri Constantine**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biologie et Ecologie Végétale**

**N° d'ordre : 05/DOC/2018**

**Série : 01/ECOV/2018**

**Thèse**

Présentée en Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat 3ème cycle

**Filière : Biotechnologie, Biologie et environnement**

**Option : Biologie et Génomique Végétales**

**Thème**

**Diversité phénotypique et moléculaire du blé dur cultivé  
en Algérie : identification et caractérisation des accessions**

Présentée par M<sup>me</sup>. **Amina KHENNAOUI**

**Soutenu le : 05/03/2018**

**Devant le jury**

**Président :** Pr. Abdelhamid DJEKOUN.

Université des Frères Mentouri Constantine

**Encadreur:** Pr. Nadia YKHLEF.

Université des Frères Mentouri Constantine

**Examineurs :**

MCA. Ratiba BOUSBA.

Université des frères Mentouri Constantine

Pr. Miloud HAFSI.

Université Ferhat Abbas Sétif

Dr. Abdelkader BENBELKACEM.

Directeur de recherche INRA Constantine

*Année Universitaire : 2017/2018*

## **Remerciements**

*Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements au Professeur Nadia YKHLEF. Je lui suis également reconnaissante de m'avoir assuré un encadrement rigoureux tout au long de ces années, Pour les précieux conseils dont elle m'a fait profiter. Pour m'avoir accordé toute sa confiance, sa compétence et sa rigueur scientifique m'ont beaucoup appris. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Je tiens également à remercier, le Pr Abdelhamid Djekoun, chef d'équipe II de Biotechnologie et Amélioration des Plantes (BAP) du laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale (GBBV), et recteur de l'Université des frères Mentouri Constantine, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

*Je souhaiterais aussi adresser ma gratitude au professeur Miloud HAFSI, à l'Université Ferhat Abbas Sétif, et Dr Ratiba BOUSBA MCA à l'Université des frères Mentouri Constantine, de m'avoir honorée en acceptant d'évaluer ce travail et de faire partie des membres de jury.*

*Je remercie spécialement Dr Abdelkader BENBELKACEM, directeur de recherche INRA avec qui j'ai eu la chance de pouvoir travailler. Sa rigueur, et ses très nombreuses connaissances m'ont permis de progresser et ont répondu à plusieurs de mes préoccupations, ce qui c'est avéré une expérience très enrichissante. Qu'il soit vivement remercié de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail de thèse.*

*Ces remerciements seraient incomplets si je n'en adressais pas à l'ensemble des membres de l'équipe du laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale (GBBV) : Mr Belbekri, Melle Djeghar et Chafika, et en particulier Mme Bouldjej, qui m'ont entouré au quotidien et m'ont apporté leur aide et leur compétences, conseils avisés, les discussions et le travail dans la bonne humeur. J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants : Mr Kellou, Mme KACEM, Mme Maougual, Melle Kechid.*

*J'adresse aussi mes chaleureux remerciements à toute l'unité expérimentale ITGC d'El khroub Constantine pour tout le travail de terrain.*

*Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé mes études et notamment ces années de thèse: Wassila, Adra, Zoheira, Karima, Mouna, Narimen, Soumeia, chourouk, Meriem, Mahmoud et Seif pour tous les bons moments, et les difficultés partagées, pour leurs présence et leurs aides.*

## ***Dédicaces***

*Je commence par remercier DIEU le tout puissant, pour tout ce qu'il m'a apporté...*

*Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont appuyée et encouragée à effectuer ce travail de recherche, je dédie cette thèse :*

### ***A LA MEMOIRE DE MON PERE.***

*Nous ne t'oublierons jamais et dans nos cœurs, tu resteras à jamais,*

### ***À MA CHERE MERE.***

*Aucun hommage ne saurait transmettre à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour toi. Je te dédie à mon tour cette thèse qui concrétise ton rêve le plus cher et qui n'est que le fruit de tes encouragements. Tu n'as pas cessé de me soutenir et de m'encourager, ta générosité exemplaire et ta présence constante ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Tes prières ont été pour moi un grand soutien tout au long de mes études. J'espère que tu trouveras dans ce modeste travail un témoignage de ma gratitude, ma profonde affection et mon profond respect.*

### ***A MON ÉPOUX,***

*Les mots me manquent pour remercier, à sa juste valeur, mon époux, pour son soutien moral et psychologique indispensables pour maintenir ce travail. C'est lui qui a subi ma thèse de l'intérieur, les moments de doute et de difficultés et j'en passe...*

***A MES FRERES ET SŒURS,*** *Hamza, Mohammed, Sabah, jiji, Hanane, Merci de me soutenir, de près ou de loin durant mes études. Puissiez-vous trouver dans ce travail le témoin de mon affection et estime.*

***A MA BELLE FAMILLE,*** *et à tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.*

## Résumé

L'amélioration génétique des traits agronomiques liés à la performance et à l'adaptation aux environnements est conditionnée par la présence d'une variabilité génétique et phénotypique des caractères ciblés dans le matériel végétal soumis à la sélection. Dans ce travail trois essais ont été réalisés sur une collection de 26 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de diverses origines. Le premier essai a été réalisé durant la campagne 2011/2012 sur le site de la station ITGC el Khroub représentant les hautes plaines orientales algérienne, en condition pluviales. Pour évaluer l'ampleur de la variabilité phénotypique en vue d'une future utilisation. Divers paramètres phénologiques et physiologiques (précocité à l'épiaison et date de maturité, température du couvert végétal, teneur relative en eau), agronomiques (NTE ; NTH ; NTE/NTH), ainsi des caractères morphologiques quantitatifs (hauteur de la plante, la surface foliaire, longueur de barbes, longueur de l'épi) et qualitatifs (couleur de l'épi et barbes et pilosité des glumes) ont été étudiés chez les variétés de blé dur. Les résultats obtenus révèlent des différences variétales hautement significatives pour l'ensemble des paramètres mesurés.

Le deuxième essai a été conduit durant la campagne 2012/2013 sur le même site d'expérimentation précédente ; afin de comparer la production et la performance de variétés étudiées dans des conditions climatiques différentes. Un effet significatif années et variétés a été révélé pour l'ensemble de paramètres, nos résultats montrent que le stress thermique de fin de cycle induit une diminution du PMG. Le manque d'eau provoque une diminution du nombre d'épi par m<sup>2</sup>, et le nombre de grains par épi de toutes les variétés. Les variétés Hoggar et Tassili présentent de bonne capacité de production durant les deux essais comparés aux autres variétés. Des liaisons positives très hautement significatives sont notées entre le rendement en grains et le nombre de grains produit par unité de surface, et le nombre de grain par épi. L'analyse en composante principale, décrivant 77.36% de variation totale, ainsi qu'une classification hiérarchique présentant la répartition des génotypes selon leurs variations phénotypiques ont montré l'existence de trois groupes distincts. Le premier constitué de variétés anciennes renfermant des capacités d'adaptation aux conditions climatiques de la région d'étude, tardifs et de grande taille. En opposition avec les deux groupes formés par des variétés du (CIMMYT et ICARDA, Italie), caractérisées par une taille réduite, une précocité à l'épiaison, et dotés de valeurs plus élevées de l'ensemble des composantes du rendement.

Le troisième essai a été mené dans cette étude afin d'évaluer la diversité génétique des variétés blé dur en utilisant deux types de marqueurs moléculaires (SSR et RAPD). Au total, 44 et 30 allèles ont été générés par 10 amorces SSR et 05 amorces RAPD respectivement. Les résultats obtenus par l'utilisation des microsatellites, met en évidence une variabilité au sein des 26 variétés. Révèlent une diversité allélique importante se caractérisant par des valeurs du contenu informatif du polymorphisme (PIC) assez élevées, les plus hautes sont obtenues par les amorces *WMC 307* et *BARC 142* avec (0.85 et 0.73) respectivement, et en accord avec le nombre important d'allèles polymorphes détectés chez les variétés avec une moyenne de 11.8 allèles, ceci consolide et justifie le choix d'utiliser ces amorces pour analyser nos variétés de blé dur. La classification des variétés selon la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic averaging) a montré une large diversité génétique, peuvent être utilisées dans le choix de parents dans le programme d'amélioration. Les variétés de blé modernes ont divergé du blé dur algérien et italien en deux principaux clusters distincts. Les résultats estimés par les marqueurs RAPD révèlent également un polymorphisme génétique exprimé par un PIC (0.31) et index de diversité de Shannon (0.410). De plus l'AMOVA (Analyse de la variance moléculaire) a montré que la variation génétique au sein des groupes représente 97% ( $\Phi_{PT} = 0,173$   $p < 0,05$ ).

**Mots clés :** traits agro- morphologiques, *Triticum durum*, rendement, diversité génétique, SSR, RAPD.

## **Phenotypic and molecular diversity of durum wheat grown in Algeria: identification and characterization of accessions**

### **Abstract**

The genetic improvement of the agronomic traits related to the performance and adaptation to the environments is conditioned by the presence of a genetic and phenotypic variability of the targeted traits in the plant material subjected to the selection. In this work, three trials were conducted on the collection of 26 durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from various origins. The first trial was realized during the campaign of 2011/2012 on the ITGC site of el khroub station in rainy conditions. This site represents the highest Algerian eastern plains. To assess the extent of phenotypic variability for future use. Various phenological and physiological parameters (The heading stage and maturity date, the temperature of crop canopy, relative water content), agronomics (The number of fertile tillers (NTF), the number of grass tillers (NTG), and (NTF/NTG). And quantitative morphological characteristics (plant height, flag leaf area, the length of beards, the spike length) and qualitative characteristics (spike and beards color and pubescence of glumes) were studied in the genotypes of durum wheat. The results obtained reveal highly significant varietal differences for all measured parameters.

The second trial was conducted during the 2012/2013 campaign on the same site of previous experiments; in order to compare the production and performance of varieties studied under different climatic conditions. A significant effect years and varieties were revealed for the set of parameters, our results show that the end-of-cycle thermal stress induces a decrease of thousand kernel weight. Lack of water causes a decrease in the number of heads per m<sup>2</sup> and the number of grains per ear of all varieties. The Hoggar and Tassili varieties have good production capacity during the two trials compared to the other varieties. Highly positive significant links have been found between grain yield and the number of grains produced per unit area, and the number of grain per spike. The principal component analysis, described a total variation of 77.36 %, and the hierarchical classification has divided the genotypes according to their phenotypic variation into three distinct groups. The first one includes old varieties showing adaptability to climatic conditions to the studied area. They are late and large. In opposition to the two groups formed by varieties from (CIMMYT, ICARDA, and Italy) . They are characterized by a small, early maturity at heading, and show higher values for all performance components.

The third trial was conducted in this study to evaluate the genetic diversity of durum wheat varieties using two types of molecular markers (SSR and RAPD). In total, 44 and 30 alleles were generated by 10 SSR primers and 05 RAPD primers respectively. The results obtained by the use of microsatellites, highlights variability within the 26 varieties. Reveal significant allelic diversity characterized by high polymorphic information content (PIC) values, highest are obtained by primers WMC 307 and BARC 142 with (0.85 and 0.73) respectively. And in agreement with the large number of polymorphic alleles detected in varieties with an average of 11.8 alleles. These results reinforces and justify the choice to use these primers association analysis in our durum wheat varieties. The classification of varieties according to UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic averaging) showed a wide genetic diversity, can be used in the choice of parents in the breeding program. Modern wheat varieties have diverged from Algerian and Italian durum wheat into two main distinct clusters. The results estimated by the RAPD markers also reveal a genetic polymorphism expressed by a PIC (0.31) and Shannon diversity index (0.410). AMOVA (Analysis of Molecular Variance) showed that genetic variation within groups represented 97% ( $\Phi_{PT} = 0.173$  p <0.05).

**Key words:** agro-morphological traits, *Triticum durum*, yield, genetic diversity, SSR, RAPD.

## الموضوع : التنوع المظهري والجزيني للقمح الصلب المزروع في الجزائر: تحديد وتوصيف الأصناف

### ملخص

إن التحسين الجيني للصفات الزراعية المتعلقة بالإنتاجية والتكيف مع البيئات مقيد بوجود التنوع المظهري والجزيني للصفات المستهدفة في العينة النباتية المختبرة . في هذا العمل تم تنفيذ ثلاث تجارب لمجموعة مكونة من 26 صنف من القمح الصلب من أصول مختلفة.

تمت التجربة الأولى خلال الموسم الزراعي 2012/2011 تحت الظروف الطبيعية الحقلية في محطة (ITGC) الخروب التي تمثل السهول الشرقية العالية، لتقييم مدى التنوع المظهري لأجل استخدامها مستقبلا. في هذا السياق تمت دراسة مختلف الخواص الفينولوجية و الفسيولوجية (التسبيل المبكر ،موعد النضج، درجة حرارة الغطاء النباتي،محتوى الماء النسبي) كذلك الزراعية ( عدد الأشطاء العشبية،عدد الأشطاء المثمرة، نسبة الأشطاء المنتجة) . كذلك الخواص المورفولوجية الكمية (طول النبتة، المساحة الورقية، طول السنبل، طول السفاة). والنوعية (لون السنبل، والسفاة، وجود الزغب على العصفة). النتائج المتحصل عليها تبين تنوعا ملحوظا لدى أغلب العوامل المدروسة.

أجريت التجربة الثانية خلال الموسم الزراعي 2013/2012 في نفس موقع التجربة الأولى. من أجل مقارنة إنتاج وأداء الأصناف المدروسة في ظل ظروف مناخية مختلفة. أظهرت النتائج التأثير الكبير للسنة والصنف لدى أغلب العوامل المدروسة . زيادة أن الإجهاد الحراري في نهاية الدورة يؤدي الي انخفاض في وزن الألف حبة، أما الإجهاد المائي يسبب انخفاض في عدد السنابل في المتر المربع، وعدد الحبوب في السنبل لجميع الأصناف. الصنفين هفار وطاسيلي أظهرتا قدرة إنتاجية جيدة خلال التجريبتين مقارنة بالأصناف الأخرى. لاحظنا وجود ارتباطات إيجابية كبيرة جدا بين المردود وعدد السنابل في المتر المربع وعدد الحبوب في السنبل.

وأظهر تحليل المكون الرئيسي (ACP) 75% من الاختلاف الكلي زيادة عن أن التصنيف الهرمي التصاعدي (CAH) الذي يوضح توزيع الأنماط الجينية وفقا لتغيراتها الظاهرية. وجود ثلاث مجموعات : الأولى تتكون من الأصناف القديمة المحلية التي تتميز بالقدرة على التكيف مع الظروف المناخية لمنطقة الدراسة، متأخرة النضج، طويلة. على نقيض المجموعتين التي تشكلتا من خلال التحسين وإدخال التراكيب الوراثية (الأصناف الإيطالية، إيكاردا، سيميت ) تتميز بتسبيل سريع، قصيرة الطول ، مردود أعلى.

أجريت التجربة الثالثة في هذه الدراسة لتقييم التنوع الجيني لمختلف الأصناف باستخدام تقنية SSR و RAPD. في المجموع ، تم توليد 44 و 30 أليلات بواسطة 10 مؤشرات SSR و 5 RAPD على التوالي. تكشف النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق استخدام المؤشرات SSR عن وجود تنوع مهم مابين بالمحتوي المعلوماتي الوراثي (PIC) سجلت أعلى قيمة عند المؤشر الجزيني (0.73) BARC 142 و WMC 307 (0.85). زيادة على عدد كبير من الأليلات متعددة الأشكال المكتشفة بمتوسط 11.8 أليل ، مما يبرر اختيار و استخدام المؤشرات الجزينية لتحليل أصناف القمح الصلب.

وبين التحليل العنقودي القائم على قيم التشابه الجيني للأليلات SSR تنوع جيني واسع ، يمكن استخدامه في اختيار الوالدين في برامج التحسين. حيث تباعدت أنواع القمح الحديثة عن القمح الجزائري والإيطالي إلى مجموعتين رئيسيتين متميزتين. النتائج التي تم تقديرها بواسطة المؤشرات RAPD تكشف أيضًا عن تنوع جيني تم التعبير عنه بواسطة قيمة PIC (0.31) ومؤشر شانون للتنوع (0.410). وأظهر تحليل الجزيني AMOVA أن التباين الجزيني داخل الأصناف يمثل 97% ( $p < 0,05$ ) ( $\Phi_{PT} = 0,173$ ).

**الكلمات المفتاحية:** الصفات المورفولوجية الزراعية ، القمح الصلب ، المردود، التنوع الجيني ،المؤشرات الجزينية (SSR, RAPD).

## Liste des abréviations et des acronymes

**ACP** : Analyse en Composantes Principales.  
**AFLP**: Amplified Fragment Length Polymorphisme  
**AMOVA** : Analyse de la variance moléculaire.  
**ANOVA** : Analyse de la variance.  
**CAH** : Classification Ascendante Hiérarchique.  
**CIC** : Conseil Internationale des Céréales  
**CTAB**: Cetyl trimethylammonium  
**CYMMYT** : International Maize and Wheat Improvement Center  
**dNTP** : Désoxyribo-nucléotide triphosphate.  
**EDTA**: Ethylène Diamine Tétra-Acétate.  
**He** : hétérozygotie attendue  
**Ho** : hétérozygotie observée.  
**HP** : hauteur de la plante  
**I** : index de diversité de Shannon  
**ICARDA** : Centre Internationale de la Recherche Agronomique pour les zones Arides  
**INRAA** : Institut national de recherche agronomique d'Algérie  
**ITDAS** : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne  
**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.  
**LB** : longueur de la barbe  
**LEP**: longueur de l'épi  
**MADRP** : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche  
**MM** : marqueurs moléculaire  
**Na** : le nombre d'allèles détectés.  
**NEP/m<sup>2</sup>** : Nombre d'épi par mètre  
**NG/E** : Nombre de grains par épi  
**NTE** : nombre de talles épis  
**NTH** : nombre de talles herbacées  
**OAIC** : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales  
**Pb** : paire de base.  
**PCR** : Polymerase Chain Reaction  
**PF** : poids frais.  
**PIC** : Contenu Informatif du Polymorphisme  
**PM** : poids moléculaire.  
**PMG** : Poids de mille grains  
**PS** : poids sec.  
**PT** : poids de turgescence.  
**qsp** : quantité suffisante pour.  
**QTL** : Quantitative Trait Loci( locus à effets quantitatifs)  
**RAPD** : Random Amplified Polymorphic DNA  
**Rdt** : Rendement en grains  
**Rpm** : rotation par minute.  
**SF** : surface foliaire  
**SSRs** : Simple Sequence Repeat.  
**Taq** : Thermus aquaticus polymérase  
**TC** : température de couvert végétal  
**TRE**: teneur relative en eau  
**UPGMA**: Unweighted Pair Group Method with Arithmetic averaging.  
**USDA**: United States Department of Agriculture  
**WMC**: wheat microsatellite consortium

## Liste de tableaux

<b>Tableau. 01 :</b> Rendement en millions de tonnes de principaux producteurs du blé	06
<b>Tableau. 02 :</b> Tableau récapitulatif des marqueurs moléculaires les plus utilisés pour l'étude de la diversité	22
<b>Tableau. 03 :</b> Nom et pedigree des génotypes utilisés dans l'étude	30
<b>Tableau. 04 :</b> Caractères morphologiques qualitatifs étudiés	35
<b>Tableau. 05 :</b> Mélange réactionnel (Mix)	40
<b>Tableau. 06 :</b> Amorces utilisées, leurs séquences, température d'hybridation	41
<b>Tableau. 07 :</b> Amorces utilisées, leurs séquences	42
<b>Tableau.08 :</b> Données pluviométriques de Constantine pour les trois dernières campagnes agricoles et la moyenne normale ONM sur 25 ans	48
<b>Tableau. 09 :</b> Températures moyennes mensuelles, minima et maximas et fréquence des gelées ayant prévalu à Constantine durant la campagne (2011/2012)	49
<b>Tableau. 10 :</b> Nombre de jours de différents stades phénologiques étudiés	51
<b>Tableau. 11 :</b> Moyennes teneur relative en eau (TRE) et température du couvert (TC) des variétés	54
<b>Tableau. 12 :</b> Moyennes de la longueur de l'épi (LEP); et des barbes (LB), surface foliaire (SF) et hauteur de la plante (HP) des variétés	57
<b>Tableau. 13 :</b> Quelques caractères de l'épi, barbes et glumes de 26 variétés	59
<b>Tableau. 14 :</b> Nombre moyen de talles herbacées (NTH) et nombre de talles épis (NTE), ratio NTE/NTH de 26 variétés	61
<b>Tableau. 15:</b> Pluviométrie 2012/2013 comparée à la moyenne ONM de 25 ans à Constantine	62
<b>Tableau. 16 :</b> Moyennes poids de milles grains de 26 variétés durant les deux campagnes agricoles	65
<b>Tableau. 17 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du poids de milles grains des variétés de blé dur testées	66
<b>Tableau. 18:</b> Résultats de l'ANOVA de la comparaison entre les variétés étudiées pour le poids de milles grains des deux campagnes agricoles	66
<b>Tableau. 19 :</b> Moyennes nombre de grains par épi chez l'ensemble des variétés durant les deux campagnes agricoles	68
<b>Tableau. 20 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de grains par épi des variétés de blé dur testées	68
<b>Tableau. 21 :</b> Résultats de l'ANOVA de la comparaison entre les variétés étudiées pour le nombre de grains par épi des deux campagnes	69
<b>Tableau. 22 :</b> Moyennes nombre d'épi par m <sup>2</sup> chez l'ensemble des variétés durant les deux campagnes agricoles.	70
<b>Tableau. 23 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre d'épi par m <sup>2</sup> des variétés de blé dur testées	71
<b>Tableau. 24 :</b> Moyennes rendement en grains de 26 variétés durant les deux campagnes agricoles	72
<b>Tableau. 25 :</b> Carrés moyens de l'analyse de variance du rendement en grains (RDT) des variétés de blé dur testées	74
<b>Tableau. 26 :</b> Résultats des tests de l'analyse de la variance (ANOVA) de rendement et ses composantes selon le type des génotypes.	75
<b>Tableau. 27 :</b> Matrice de corrélation entre les différents traits	79
<b>Tableau. 28 :</b> Projection des différents traits étudiés sur les plans des cinq axes d'ACP	81

<b>Tableau. 29 :</b> Taille des allèles observés (Pb) de 10 primers microsatellites chez 26 variétés de blé dur	92
<b>Tableau. 30 :</b> Liste des amorces SSR retenues, nombre d'allèles et valeurs de PIC	93
<b>Tableau. 31 :</b> Matrice de similarité génétique calculée par le coefficient « <i>Simple Matching</i> » à partir des marqueurs SSRs	101
<b>Tableau. 32 :</b> Liste des amorces RAPD retenues, nombre d'allèles et valeurs de PIC	104
<b>Tableau. 33 :</b> Valeurs moyennes, maximales et minimales et écart-type pour l'ensemble d'amorces RAPD étudiées	106
<b>Tableau. 34 :</b> Matrice de similarité génétique calculée par le coefficient <i>Jaccard</i> à partir de marqueurs RAPD	111
<b>Tableau. 35 :</b> Paramètres de diversité intra-variété	114
<b>Tableau. 36 :</b> Paramètres génétiques pour les cinq RAPD estimés selon le type de génotype par GenAlex v.6.1	115
<b>Tableau. 37 :</b> Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des cultivars de blés durs modernes et traditionnels basée sur les marqueurs RAPD	116

## Listes des figures

<b>Figure 01</b> : Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces de <i>Triticum</i> et <i>Aegilops</i> .	04
<b>Figure 02</b> : Evolution de la production mondiale de blé (dur et tendre)	05
<b>Figure 03</b> : Les superficies emblavées et récoltées en blé dur	07
<b>Figure 04</b> : Le Rendement blé dur ces cinq dernières années	08
<b>Figure 05</b> : Evolution des importations algériennes de blé (tendre et dur) Source : élaboration propre à partir de données collectées à l'OAIC	09
<b>Figure 06</b> : Elaboration de différentes composantes de rendement au cours du cycle végétatif	18
<b>Figure.07</b> : Principe d'utilisation d'un marqueur moléculaire de type microsatellite en identification variétale	24
<b>Figure 08</b> : Modèle général d'analyse RAPD	25
<b>Figure 09</b> : Dispositif de l'expérimentation.	32
<b>Figure 10</b> : Thermomètre infrarouge portatif	34
<b>Figure 11</b> : Vue de l'essai en conditions semi contrôlées	37
<b>Figure.12</b> : Schématisation des étapes successives utilisées pour l'étude de polymorphisme moléculaire	38
<b>Figure 13</b> : Programme PCR pour la réaction RAPD	42
<b>Figure 14</b> : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle des trois dernières campagnes agricoles (2009/2010, 2010/2011 et 2011/2012) et de la moyenne Normale ONM.	47
<b>Figure 15</b> : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales relevées de septembre 2012 à juin 2013 à Constantine.	63
<b>Figure 16</b> : Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-2 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques	81
<b>Figure 17</b> : Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-3 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques	82
<b>Figure 18</b> : Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-5 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques	83
<b>Figure 19</b> : Classification ascendante hiérarchique des variétés sur la base de variables phénotypiques et morpho physiologiques considérées dans notre étude.	87
<b>Figure 20</b> : Test de qualité de l'ADN de 26 variétés étudiés sur gel d'agarose 0.8%	90
<b>Figure 21</b> : Nombre d'allèles polymorphes présent dans chaque variété de blé dur	95
<b>Figure 22</b> : Valeurs moyennes, de nombre d'allèles par groupes de variétés pour l'ensemble des amorces SSR utilisées.	95
<b>Figure 23</b> : Profil électrophorétique sur gel d'agarose des 26 génotypes amplifiés avec les amorces (BARC 100 (1) et BARC 142 (2) WMC 50 (3))	96
<b>Figure 24</b> : Dendrogramme de similarité génétique des 26 génotypes analysés, obtenu par le coefficient "Simple Matching" et la méthode "UPGMA" établis par le programme NTSYS 2.2	102
<b>Figure 25</b> : Nombre d'allèles polymorphes présent dans chaque variété de blé dur	106
<b>Figure 26</b> : Nombre d'allèles généré par l'ensemble des amorces RAPD polymorphes selon le type des variétés	106
<b>Figure 27</b> : Profil électrophorétique sur gel d'agarose des 26 variétés amplifiés avec les amorces (1 : OPE 13), (2 : OPC 05), (3 :OPF 20),(4 :OPA 17), (5 : OPG09)	107
<b>Figure 28</b> : Dendrogramme généré par l'analyse des marqueurs RAPD via la méthode UPGMA	112
<b>Figure 29</b> : Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) montrant la variabilité entre et au sein de deux groupes de blé dur	116

## **Liste des annexes**

**ANNEXE 01 :** Résultats de l'ANOVA pour les paramètres agro-morpho-physiologiques étudiés

**ANNEXE 02 :** Valeur propre et pourcentages de variation totale expliquée par les cinq premières composantes principales.

**ANNEXE 03 :** Préparation des solutions pour l'extraction d'ADN

**ANNEXE 04 :** Méthode d'extraction d'ADN génomique

**ANNEXE 05 :** Electrophorèse d'ADN sur gel d'agarose 0.8%

**ANNEXE 06 :** Electrophorèse sur gel d'agarose 3%

**ANNEXE 07 :** Marqueurs de taille utilisés

**ANNEXE 08 :** GrainGenes rapport des marqueurs microsatellites utilisés

**ANNEXE 09 :** Quantité et qualité d'ADN des 26 variétés de blé dur

**ANNEXE 10 :** Valorisation et production scientifique

# **Table des matières**

# Table des matières

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Listes des abréviations et des acronymes	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Liste des annexes	
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>

## Chapitre I: Revue bibliographique

I-1-le blé	4
I-1-1-Origine et histoire	4
I-1-2-Production et importance	5
I- 2-Problématique de la production de céréaliculture en Algérie	9
I- 3-Concept de biodiversité et étude de la variabilité génétique	11
I-3-1-Ressources phytogénétiques du blé dur	12
I-3-1-1- Efforts de préservation des ressources génétiques des céréales en Algérie	13
I-4-Analyse de la variabilité génétique	14
I-4-1-Les marqueurs génétiques utilisés dans l'estimation de la diversité	14
I-4-1-1-Marqueurs phénotypiques	14
I-4-1-2-Analyse et exploitation des caractères de production et d'adaptation dans les programmes d'amélioration de blé dur	15
I-4-1-2-1-Caractères d'adaptation	15
I-4-1-2-2-Etudes de caractères de production	17
I-4-2-1-Marqueurs biochimiques	19
I-4-3-1-Marqueurs moléculaires	20
I-4-3-1-1-Caractéristiques des principaux types de marqueurs moléculaires employés chez les céréales	21
➤ <i>SSR (Simple Sequence Repeat)</i>	22
➤ Les RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA)	24
➤ Les marqueurs AFLP	26
➤ RFLP: <i>Restriction Fragment Length Polymorphism</i>	27
➤ SNP (single nucléotide polymorphism)	27
I-5-Mesures de la diversité	28
I-5-1-Distance génétique	28
I-5-2-La phylogénie (pedigree)	29

## Chapitre II : Matériel et méthodes

II-1-Matériel végétal	30
<b>II-2-Expérimentation .1. Étude de la diversité phénotypique</b>	<b>32</b>
Essai 01 : Caractérisation agro-morpho-physiologique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie	32

II-2-1-Présentation de la région d'étude	32
II-2-2-Mise en place de l'essai 01	32
II-2-3-Paramètres et mesures	33
II-2-3-1-Suivi et notations	33
II-2-3-1-1- Paramètres phénologiques	33
II-2-3-1-2- Paramètres physiologiques	33
II-2-3-1-3- Paramètres morphologiques	34
a-Caractères morphologiques quantitatifs	34
b-Caractères morphologiques qualitatifs	35
II-2-3-1-4- Paramètres agronomiques	35
a-Nombre de talles herbacées ; nombre de talles épi et rapport TEE/TEH	35
b-Rendement et ses composantes	35
Essai 02 : Etude de performance de rendement des variétés de blé dur vis-à-vis les conditions climatiques	36
II-3-Mise en place de l'essai 02	36
II-3-1-Paramètres étudiés	36
II-3-1-1- Rendement et ses composantes	36
<b>II-4-Expérimentation 02 : Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD</b>	37
II-4-1-Matériel végétal et conduite de l'essai	37
II-4-2-Extraction et quantification de l'ADN	38
II-4-2-1-Evaluation de la qualité et de quantité d'ADN extraite	39
II-4-3-Analyse moléculaire par les marqueurs SSRs	39
II-4-3-1-Amplification par la technique PCR	39
II-4-3-2-Mélange réactionnelles	40
II-4-3-3-Programme d'amplification PCR /SSR	40
II-4-3-4-L'électrophorèse de l'amplification de polymérisation en chaîne de l'ADN	40
II-4-4-Analyse moléculaire par les marqueurs RAPD	42
II-4-4-1-Amplification par la technique PCR	42
II-4-4-2-Mélange réactionnelle	42
II-4-4-3-Programme d'amplification PCR	42
II-4-4-4-Révélation des produits PCR sur gel électrophorèse	43
II-5-Méthodes d'analyse statistique	43
II-5-1-Traits phénotypiques	43
II-5-1-2-Analyse de la Variance (ANOVA)	43
II-5-1-3-Analyse en composante principale ACP	43
II-5-1-4-Matrice des corrélations	44
II-5-1-5-Classification ascendante hiérarchique	44
II-5-2-Analyses des données moléculaires	44
II-5-2-1-Classification selon la méthode UPGMA	44
II-5-2-2-Le pourcentage de bandes polymorphes ( <i>P</i> )	44
II-5-2-3-PIC (Polymorphisme information content)	45
II-5-2-4-Mesure de la diversité génétique	45

### **Chapitre III : Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie**

Introduction	46
III-1-Caractérisation agro-morpho-physiologique d'une collection de blé dur algérien	47
III-1-1-Conditions climatiques (pluviométrie et températures) pour la campagne agricole 2011-2012	47
III-1-1-1-Pluviométrie	47
III-1-1-2-Température	48
III-1-2-Paramètres phénologiques	49
III-1-2-1-Durée semis –tallage et la durée semis –montaison	49
III-1-2-2-Durée semis- épiaison	49
III-1-2-3-Durée semis- maturité	50
III-1-3-Paramètres physiologiques	52
III-1-3-1- La teneur relative en eau	52
III-1-3-2- La température de couvert	53
III-1-4-Paramètres morphologiques	55
III-1-4-1-La surface foliaire de la feuille étandard	55
III-1-4-2-Hauteur de la plante	55
III-1-4-3-Longueur de barbes	56
III-1-4-4-Longueur de l'épi	56
III-1-4-5-Etude de caractères d'épi ; glumes et barbes	58
III-1-5- Paramètres agronomiques	59
III-1-5-1-Nombre de talles herbacées (NTH)	59
III-1-5-2-Nombre de talles épis (NTE)	60
III-1-5-3-La capacité de transformation de talles herbacées en talles épis	60
III-2-Etude de performance de rendement des variétés de blé dur vis-à-vis les conditions climatiques	62
III-2-1-Conditions climatiques de la deuxième campagne 2012/2013	62
III-2-1-1-Pluviométrie	62
III-2-1-2-Température	62
III-2-2-Rendement grain et ses composantes	63
III-2-2-1-Poids de milles grains	64
III-2-2-3-Le nombre de grains par épis	66
III-2-2-4-Le nombre d'épis/ m <sup>2</sup>	69
III-2-2-5-Comparaison du rendement grains durant les deux campagnes agricole	71
III-2-2-6-Synthèse des résultats des performances agronomiques des variétés	72
III-2-2-6-1-Effet variétés et l'interaction variétés x années	73
III-3-Etude de corrélations entre les paramètres quantitatifs mesurés	76
III-4-Analyse en composante principale	80
III-4-1-Analyse du nuage de points-variables	80
III-4-2-Analyse du nuage de points-cultivars : graphique des individus	80
III-5-Classification des variétés	84
III-5-1-Discussions des résultats de la classification ascendante hiérarchique	84

(CAH) et de l'analyse en composante principales (ACP)	
Conclusion	88

## **Chapitre IV : Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD**

Introduction	89
IV-1- Etude de polymorphisme moléculaire des variétés par utilisation des marqueurs SSR	90
IV-1-1-Evaluation de la qualité d'ADN extrait	90
IV-1-2- Caractérisation des marqueurs SSR	91
IV-1-2-1-Evaluation de la diversité des marqueurs	91
IV-1-2-2-Le pourcentage de bandes polymorphes (P)	92
IV-1-2-3-Le contenu de l'information polymorphe (PIC)	92
IV-1-3-Evaluation de la variation alléliques des variétés	93
IV-1-4-L'analyse de la structure génétique des variétés	97
IV-2- Etude de polymorphisme moléculaire des variétés par utilisation des marqueurs RAPD	103
IV-2-1-Caractérisation des marqueurs RAPD	103
IV-2-1-1-Evaluation de la diversité des marqueurs	103
IV-2-1-2-Le contenu de l'information polymorphe (PIC)	103
IV-2-1-3-Le pourcentage de bandes polymorphes (P)	104
IV-2-2-Evaluation de la variation alléliques des variétés	104
IV-2-3- Classification des accessions basée sur les données des marqueurs RAPD	108
IV-2-4-Evaluation de la diversité génétique au sein de la collection de blé dur étudiée	113
IV-2-4-1-Nombre d'allèles par locus ( $N_a$ ) et le nombre d'allèles effectifs ( $N_e$ )	113
IV-2-4-2- L'indice de diversité de Shannon (I)	113
IV-2-4-3-L'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) et l'hétérozygotie attendue ( $H_e$ )	113
IV-2-4-4-Paramètres génétiques estimés selon le type de génotype par GenAlex v.6.5	114
IV 2-4-4-Analyse de la variance moléculaire (AMOVA)	115
Conclusion	116
<b>Conclusion générale et perspectives</b>	119
<b>Références bibliographiques</b>	123
<b>Annexes</b>	
<b>Article et communications scientifiques</b>	

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

En Algérie, les céréales en général et le blé (dur et tendre) en particulier constituent la principale base du régime alimentaire pour les consommateurs. Elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire (Djermoun ; 2009). Le secteur des céréales occupe une place vitale en termes socio-économiques et parfois politique. Sur le marché mondial, l'Algérie demeure toujours parmi les grands importateurs de céréales en particulier le blé dur et le blé tendre du fait de la faible capacité de la filière nationale à satisfaire les besoins de consommation croissants de la population. En effet, la production locale de céréales ne couvre qu'un peu plus de 30% des besoins du pays (Ammar ; 2014).

La variation des rendements en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) des zones semi-arides d'altitude tire son origine en grande partie des effets des contraintes abiotiques de nature hydrique et thermique (Bouzerzour et Benmahammed ; 1994; Abbassenne *et al* ; 1998). De plus, Les surfaces consacrées à cette culture, n'ont pas évolué depuis longtemps (Smadhi *et al* ; 2009). Face à cette situation, diverses stratégies d'amélioration peuvent être appliquées. Parmi elles, il y a lieu de bien connaître son germoplasme pour pouvoir utiliser ses potentialités. Pour cela, l'étude et la caractérisation des ressources génétiques pour créer de nouvelles variétés ayant une bonne qualité, un rendement élevé, adaptées aux variations climatiques et résistantes aux maladies (Amallah *et al* ; 2016) est primordiale.

L'Algérie est reconnue comme étant un centre de diversité pour plusieurs espèces céréalières dont le blé dur (*Triticum durum* Desf), le blé tendre (*Triticum vulgare* Host), le blé de Pologne (*T. polonicum* L) qui se présente à l'état spontané parmi les cultures de blé et le plus souvent dans les mélanges de variétés de blé dur, le blé Poulard (*T. turgidum* L), l'orge (*Hordeum. vulgare* L), l'avoine (*Avena sativa* L., *A.fatua*, *A.ventricosa* et *A. sterilis* L). (Adamou *et al* ; 2005). Le matériel génétique qui subsiste encore jusqu'à nos jours est disponible dans des collections de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) au niveau de ses différentes stations ; certaines variétés algériennes sont aussi disponibles dans les banques de gènes internationales (France, USA, ICARDA, Russie, CIMMYT...). Actuellement l'exploitation des ressources existantes paraît insuffisante par rapport à la diversité écologique du pays et aux exigences d'une agriculture moderne. En effet, la grande variété des sols et des climats du pays et particulièrement l'importance des zones arides et semi-arides nous incite à la recherche de géotypes adaptés.

## Introduction générale

---

Cependant la caractérisation et l'évaluation des variétés cultivées permettent la sauvegarde et la réhabilitation de ce patrimoine génétique (Chentoufi et *al* ; 2014). Ces étapes permettent aussi d'estimer la diversité existante dans le matériel étudié (Schut et *al* ; 1997), et sont considérées comme un point de départ pour son utilisation dans les programmes de sélection. La capacité d'identifier la variation génétique est indispensable pour une gestion et une utilisation efficaces des ressources génétiques (Rao ; 2004).

Cette diversité peut être estimée sur la base de plusieurs critères dont le phénotype, et à l'aide de marqueurs moléculaires. Traditionnellement, la diversité est évaluée en mesurant la variation des traits phénotypiques. L'étude de ces traits ne nécessite ni méthodes sophistiquées ni équipements compliqués, et ces traits peuvent également être hérités sans techniques biochimiques ou moléculaires spécifiques (Anumalla et *al* ; 2015). Pour très longtemps la caractérisation variétale et l'étude de la diversité génétique du germoplasme de l'INRAT se sont basées essentiellement sur des critères phénotypiques (physiologiques, technologiques et morphologiques) (Chaabane et *al* ; 2011).

L'amélioration de la résistance à la sécheresse dépend de l'identification des sources génétiques pour les traits qui peuvent améliorer la performance sous stress. Les cultivars de blé dans l'Algérie (semi-aride) sont des donneurs potentiels de gènes. Le transfert de ces gènes peut être accéléré par identification de marqueurs moléculaires associée à des traits de résistance à la sécheresse et leur utilisation dans la sélection assistée par marqueurs (Yousfi ; 2009).

Plusieurs types de marqueurs appropriés pour les études de diversité génétique ont été développés ces dernières années. L'apparition de nouveaux marqueurs moléculaires basés sur la PCR, comme les RAPD, les SSR et les SNP, a créé l'opportunité de caractériser génétiquement les collections de matériel génétique qui était auparavant impossible. Puisque les marqueurs basés sur la PCR sont hautement polymorphes (Broun et Tanksley ; 1996) et simples à traiter, ils se traduisent par la génération de quantités relativement importantes de données par unité de temps (Powell et *al* ; 1996). Le niveau accru de variation détecté avec ces marqueurs moléculaires a permis aux gestionnaires de germoplasmes, aux sélectionneurs et aux généticiens de poursuivre avec une nouvelle vigueur les questions importantes liées aux cultures et à leurs ressources génétiques (Bretting et Widrlechner ; 1995), ils sont utiles à la fois dans la recherche basique et appliquée (Newbury et *al* ; 1997).

En effet, l'importance de l'analyse de cette variabilité génétique, se matérialise à travers diverses façons d'exploiter ces données à des fins économiques ou scientifiques. Sur le plan économique, l'utilisation de cette base de données pour répondre aux exigences et aux

## Introduction générale

---

intérêts des agriculteurs permettra de faire face aux stress biotiques et abiotiques. Du point de vue scientifique, ces données constituent pour les sélectionneurs une source de gènes pour la création de nouvelles variétés plus performantes (Amallah ; 2017).

En l'absence d'une collection du blé dur convenablement caractérisée, il est difficilement concevable de développer un programme de sélection variétale qui puisse répondre aux besoins d'un pays soumis à des conditions climatiques aussi diverses. C'est dans ce cadre et dans la perspective de contribuer à l'amélioration et à la gestion de cette ressource génétique importante que notre étude est menée. Les principaux objectifs du présent travail sont:

- Evaluation de Vingt Six variétés de blé dur cultivées en Algérie, sur la base des caractères agro- morphologiques et physiologiques. D'analyser et de comparer les rendements en grain ainsi que leurs composantes dans le but d'améliorer nos connaissances afin d'identifier les cultivars les plus intéressants et les plus prometteurs. Ce type d'études de diversité génétique permet aussi d'évaluer la variabilité existante entre les variétés et d'extraire les caractères les plus discriminants et les plus importants qui peuvent être utiles pour la classification et la caractérisation des variétés du blé dur.
- Caractérisation moléculaire par l'utilisation de deux type de marqueurs moléculaires, RAPD et SSR dans le but d'identification des variations ou des similitudes génétiques ainsi les liens qui existent entre les vingt six variétés. Cette information peut s'avérer très utile pour la gestion des ressources génétiques et leur utilisation raisonnée dans les programmes de sélection. Ainsi la structure de la diversité génétique au sein de deux groupes de variétés anciennes algériennes et les variétés modernes (CIMMYT et ICARDA et italiennes).
- **Le chapitre I** est une revue de la littérature sur le blé dur, sa répartition géographique, son importance, une présentation des ressources génétique de blé dur ainsi les différents types de marqueurs utilisés pour l'analyse de la variabilité génétique, à savoir : phénotypiques, protéiques et moléculaires.

**Le deuxième chapitre** détaille les principales méthodologies utilisées en passant par la description du matériel végétal, le dispositif expérimental ainsi que les techniques utilisées pour l'analyse de la diversité phénotypique et moléculaire.

**Dans le troisième, et le quatrième** chapitre présentent les résultats obtenus et leurs discussions.

# **Chapitre I / Revue bibliographique**

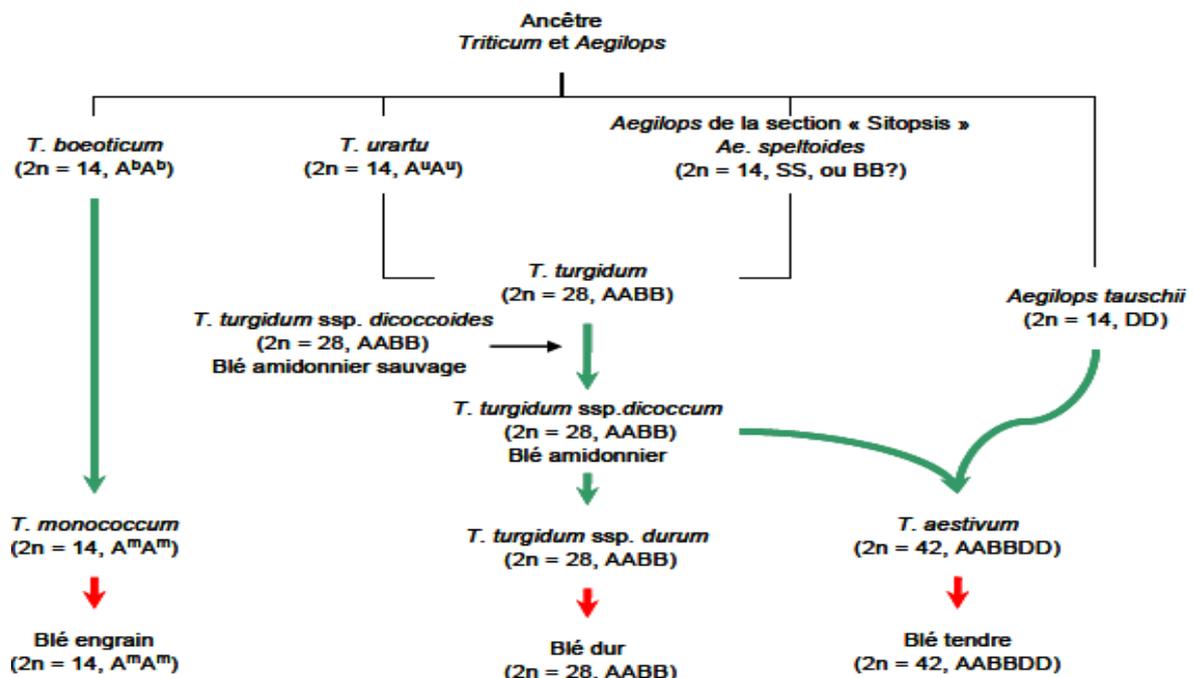
## Chapitre I : revue bibliographique

### I-1-Le blé

#### I-1-1-Origine et histoire

Le blé est une céréale autogame appartenant au groupe des angiospermes monocotylédones, de la famille des *Poaceae*, tribu des *Triticées* et genre *Triticum*. Sont des herbacées annuelles produisant un fruit sec indéhiscent, le caryopse. Le blé dur (*Triticum durum*) est parmi les espèces les plus cultivées dans le monde et en Algérie. Selon Mckee (1968), l'origine génétique du blé dur remonte au croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* et une graminée sauvage du nom *Aegilops speltoides*. Le blé dur *Triticum durum*, appelé ainsi en raison de la dureté de son grain. Le nombre chromosomique de base est de  $2n = 4x = 28$ , hérité du genre *Triticum monococcum* est désigné par A et celui dérivé de l'*Aegilops* est dénommé B, de sorte que *Triticum durum* a une garniture chromosomique désignée par AB (Figure.01).

L'aire de distribution de cette espèce est le sud ouest de l'Asie et les Balkans. Sa domestication, suite aux découvertes archéologiques, remonterait au VII<sup>e</sup> millénaire avant JC. Il était cultivé comme mélange avec l'orge et l'engrain dans l'ancienne Egypte. (Mekhlouf,2009).



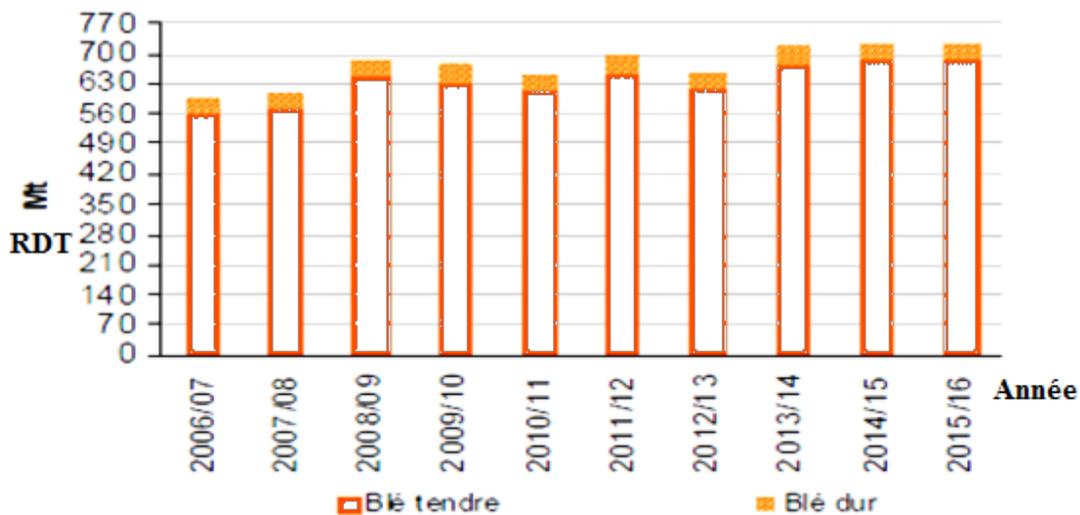
**Figure 01** : Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces de *Triticum* et *Aegilops*. D'après Feuillet *et al.* (2008).

### I-1-2- Production et importance

#### ➤ A l'échelle mondiale

Depuis longtemps, les céréales, notamment le blé est devenu un produit de première nécessité à l'échelle mondiale. Son importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment, il a aujourd'hui, un rôle social, économique et politique dans la plupart des pays dans le monde.

La production mondiale de blé (blé tendre et blé dur) s'inscrit sur une pente croissante au cours de la dernière décennie et progresse de 14 %. Qui plus est, les trois dernières années ont enregistré trois records de production consécutifs (Figure.02). Expliqué par les efforts déployés en matière de techniques culturales et de sélection génétique, ce qui conduit à une amélioration significative des rendements (CIC ; 2016).



**Figure 02** : Evolution de la production mondiale de blé (dur et tendre) (CIC ; 2016).

En termes d'échanges commerciaux des céréales (import/export), l'Afrique s'accapare le quart des échanges mondiaux, dont plus de la moitié (55%) est destinée aux pays du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie et Egypte). Les fournisseurs de ce continent sont essentiellement : l'Union Européenne, les Etats-Unis et le Canada. L'Algérie l'un des pays du Maghreb où la consommation des céréales notamment le blé demeure une base essentielle de l'alimentation, affiche une consommation élevée de blé avec une moyenne de consommation céréalière de 8 millions de tonnes par an dont plus de 5,5 millions tonnes de consommation de blé (Ammar ; 2014).

## Revue Bibliographique

Les deux pays les plus peuplés du monde, à savoir la Chine et l'Inde, sont ceux, après l'Union Européenne, dont les productions augmentent le plus en valeur absolue (en valeur relative, les gains de production sont de 24 % pour la Chine et de 14 % pour l'Inde). Celles-ci ont progressé de manière constante au cours des dix dernières années (Tableau.01). L'autosuffisance alimentaire a longtemps été un objectif pour les autorités chinoises, tandis que les autorités indiennes visent à éradiquer la pauvreté. Ainsi, la surface dédiée au blé en Inde a fortement progressé. Pour la Chine, on constate une hausse des surfaces et une amélioration concomitante des rendements.

**Tableau 01** : Rendement en millions de tonnes de principaux producteurs du blé (CIC ; 2016).

(Mt)	moy 06-08	moy 13-15	var.
total monde	630,0	721,0	+91,1
UE	131,2	152,3	+ 21,1
Inde	74,6	92,8	+ 18,2
Chine	110,1	125,7	+ 15,6
Australie	15,3	24,3	+ 9,1
Ukraine	17,9	24,8	+ 7,0
Canada	24,6	31,0	+ 6,4
Russie	52,7	57,3	+ 4,6
Pakistan	22,0	24,8	+ 2,8
Turquie	16,7	17,8	+ 1,2
Iran	13,3	13,8	+ 0,5
Kazakstan	14,0	13,6	- 0,3
États-Unis	57,7	56,4	- 1,3
Argentine	13,1	11,2	- 1,9

blé tendre et blé dur - source CIC

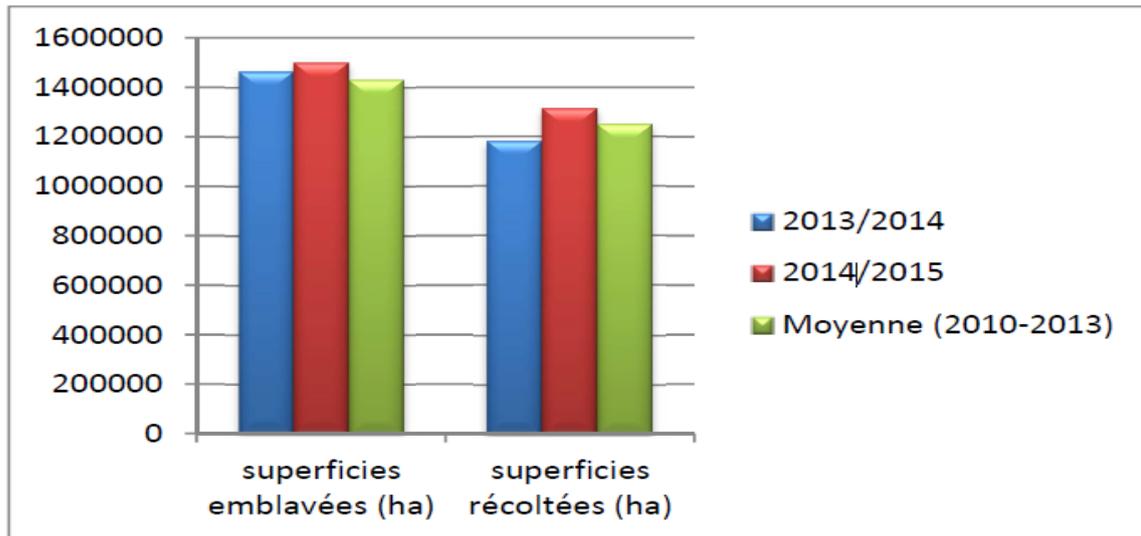
moyenne UE : ramenée à 28 EM sur les deux périodes  
principaux producteurs d'ap moy. 13-15

### ➤ A l'échelle de nationale

La population algérienne est caractérisée par un mode alimentaire basé essentiellement sur la consommation des céréales sous toutes ses formes (pain, pâtes alimentaires, couscous, galettes de pain, etc.). Malgré l'amélioration des productions des céréales en général et du blé en particulier, le secteur agricole est souvent incapable de faire face à la croissance de la demande en blé. Cette croissance de demande est liée essentiellement aux changements des habitudes alimentaires et à l'élévation des niveaux de vie. Avec plus de 203 kg/personne et par an<sup>5</sup>, l'agriculture algérienne est structurellement inapte à satisfaire une demande de plus en plus importante (Boussard et al ; 2011).

## Revue Bibliographique

Les superficies emblavées et récoltées en blé dur ont connu une augmentation de 2,4% et 10,05% respectivement en 2014/2015 comparativement à la campagne 2013/2014 (Figure.03).



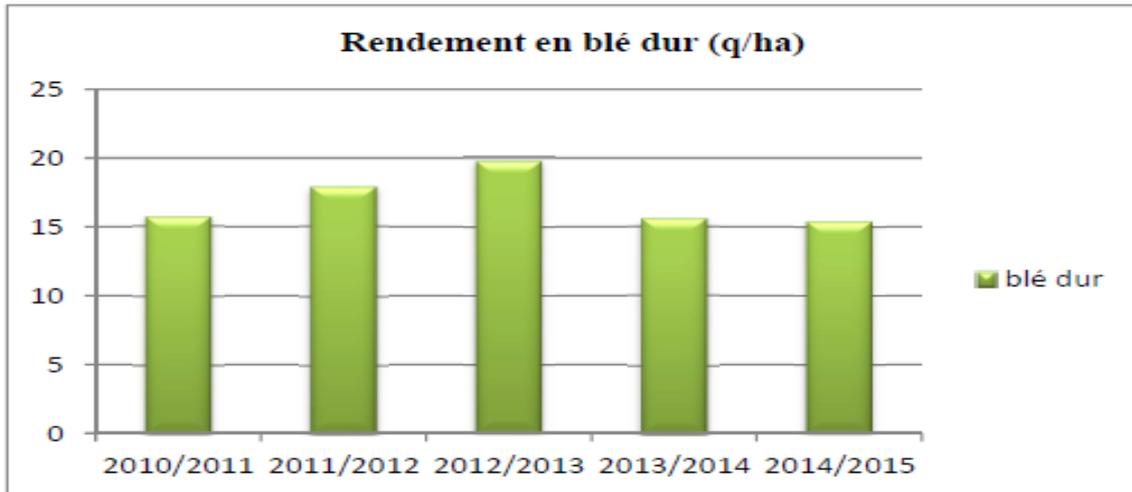
*Source : MADRP*

**Figure 03** : les superficies emblavées et récoltées en blé dur (MADRP ; 2015)

Les rendements en blé dur ont diminué de 1,2% en 2014/2015 (soit 15,4 q/ha) par rapport à la campagne précédente (soit 15,6q/ha). Depuis la production record qui a été enregistrée lors de la campagne 2008-2009 où il a été moissonné 61,2 millions de q. Cette dernière a chuté à 36 millions de q en 2015 (Figure.04). Les céréales restent en grande partie tributaire des conditions climatiques qui n'ont pas été très favorables notamment en période critique qui s'étale entre le mois d'Avril et le mois de Mai.

Par ailleurs, devant cette tendance à la baisse de la production céréalière et l'impératif de réduire les volumes d'importations, notamment du blé dur et tendre, les pouvoirs publics ambitionnent d'augmenter progressivement la production céréalière pour la porter à 70 millions de quintaux en 2019. Cette progression devrait se réaliser à travers, notamment, l'extension des surfaces irriguées, l'intégration de la fertilisation, des semences certifiées et du renforcement de la mécanisation.

Par ailleurs, devant cette tendance à la baisse de la production céréalière et l'impératif de réduire les volumes d'importations, notamment du blé dur et tendre, les



*Source : MADRP*

pouvoirs publics ambitionnent d'augmenter progressivement la production céréalière pour la porter à 70 millions de quintaux en 2019. Cette progression devrait se réaliser à travers, notamment, l'extension des surfaces irriguées, l'intégration de la fertilisation, des semences certifiées et du renforcement de la mécanisation.

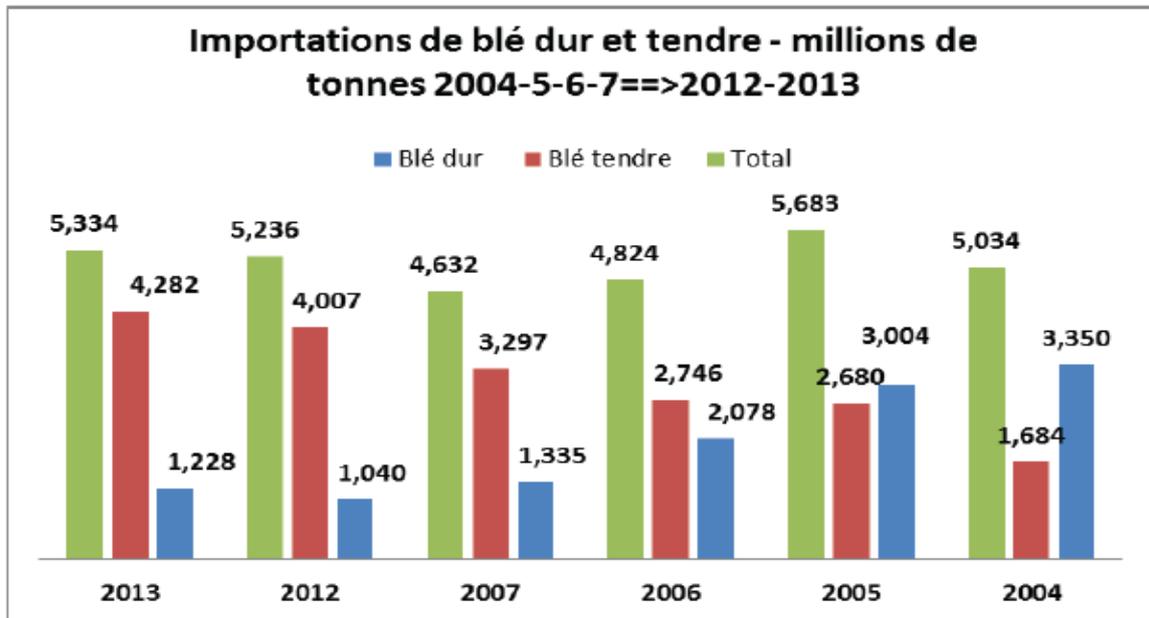
**Figure 04** : Le Rendement blé dur (q/ha) en Algérie ces cinq dernières années

### ➤ Evolution des importations et de la consommation céréalière en Algérie

L'Algérie est l'un des plus importants pays importateur de céréales avec une moyenne d'importation qui atteint 10 millions de tonnes, et le blé représente la moitié des importations.

La consommation annuelle par habitant de céréales, bien qu'elle reste importante, a connu un recul ces dernières 40 années, (Figure.05) passant de 250 kg/an par habitant dans les années 70 à environ de 230 kg/an par habitant. La consommation animale des céréales est assurée essentiellement par l'orge et le maïs utilisés pour la fabrication des aliments de bétail et de ses dérivés. Les besoins de l'Algérie en céréales sont estimés à environ 8 millions de tonnes par an<sup>6</sup>. L'Algérie est l'un des premiers importateurs de blé au monde, notamment de blé tendre, la demande locale reste importante.

Dans les filières stratégiques telles que les céréales, l'augmentation de la production et des rendements est une priorité pour les pouvoirs publics afin de répondre à la demande croissante. Dans cette optique le défi pour la production algérienne de céréales est de hisser le rendement à l'hectare à au moins 30 quintaux/ha durant les cinq prochaines années contre 18 qx/ha en moyenne actuellement et 6 qx/ha en 1962 (Ammar ; 2014).



**Figure 05:** évolution des importations algériennes de blé (tendre et dur) Source : élaboration propre à partir de données collectées à l'OAIC (Ammar ; 2014).

### I-2-Problématique de la production des céréales en Algérie

La céréaliculture en Algérie est pratiquée essentiellement dans les zones semi-aride, occupe des superficies de l'ordre de 2.900.000 à 3.500.000 hectares, dont le un tiers se situe dans les zones dont la pluviométrie > 450 mm/an (Ziza ; 2007).

- **Les pratiques actuelles de notre agriculture se caractérisent par :**
  - Une faible performance : les niveaux de rendements obtenus sont fluctuants et suivent d'assez près les courbes des précipitations avec des pics qui peuvent atteindre 50 qx/ha et des creux de 5 qx/ha.
  - Une forte dégradation de la ressource foncière : un taux très élevé d'érosion, 45 % de la superficie des zones telliennes, soit 12 millions d'hectares sont menacés par l'érosion (Ziza ; 2007).

### - Les causes sont multiples :

- Nature originelle des sols : faible teneur en matière organique < 2%.
- Aléas climatiques: épisodes pluvieux, concentrés et violents favorisant de forts ruissellements et une forte érosion.
- Pratiques agricoles non appropriées: labours intensifs et grossiers exposent la matière organique à une minéralisation rapide
- Absence de stratégie de fertilisation.
- Semis tardif qui exposerait les derniers stades de la culture aux mois les plus chauds et secs.

Ces pratiques sont contraires aux exigences d'une agriculture durable, et par conséquent l'adoption d'une stratégie d'optimisation, de valorisation et de protection des ressources naturelles foncières et hydriques doit s'imposer comme une **préoccupation nationale forte** (Ziza ; 2007).

### -Les contraintes climatiques

La céréaliculture est en effet, exposée tout le long de son cycle de développement à une série de contraintes hydrique et thermique. Le stress hydrique est toujours accompagné et agit en interaction avec d'autres stress abiotiques tels que les basses et hautes températures et l'excès de luminosité (Mekhlouf ; 2009).

En effet le stress hydrique est considéré comme le facteur le plus important limitant la production des céréales. C'est l'un des tout premiers facteurs de limitation des rendements et c'est la première contrainte abiotique qui entraîne des différences non seulement entre les rendements moyen et potentiel mais aussi entre les différentes campagnes céréalières (Sorrells et *al*, 2000).

L'autre contrainte est représentée d'abord par les basses températures caractéristique des climats de type méditerranéen imposent un hiver très froid et pluvieux (Mekhlouf ; 2009). Les dégâts de gel tardif sont très fréquents sur les céréales, rendant l'adoption des variétés précoces trop risquée (Bouzerzour et Benmahammed ;1994). La température journalière intervient à divers moment de la vie du blé dur de la germination jusqu' à la maturité. Selon Gate ;(2008) les conditions thermiques les plus nuisibles sont donc des températures excessives et persistantes entre la floraison et le stade grain laiteux.

De même que l'intensité lumineuse agit directement sur l'intensité de la photosynthèse, sur la résistance des tiges à la verse et sur le rendement. La diminution de la

durée d'éclairement, réduit la hauteur de la plante, alors qu'une insuffisance d'éclairement retarde la floraison et donc l'épiaison (Kara ; 2015).

### **I-3- Concept de biodiversité et étude de la variabilité génétique**

La diversité génétique est la variation qui existe au niveau des gènes d'un individu, d'une population, d'une espèce ou d'une communauté. En d'autres termes, la diversité génétique est définie par le niveau de similarité ou de différence dans la composition génétique des individus, des populations et des espèces. Elle peut donc se mesurer à différents niveaux : de l'individu à la communauté. Cette diversité génétique est extrêmement importante car elle représente le matériel de base sur lequel peut agir la sélection. Elle peut représenter un avantage direct pour une population, la valeur adaptative d'un caractère étant généralement supérieure pour un gène présentant plusieurs états alléliques (hétérozygotie) ou pour une population formée d'individus différents et complémentaires. Elle peut de plus se concevoir comme une assurance permettant l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales. Plus une population ou une espèce est diversifiée génétiquement, plus certains de ses membres arriveront à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement. Les études de diversité génétique ont le potentiel de contribuer à l'avancée de nos connaissances en de nombreux domaines comme la biologie de la conservation, l'écologie des populations et des communautés et la biologie évolutive. (Duminil ; 2006)

La biodiversité agricole fait partie de la biodiversité globale et revêt une grande importance pour deux raisons fondamentales. Premièrement, elle intègre une énorme variété des formes distinctes de vie végétale et vitales pour la sécurité alimentaire. Deuxièmement, la variabilité génétique est la seule source de résistance naturelle aux agressions biotiques et abiotiques auxquelles sont exposées les productions agricoles. De ce fait, la diversité agricole répond à la fois aux besoins immédiats et aux intérêts à long terme des populations (Fadlaoui ; 2006).

Le succès des sciences agronomiques a entraîné la concentration d'un petit nombre de variétés conçues pour la culture intensive et une diminution considérable de la diversité des variétés végétales pouvant servir à la recherche et au développement durable de l'agriculture. Par le passé, les chercheurs comptaient sur les agriculteurs qui préservaient des cultures assez diversifiées pour leur fournir le « nouveau matériel » génétique dont ils avaient besoin. Les sélectionneurs ont de plus en plus tendance à s'appuyer sur un nombre restreint de variétés améliorées. L'homogénéité de l'agriculture moderne menace cette

source de diversité génétique et, partant, met en péril la sécurité alimentaire à l'échelle locale et mondiale.

Il y a un deuxième paradoxe : ces petits agriculteurs traditionnels pourraient bien détenir la clé de la croissance de la diversité biologique et culturelle. Car en luttant pour subsister sur ces sols pauvres et avec des ressources limitées, ces cultivateurs permettent aux variétés végétales d'évoluer. Ils sélectionnent des types de plantes (plutôt que des variétés) en se fondant sur leurs propres observations et selon leurs besoins particuliers. Ainsi, les conditions locales peuvent être favorables à des plantes basses mais robustes, savoureuses, voire une couleur particulière, de la plante à maturité.

Grâce à leurs compétences en phytogénétique fondées sur leur expérience et leur observation plutôt que sur des connaissances scientifiques ils préservent la variation génétique essentielle à l'évolution et à l'adaptation continue des génotypes végétaux. Ils donnent aussi accès à une vaste diversité culturelle qui s'exprime par le savoir local, la langue, les façons d'agir, diverses formes d'association tout aussi importante pour la conservation de la biodiversité (Bellatreche et Gaouar ; 2016). Plus globalement, cette variabilité fournit une sorte d'assurance contre les conditions adverses futures et représente une réserve de ressources potentiellement intéressantes pour l'avenir (FAO ; 1997). Le maintien d'un haut niveau de diversité génétique est donc crucial pour garantir la sécurité alimentaire. La caractérisation physiologique, l'analyse génétique des caractères et la recherche de marqueurs moléculaires pour ces caractères s'avèrent d'une utilité incontournable. La physiologie examine les effets du stress au niveau de la cellule ou de l'organe. La génétique se préoccupe de la variabilité et de la transmission des caractères de tolérance. La biologie moléculaire essaie d'identifier les gènes impliqués dans la tolérance à la sécheresse (El Jaafari et al ; 2001).

### **I-3-1-Ressources phytogénétiques du blé dur**

L'espèce *Triticum durum* s'est répartie dans trois centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la Méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux ; 1991).

Il existe aujourd'hui une grande diversité des blés cultivés à travers le monde, puisque l'on peut dénombrer plus de 30 000 variétés différentes. Si les programmes d'amélioration génétique du maïs, ou encore du riz, font maintenant presque tous appel à la

sélection assistée par marqueurs et/ ou à la transgénèse, ceux concernant le blé s'appuient pour l'instant presque uniquement sur la variabilité génétique des populations locales et des espèces apparentées. Ainsi, le Cimmyt dispose d'un germoplasme important pour le blé qu'il exploite intensivement pour créer, par simples croisements entre blés cultivés et sauvages, des génotypes de blé dits synthétiques, c'est-à-dire n'existant pas dans la nature, permettant de valoriser le réservoir de diversité des blés sauvages, notamment pour des caractères de tolérance à des stress biotiques ou abiotiques. À l'heure actuelle, environ 15 % des croisements réalisés dans les programmes du Cimmyt font intervenir des blés synthétiques (Gaufichon et al ; 2010).

Cette diversification morphologique a été mise à profit en sélection, notamment dans la recherche de gènes intéressants tels ceux qui contrôlent la résistance aux basses températures, plus présents chez les prôles Européens, ceux qui contrôlent la durée du cycle (précocité aux stades épiaison et maturité), chez les prôles Syriens et Jordaniens et ceux contrôlant la grosseur et la vitrosité du grain, chez les prôles Méditerranéens (Monneveux, 1991). Les blés cultivés en Algérie appartiennent pour la presque totalité aux espèces *T. aestivum* L. (blé tendre) et *T. durum* Desf. (Blé dur) .A l'intérieur de chaque espèce on trouve de nombreuses variétés botaniques. En effet, la diversité des blés Algériens a été à l'origine, étudiée à partir des caractères morphologiques. D'autres paramètres tels que la taille, la forme de l'épi, la position des barbes ont été pris en considération afin de distinguer ainsi un grand nombre de populations (Erroux ; 1949).

Ducellier en (1930), a décrit l'ensemble des espèces de blé cultivées en Algérie: les blés durs (avec et sans barbes). Avant l'indépendance, il en comptait vingt-neuf variétés d'origine arabes (Hedba, Mohamed ben Bachir, Bidi). Plus de 30 années après les travaux de Ducellier (1930); Laumont et Erroux (1961) ont mentionné les mêmes variétés cultivées de blé dur à une ou deux exceptions (Abdelguerfi et Laouar ; 2000).

### **I-3-1-1-Efforts de préservation des ressources génétiques des céréales en Algérie**

- Rapatriement de 44 variétés algériennes de blé dur issues de sélection obtenues lors de la période coloniale et conservées dans le centre des ressources phytogénétiques de Beltsville au Maryland(USA) grâce à un programme tripartite (ITGC-Ministère de l'enseignement supérieur et ICARDA).
- Caractérisation des écotypes de blé dur par l'ITGC. en collaboration avec l'université de Constantine.

- Récupération par l'ITGC, à partir de l'USDA (United States Department of Agriculture) de la variété locale *Langlois 1527* collecté par Guy Langlois en 1940 sur le plateau du Sersou à Tiaret.
- Caractérisation par l'INRAA de blés sahariens collectés dans la région d'Adrar.
- Etude par l'ITDAS ('Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne), du comportement variétal des céréales à paille (local et importé) de différentes espèces (Blé Dur, Blé Tendre, Orge) (Adamou et al ; 2005).

### **I-4-Analyse de la variabilité génétique**

#### **I-4-1-Les marqueurs génétiques utilisés dans l'estimation de la diversité**

L'utilisation de la diversité génétique dans un programme de sélection passe inévitablement par son estimation et par le choix du type de marqueur susceptible de la traduire le plus fidèlement possible. Les marqueurs génétiques sont des caractéristiques héréditaires qui renseignent sur le génotype de l'individu qui les porte (De Vienne ; 1998). Trois types sont largement utilisés pour l'évaluation de la variabilité génétique, à savoir les marqueurs morphologiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs de l'ADN.

##### **I-4-1-1-Marqueurs phénotypiques**

Les caractéristiques phénotypiques constituent un outil incontournable dans la classification et la taxonomie des micros et macro organismes et continue, à nos jours, d'être utilisée (Stuessy ; 1990). Elles servent entre autre à repérer d'éventuelle contamination ou encore d'étiquetage ultérieur (konat ; 2007). Plusieurs missions de collecte ont été menées pour caractériser la diversité et la structure génétique des populations locales de blé dur dans les pays du pourtour méditerranéen et en Afrique du Nord et ce depuis 1925 (Vavilov ; 1992). Pour la caractérisation de ces populations, les paramètres agro-morphologiques ont été utilisés (Sahri et al ; 2014, Belhadj et al ; 2015, Zarkti et al ; 2012).

De nombreuses études abordent la diversité sur le plan morphologique : cette étude est la plus spontanée et la plus facilement mise en œuvre a priori. Citons par exemple les travaux de Koebner et Donini (2000), qui évaluent la diversité morphologique et moléculaire d'accessions anglaises d'orge, et de blé entre 1925 et 1995. Les caractères phénotypiques mesurés ou observés sont par exemple la forme des feuilles, le nombre de grains portés par un épi et sa densité, la longueur du premier segment de rachis, la forme des grains, la saison à laquelle la variété vient à maturité (Magali ; 2005)

D'autres travaux se sont basés sur l'évaluation de la résistance des ressources génétiques au stress hydrique. A juste titre les travaux de Bansal et Sinha (1991), Pecetti et al (1993) et Pecetti and Annicchirico (1995) ont porté sur la tolérance des populations de blé dur au stress hydrique, en se basant sur les études des caractères morpho-physiologiques et agronomiques. Les résultats ont permis d'identifier les variétés qui maintiennent un rendement élevé même en conditions de stress hydrique et qui constituent une source de variabilité intéressante pour les sélectionneurs (Mberkani ; 2012).

### **I-4-1-2-Analyse et exploitation des caractères de production et d'adaptation dans les programmes d'amélioration de blé dur**

#### **I-4-1-2-1-Caractères d'adaptation**

La sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) des régions à fortes contraintes hydriques et thermiques a fait peu de progrès du point de vue amélioration du rendement grain et de l'adaptation à l'environnement. Les difficultés résident dans l'identification et la caractérisation des paramètres liés à la résistance aux contraintes climatiques. La caractérisation des mécanismes qui contrôlent la tolérance aux stress et leurs liaisons avec l'adaptation au milieu constitue l'axe de recherche le plus d'actualité (Bahlouli et al ; 2009).

Les évaluations qui ont pour objectif de décrire la diversité génétique font appel à des caractères phénologiques et morpho-physiologiques. Ces caractères fournissent des informations différentes et complémentaires qui nous renseignent sur les caractéristiques de production et d'adaptation. Ils constituent donc le point de départ de l'amélioration génétique dans le domaine des céréales.

Selon les auteurs (Blum ; 1988 et Bagga et al ; 1970) les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont celles qui se caractérisent par une paille haute. Cette tolérance résulterait de l'aptitude à remplir correctement le grain en phase terminale du cycle grâce aux quantités d'assimilats stockées dans la tige et particulièrement au niveau du col de l'épi (Blum ; 1988). Elle s'expliquerait aussi et souvent par le fait qu'une paille élevée est associée à un système racinaire profond capable d'une meilleure aptitude d'extraction de l'eau du sol (Subbiah et al ; 1968)

Longueur du col de l'épi constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique. Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilats stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (Gate et al ; 1990).

Dans le même contexte, des travaux (Blum ; 1985, Febrero *et al* ; 1990) ont également permis de mettre en évidence le rôle considérable joué par l'épi (glumes et barbes) dans la photosynthèse, et donc dans la production d'assimilats concourant au remplissage du grain (Dib *et al* ; 1992).

La précocité à l'épiaison et celle à maturité sont souvent utilisées comme critère de sélection et citées comme mécanismes importants dans l'esquive ou l'échappement des contraintes climatiques. Monneveux (1997) indique que la précocité chez les céréales à paille cultivées en zones méditerranéennes est un mécanisme d'esquive ou d'échappement, qui a d'ailleurs été largement exploité par les agriculteurs et les sélectionneurs ; mais l'augmentation de la précocité n'est toutefois pas sans inconvénients : de nombreux travaux ont montré l'existence d'une relation positive entre longueur du cycle et rendement potentiel et en cas de gels tardifs, les génotypes tardifs ont une plus grande probabilité d'éviter cet accident (Barket ;2005).

Selon Dib *et al.* (1992), la sélection de génotypes précoces permet d'éviter la coïncidence des stades critiques de développement (floraison - maturation) et les stades d'occurrences maximale de certains accidents climatiques (gel, température).

La surface foliaire est un paramètre de sélection est d'une importance majeure dans la sélection des variétés tolérantes et pourrait être considéré plus fiable que la hauteur de la végétation (Ben Naceur *et al* ; 2001). La réduction de la surface foliaire, la glaucescence, la pubescence, l'épaisseur et l'enroulement des feuilles sont des caractères propres à la feuille qui jouent aussi un rôle dans l'adaptation de la plante vis-à-vis de la sécheresse.

Un programme de sélection, mené en Australie, a permis la sélection, grâce à l'utilisation de la discrimination isotopique du processus photosynthétique comme critère phénotypique, de blés présentant à la fois une conductance stomatique et une efficacité de l'eau élevées (Rebetzke *et al.*, 2002) conférant des gains de rendements appréciables en conditions particulièrement sèches.

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. La TRE figure parmi les différents critères d'évaluation de la tolérance à la sécheresse proposés par Clarke et MC Caig (1982). Plusieurs auteurs cités par Bousba. (2012) suggèrent que les génotypes qui arrivent à maintenir une TRE élevée malgré le stress sont des génotypes tolérants.

Divers mécanismes physiologiques sont utilisés par la céréale pour s'adapter à son environnement. Le stockage des substrats carbonés dans le col de l'épi et leur transfert

pour aider à un meilleur remplissage du grain, la thermostabilité cellulaire, la vitesse de remplissage du grain ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain sont autant d'indicateurs des capacités physiologiques d'adaptation (Fellah *et al* ; 2001).

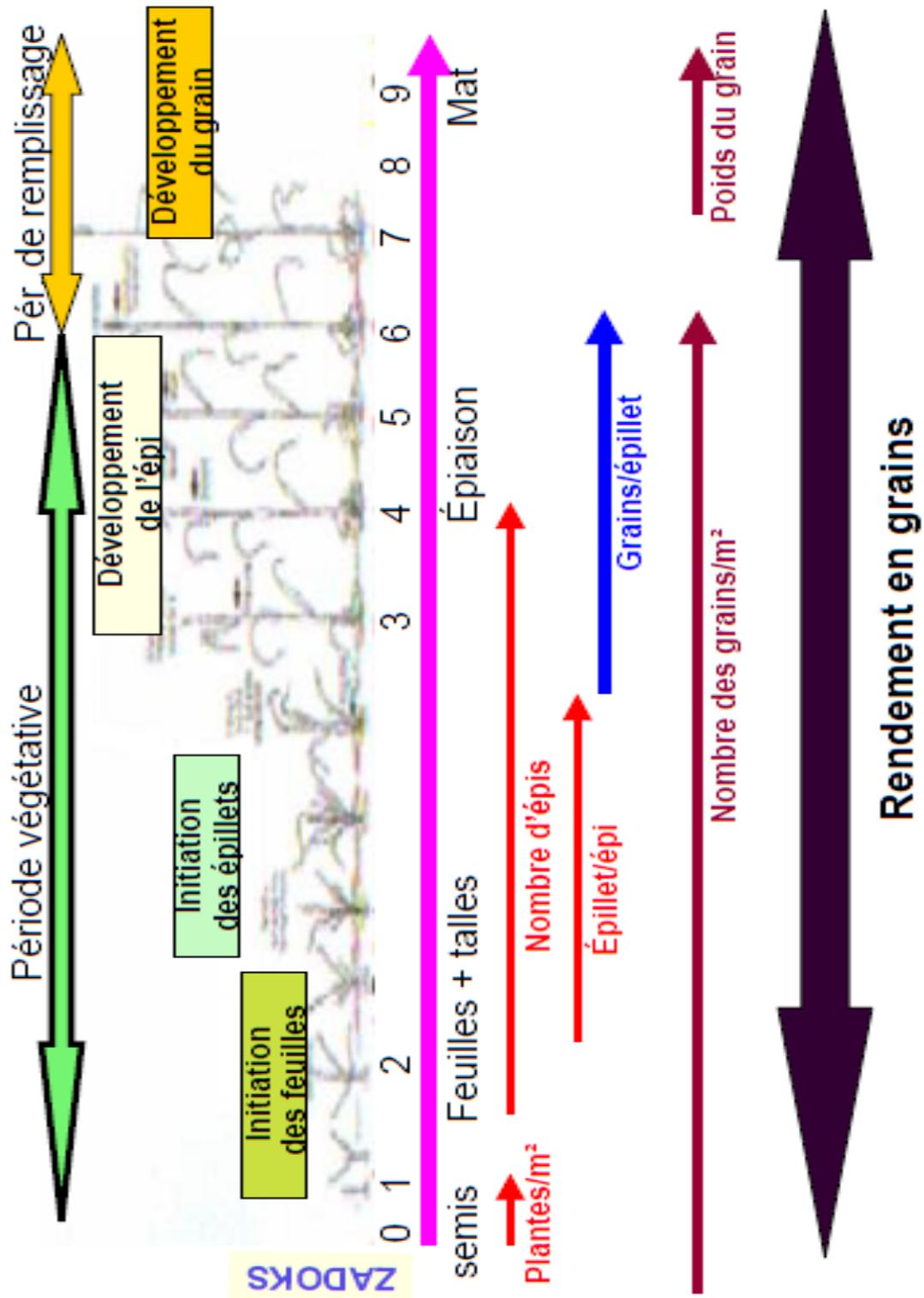
### **I-4-1-2-2-Etudes de caractères de production**

Le rendement s'élabore tout au long du cycle de développement de la plante (Couvreur et Masse ; 1983, Amboulet *et al* ; 1983) ; c'est le résultat de l'interaction d'un certain nombre de composantes et de nombreux effets physiologiques qui se forment successivement ou simultanément durant le cycle végétatif, entre lesquels des phénomènes de compensation interviennent (Ingoat et Couvreur ; 1979). La part de chaque composante dans l'élaboration du rendement dépend du génotype ainsi que des conditions du milieu. . De nombreux travaux relatifs aux liaisons entre différentes composantes du rendement ont été réalisés (Bouzerzour et Benmahamed ; (1991), Belkharchouche *et al* ; (2009), Bahlouli *et al* ; (2009), Fellah *et al* ; (2002)).

#### **a. Elaboration de différentes composantes de rendement**

La prolifération des talles constitue la première phase du processus de développement, la faculté de tallage est fonction de l'humidité et de la température.

L'initiation des primordiaux floraux au cours d'une croissance végétative rapide provoque une compétition vis-à-vis de ressources limitées entre les organes floraux et végétatifs (Figure.06). Plus tard, le remplissage du grain est maintenu par une haute contribution d'assimilation avant et immédiatement après l'anthèse en plus de la remobilisation des réserves végétatives pendant la croissance du grain (Sayar *et al* ; 2007).



**Figure 06:** élaboration de différentes composantes de rendement au cours du cycle végétatif (Sayar et al ; 2007)

Deux composantes déterminent le rendement grain chez les céréales : le nombre de grain par unité de surface et le poids du grain. L'élaboration de ces deux composantes se déroule en des périodes et phases dont l'étude se révèle d'importance capitale. Chez le blé, la phase de croissance du grain conditionne en large partie le rendement grain final à travers son action sur le poids du grain (Erchidi et *al* ; 2000)

Bouzerzour et Benmahamed (1994), ont observé une corrélation positive et très significative entre le rendement et le nombre de grain par épi, et également avec le nombre d'épis par m<sup>2</sup>. Les génotypes produisant plus de grains/m<sup>2</sup>, se distinguant par un indice de remplissage élevé, sont plus efficaces du point de vue utilisation de l'eau. De tels génotypes sont plus désirables en milieux favorables qu'en milieux non favorables à l'expression du potentiel productif (Fellah et *al* ; 2002).

Selon Abbassenne et *al* (1997), les meilleurs rendements en grains de blé dur en zones semi arides ainsi les travaux de Oudjani (2009) en régions méditerranéennes sont le résultat de la capacité génétique à produire plus d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité. Nachit et *al*, (1993) affirment que le poids moyen de grains joue un rôle important dans la détermination du rendement grains dans les environnements secs.

Le nombre de talles par plante est un caractère variétal, qui, en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel de production des variétés (Ben Naceur et *al* ; 1997).

### **I-4-2-1-Marqueurs biochimiques**

Le polymorphisme enzymatique et protéique permet d'estimer le degré d'adaptation des espèces à de nouvelles conditions. D'autres objectifs (étiquetage, sélection d'hybrides,...) peuvent être atteints par l'étude de la variation des enzymes et des protéines où l'identification variétale constitue le domaine d'application majeur. La majorité des travaux déjà faits dans ce domaine utilisent surtout les protéines de réserves du grain. Ainsi, plusieurs génotypes d'orge et de blé ont pu être identifiés par les profils électrophorétiques des protéines (Aouad et *al* ; 1996). Ils sont mis en évidence par électrophorèse, sur la base des propriétés de migration des protéines, et révélés par la coloration histochimique spécifique des enzymes qui sont analysées. Les protéines ont l'avantage d'être plus nombreuses que les marqueurs morphologiques, mais dépendent également de l'organe considéré (Devienne ; 1998).

Plusieurs techniques électrophorétiques ont été développées et améliorées pour l'identification et l'analyse génétique des protéines de réserve, telles que les techniques de

SDS-PAGE pour caractériser les sous-unités de gluténine de haut et de faible poids moléculaires (Singh et *al* ; 1991) , et la technique A PAGE pour caractériser les différentes sous unités de gliadine (Lafiandra et Kasarda ;1985). L'identification variétale par l'analyse des prolamines est possibles, car ces protéines sont produites par une transcription et une traduction directe des gènes, donc elles reflètent directement le génotype et peuvent être utilisées pour étudier la phylogénie. L'utilisation des techniques monodimensionnelles pour la séparation des protéines de gluten chez les céréales est recommandée pour l'identification, la caractérisation et l'étude de la pureté variétale (Babay et *al* ; 2014).

Les limitations majeures à l'emploi des isozymes sont le faible nombre de locus susceptibles d'être révélés (rarement plus de quelques dizaines) et la spécificité de l'organe analysé. De plus, les marqueurs biochimiques sont soumis à l'influence de l'environnement. En conséquence, la capacité d'utiliser un marqueur pourra varier selon l'environnement dans lequel la plante aura été cultivée, une situation qui est évidemment indésirable.

### **I-4-3-1-Marqueurs moléculaires**

Ces dernières années, l'utilisation de marqueurs moléculaires en identification variétale a connu un développement spectaculaire. Les marqueurs moléculaires offrent en effet l'opportunité de contourner les difficultés liées aux observations morphologiques en identifiant des variétés directement à partir de leur ADN (empreintes génétiques). L'ADN est présent et identique dans chaque cellule de chaque organe d'une plante; les marqueurs moléculaires offrent la possibilité de travailler à partir de n'importe quel organe: feuille, tubercule. De même, l'ADN ne se modifie ni en fonction du stade développement de la plante, ni au cours des saisons et les conditions dans lesquelles la plante est cultivée ne l'affectent pas (Mingeot et *al* ; 2005).

Un marqueur moléculaire est un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte. Un bon marqueur doit être à hérédité simple, multi- allélique et co-dominant. Les marqueurs moléculaires correspondent donc au polymorphisme révélé au niveau de l'ADN. L'analyse de ce polymorphisme par les techniques de biologie moléculaire s'adresse à l'ensemble du génome, qu'il soit ou non traduit en protéines, et est indépendante des conditions de l'environnement. En outre, le nombre de marqueurs observables est théoriquement illimité et le génotype d'une plante peut être déterminé à un stade très précoce, aussitôt que le matériel est disponible pour l'extraction de l'ADN. (Najimi et *al* ; 2003).

Actuellement, les marqueurs moléculaires accordent aux améliorateurs la technique pour identifier les loci qui contrôlent la tolérance à la sécheresse et à d'autres caractères agronomiques.

Parmi l'ensemble des techniques disponibles, il faut distinguer celles qui permettent de mettre en évidence une variabilité dispersée dans tout le génome de celles qui permettent de révéler une variabilité à des endroits plus limités du génome et pas de séparer les hétérozygotes d'une des deux classes homozygotes.

Un marqueur co-dominant offre plus de souplesse au sélectionneur car il peut être utilisé efficacement à toutes les étapes du cycle de sélection. Le coût de suivi d'un gène est diminué avec un marqueur co-dominant car une fois que l'allèle recherché est fixé à l'état homozygote, il n'est pas nécessaire de répéter le test à la génération suivante. Un marqueur dominant n'est pas simple à utiliser si le schéma de sélection entraîne de l'hétérozygotie. La contrainte est différente en fonction de la valeur génétique de la classe homozygote qui se confond avec la classe hétérozygote (Manès; 2005).

Il faut également distinguer parmi ces techniques celles qui nécessitent uniquement une extraction de l'ADN des individus étudiés de celles qui nécessitent une amplification *in vitro* d'une portion définie d'ADN par PCR (polymerase chain reaction).

### **I -4-3-1-1- Caractéristiques des principaux types de marqueurs moléculaires employés chez les céréales**

De nombreux marqueurs moléculaires ont été mis à la disposition des chercheurs, et de nouveaux sont régulièrement décrits. Vu l'impossibilité de dresser une liste exhaustive de la totalité de ces marqueurs, nous décrivons un certain nombre de marqueurs qui sont ou ont déjà été les plus utilisés chez les céréales : RFLP («Restriction Fragment Length Polymorphism»), SSR («Simple Sequence Repeats»), RAPD («Random Amplified Polymorphic DNA») et AFLP («Amplified Fragment Length Polymorphism»). SNP (single nucléotide polymorphism) (Tableau.02).

## Revue Bibliographique

**Tableau 02 :** Tableau récapitulatif des marqueurs moléculaires les plus utilisés pour l'étude de la diversité (Lamara ,2010)

<b>Caractéristiques</b>	<b>RFLP</b>	<b>SSR</b>	<b>RAPD</b>	<b>AFLP</b>	<b>SNP</b>
<b>Qualité d'ADN</b>	haute	moyenne	haute	moyenne	haute
<b>PCR</b>	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Codominance</b>	Oui	Oui	Non	Non	Oui
<b>Type de polymorphisme</b>	Insertion- délétion- substitution	Insertion	Plutôt substitution- quelque insertion	Plutôt substitution	Insertions, délétions, duplications, réarrangements
<b>Polymorphisme mis en évidence</b>	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
<b>Facilité</b>	Difficile	Facile	Facile	Facile	Facile
<b>Automatisation</b>	Faible	Grande	Grande	Moyenne	Grande
<b>Reproductibilité</b>	Grande	Elevé	Faible	Elevé	Elevé
<b>Cout par analyse</b>	Elevé	Faible	Faible	Moyen	Faible

### ➤ *SSR (Simple Sequence Repeat)*

Les microsatellites, « nés » en 1989, sont des séquences constituées de répétition en tandem de mono, di ou trinuécléotides répétés de 10 à 20 fois en moyenne. Les plus courants sont (A)<sub>n</sub>, (TC)<sub>n</sub>, (TAT)<sub>n</sub>, (GATA)<sub>n</sub>, etc. Leur valeur de "n" peut aller de quelques unités à plusieurs dizaines. Ces séquences sont très nombreuses et bien réparties sur le génome ; elles présentent un polymorphisme important dû à la variabilité du nombre de répétitions selon les allèles. Chaque locus est défini de façon unique par considération de ses séquences flanquantes ; la migration des fragments amplifiés se fait sur gel d'acrylamide de haute résolution, qui permet de distinguer des allèles dont la taille ne diffère que de 2 bases seulement (Magali ; 2005). Un microsatellite donné peut être présent en des milliers d'exemplaires dans le génome d'une espèce. Chez les végétaux supérieurs, on estime qu'il y aurait en moyenne un microsatellite di-nuécléotidique tous les 30 à 100 kb (Boutista Salas ; 2009). Les fragments PCR sont séparés par électrophorèse et une différence de la taille du microsatellite amplifié se traduit directement par une variation de la distance de migration (Figure.07). Les chances de détecter du polymorphisme entre les

## Revue Bibliographique

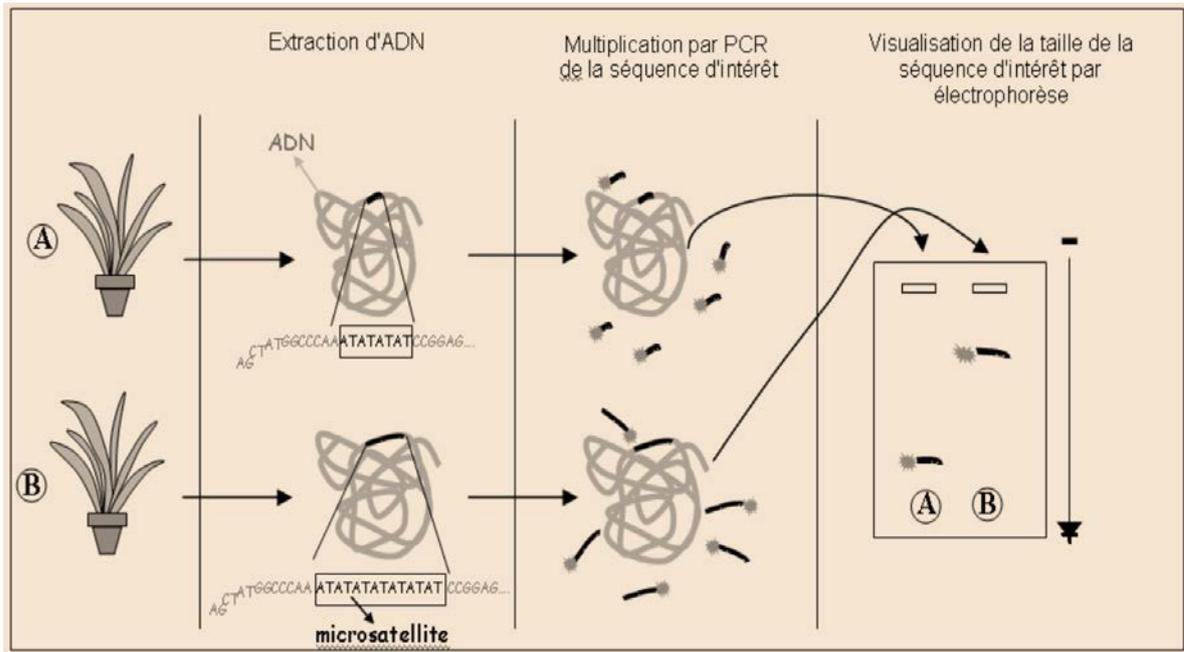
---

génotypes varient selon plusieurs facteurs. Thuillet *et al.* (2004) ont montré en testant 99 marqueurs SSR sur 7 lignées de blé tendre que le taux de polymorphisme est lié à la longueur des allèles, la nature des motifs (CA versus CT), la structure des locus (parfait ou imparfait) et la position sur le chromosome.

Les microsatellites chez le blé hexaploïde sont plus variables quand les allèles ségrégeant sont parfaits et composés d'un grand nombre de répétitions. Les locus localisés dans les régions distales des chromosomes, qui présentent des niveaux de recombinaison élevés, ont une taille d'allèle plus longue et sont plus polymorphes que ceux des régions proximales. Désormais, il existe plus de 300 marqueurs microsatellites déposés dans « GenBank » dont plus d'une centaine a été publiée. Ils ont été largement utilisés pour des études de parenté (Taris ;2005) ou de construction de cartographies génétiques car leur atout majeur est le nombre moyen élevé d'allèles à un locus (>30), leur simplicité d'utilisation, leur fort taux de polymorphisme et leur capacité d'analyse à moyen débit ont permis aux microsatellites (SSRs) de remplacer progressivement les marqueurs RFLP en génétique du blé.

Par ailleurs, plusieurs travaux sur la diversité génétique de blé dur ont été publiés utilisant ces marqueurs dont (Zhang *et al* ;2002 , Naghavi *et al* ;2004 , Maccaferri *et al* ;2003 , Yildirim *et al* ;2011 , Drikvand *et al* ; 2013 , Kuleung *et al* ; 2006 , Islam *et al* ;2012)

Lorsqu'un polymorphisme est observé, on ne peut donc pas savoir quelle est son origine sans expériences complémentaires. Sur le plan génétique, cette ambiguïté n'a aucune importance, l'essentiel étant d'avoir accès à des locus polymorphes, quelle que soit l'origine de ce polymorphisme (Devienne ; 1998).



**Figure.07 :** Principe d'utilisation d'un marqueur moléculaire de type microsatellite en identification variétale (Mingeot et *al* ; 2005).

### ➤ Les RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA)

La technique RAPD (Williams et *al* ; 1990), consiste en l'amplification par PCR de fragments de l'ADN génomique en utilisant des amorces arbitraires de taille courte (10 pb). Une amorce RAPD permet généralement l'amplification d'une dizaine de fragments correspondant à des locus dominants. Les produits d'amplification sont généralement visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose. Le polymorphisme décelé est dû à des mutations soit dans les régions amplifiées soit au niveau des sites de fixation des amorces. Le polymorphisme révélé est un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorce. Les amorces constituent donc les marqueurs (Figure.08). Cette technique est simple, rapide et ne nécessite ni un marquage radioactif ni une connaissance préalable de la séquence nucléotidique. Néanmoins, la RAPD manque de reproductibilité puisqu'elle est très sensible à la concentration de l'ADN et aux conditions d'amplification (Najimi et *al* ; 2003).

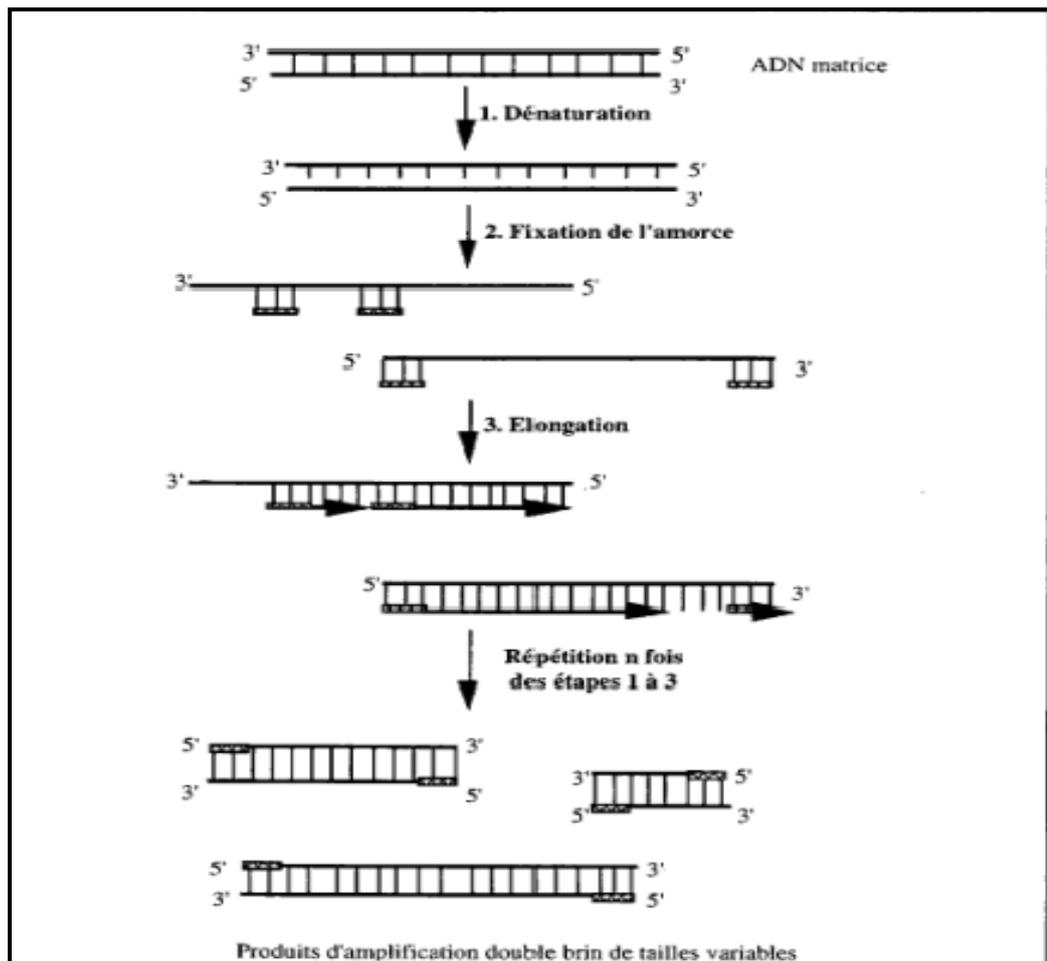
L'utilisation d'un seul oligonucleotide décimère favorise la génération de plusieurs produits d'ADN et sont considérés comme proviennent de différents loci génétiques. Le polymorphisme résulte de mutations ou de réarrangements soit au niveau de la liaison de sites de fixation d'amorces sites et ils sont détectés comme la présence ou l'absence d'une

## Revue Bibliographique

bande RAPD particulière. Cela signifie que les RAPD sont des marqueurs dominants (Senthil Kumar et *al* ; 2011).

La RAPD a été largement utilisée car il ne nécessite aucune sonde d'ADN et aucune information de séquence pour la conception d'amorces spécifiques. Elle permet également des approches rapides et efficaces pour détecter le polymorphisme au niveau de l'ADN, l'évaluation de la diversité génétique et la parenté dans les accessions, les cultivars et les espèces, et l'étude des relations phylogénétiques.

Les marqueurs RAPD ont été utilisés chez plusieurs espèces pour l'analyse de la diversité génétique, la caractérisation de ressources génétiques, l'identification de cultivars et la cartographie des génomes. Chez les céréales, ces marqueurs ont été utilisés pour déterminer la diversité génétique (Shende et Walunj ; 2013, Mahdjoub et *al* ; 2012, Aydogan et *al* ; 2012), en cartographie génétique (Dâvila et *al* ; 1999) et pour l'identification de cultivars (Tinker et *al* ; 1993).



**Figure 08:** Modèle général d'analyse RAPD (Tagu; 1999).

### ➤ Les marqueurs AFLP

Développée par Vos *et al* ; (1995), cette technique utilise à la fois les enzymes de restriction et l'amplification PCR. Après la digestion de l'ADN génomique par deux enzymes de restriction, des adaptateurs de séquence connue et spécifiques des deux sites de restriction sont ajoutés aux extrémités des fragments de restriction. Une fois que les fragments de restriction sont ainsi bordés de séquences connues, il devient possible de les amplifier par PCR. Grâce à l'emploi d'amorces sélectives qui ne peuvent amplifier qu'une petite portion des milliers de fragments de restriction obtenus, seule une centaine de fragments sont amplifiés. Ces fragments sont séparés par électrophorèse sur gel de polyacrylamide dénaturant. Le polymorphisme révélé (de type présence ou absence de bandes) est provoqué par des changements dans les sites de restriction ou les régions bordantes. Plusieurs techniques de génotypage dérivent de la technique AFLP. Deux d'entre elles, l'ADNc-AFLP et la SSAP («Sequence-Specific Amplification Polymorphism») détectent le polymorphisme présent au niveau des gènes.

Les marqueurs AFLP sont des marqueurs bialléliques dominants (Vos *et al* ; 1995), et génèrent un grand nombre de bandes polymorphes. Ils sont aussi extrêmement reproductibles et aucune information préalable de séquence ou génération de sonde ne sont nécessaires ce qui les rend très utiles pour créer rapidement des cartes génétiques. Toutefois, la dominance et les difficultés techniques liées au marquage par AFLP limitent son utilisation à grande échelle pour des applications comme la sélection assistée par marqueurs.

La technique AFLP est largement utilisée dans le domaine végétal en tant que technique d'empreintes génétiques hautement informatives et permet de comparer des génotypes génétiquement très proches. Elle connaît aussi une large application dans l'identification des cultivars et la détermination de leurs relations phylogénétiques, la cartographie des génomes et la saturation d'une région du génome au voisinage d'un gène en vue de son clonage (Zhu *et al* ; 1998).

Les marqueurs AFLP ont été utilisés chez le blé dur canadien pour l'étude de la diversité de (Soleimani *et al* ; 2002). D'autres travaux ont été réalisés sur un germoplasme de blé dur cultivé dans le bassin méditerranéen afin d'étudier les relations phylogénétiques entre les cultivars. Les résultats indiquent que la variabilité génétique du blé dur italien et espagnol semble avoir été maintenue tout au long du processus de reproduction au cours du siècle dernier (Martosa *et al* ; 2005).

### ➤ **RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphism**

Le principe repose sur la comparaison de profils de coupure par les enzymes de restriction, suite à l'existence d'un polymorphisme dans la séquence d'une molécule d'ADN par rapport à une autre. Des mutations apparaissant sur une séquence d'ADN reconnue par enzyme de restriction vont provoquer des longueurs de fragments de restriction différents. L'ADN est donc digéré par une ou plusieurs enzymes de restriction. Sont en suite séparés sur gel d'acrylamide ou d'agarose en présence de marqueur de poids moléculaire. Le polymorphisme de longueur des fragments de restriction observé est utilisé comme critère d'identification (Tagu ; 1999).

Ce type de marqueur est codominant si le nombre d'enzymes utilisées est faible et s'il y a peu de sites d'hybridation de la sonde dans le génome. En faisant agir simultanément plusieurs enzymes de restriction, on étudie le polymorphisme à autant de sites particuliers qui se répètent tout au long de la molécule d'ADN.

Cette technique a été utilisée chez le blé (*Triticum*, *Aegilops*) par Gill *et al*, (1992), chez le blé dur par (Autrique *et al* ; 1996. Altintas *et al* ; 2008). Cette méthodologie, malgré le progrès présenté dans l'identification et amélioration des variétés, semble devoir être remplacée dans certain nombre de cas par les méthodes d'amplification d'ADN (PCR) et leur adaptation à l'amélioration des plantes plus rapides plus enzyme Taq polymérase. (konat ; 2007).

### ➤ **SNP (single nucléotide polymorphism)**

Les marqueurs SNP, comme leur nom le suggère, sont des différences d'une seule base dans la séquence d'ADN. Le polymorphisme de ce type est très abondant chez les plantes et des travaux récents chez l'orge suggèrent que de tels polymorphismes sont détectés à tous les 240 pb en moyenne (Duran *et al* ; 2009). Au-delà de leur grand nombre, c'est aussi l'existence de plateformes de génotypage SNP à haut débit qui justifie l'intérêt grandissant pour ces marqueurs (Nguyen ; 2012).

La raison principale qui explique la grande popularité des SNPs dans l'analyse génétique est qu'ils sont présents en grand nombre, qu'ils ont un faible taux de mutation, en plus, ils sont mieux répartis dans le génome que les microsatellites, augmentant la possibilité de trouver des marqueurs proches des locus d'intérêt (Snoussi ; 2012).

La détection de SNP à grande échelle est limitée par la nature de la polypléidie et la forte similarité de séquence entre les trois génomes homologues dans le blé. Un nombre

relativement faible de marqueurs SNP sont maintenant disponibles dans le blé en raison de la complexité du génome (Xin et al ; 2015).

### **I - 5-Mesures de la diversité**

Les données obtenues relatives à la caractérisation et à l'évaluation font souvent l'objet de traitement statistique et sont publiées (thèses, des rapports internes et des articles scientifiques dans des revues nationales et internationales).

Ces données résultant de l'évaluation permettent de connaître les potentialités du matériel végétal collecté en vue de son utilisation dans des programmes d'amélioration et/ou de développement en milieu producteur (INRAA, 2006).

Aucun système d'informations homogène n'est utilisé par les instituts pour stocker, gérer ou analyser les données de caractérisation et d'évaluation. L'information est stockée sous différentes formes (supports écrits, numériques).

La description et la mesure de la diversité génétique sont des préalables indispensables à la définition de stratégies d'amélioration ou de gestion des ressources. Le généticien est, en mesure d'apprécier cette diversité tant au niveau agronomique qu'à plusieurs niveaux moléculaires et divers outils mathématiques lui permettent de valoriser les informations recueillies. Dans cette optique, la spécificité de l'information apportée par chacun des niveaux d'analyse de la variabilité est examinée. Le point est fait sur l'utilisation en sélection de différents outils d'évaluation de la variabilité génétique (indices de distance, indicateurs de divergence, analyses multidimensionnelles).

#### **I-5-1-Distance génétique**

Une autre approche de l'étude de la différenciation génétique entre des individus est l'analyse du degré de similitude entre eux. La distance génétique quantifie le degré de divergence génétique entre unités taxonomiques (populations, espèces, ...) prises deux à deux.

Le choix d'une mesure appropriée pour évaluer la diversité génétique et déterminer les relations entre les individus dans une population ainsi que l'utilisation d'une méthode statistique appropriée sont aussi importants que le choix du marqueur utilisé. Les mesures de similarité (S) et les distances génétiques (D) sont les plus généralement utilisées. Ces mesures servent à mesurer la ressemblance ou la dissemblance entre deux individus et on peut passer de l'une à l'autre par une simple transformation linéaire où  $D = 1 - S$  (Lamara ; 2010). De très nombreux indices de distance ont été identifiés sur les

données binaires et la plupart varient de 0 à 1. Parmi les plus utilisés, nous mentionnerons les coefficients (Jaccard, Dice et simple matching) (Kosman et Léonard ; 2005).

### **I-5-2-La phylogénie (pedigree)**

La phylogénie consiste à reconstruire des arbres représentant des relations de parenté supposées entre êtres vivants à partir d'observations sur un échantillonnage de taxons terminaux (espèce ou genre le plus souvent). Cela peut se faire sur des organismes actuels ou fossiles (Morlon et *al* ; 2011, Quental and Marshall ; 2010). L'arbre phylogénétique est un ensemble de points de branchements. Chaque niveau est représenté par un nœud. Il est possible d'obtenir une estimation de la variabilité génétique en utilisant uniquement les liens de parenté entre individus de la population. En effet, il existe un lien entre les paramètres calculés à partir du pedigree de la population et la diversité génétique (Bouffier ; 2007).

La phylogénie moléculaire, couplée avec l'informatique, a permis le développement de nouvelles méthodes d'analyses en faisant appel à des algorithmes complexes exécutés par des logiciels spécialisés. Les modèles d'évolution de séquences ont permis l'amélioration des méthodes de distance génétique.

Le pedigree peut être utilisé pour prévoir des potentiels de performance ou d'adaptation, pour calculer un coefficient de parenté entre deux lignées ou individus, pour guider le choix des parents en vue de croisements, ou encore pour suivre la transmission des variantes d'un gène spécifique.

Diverses méthodes d'analyse de la structure sont disponibles mais la plus simple est celle qui utilise l'algorithme UPGMA («Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages»), qui génère un seul arbre à partir d'une matrice des distances génétiques. Pour réduire l'information d'un ensemble de données multidimensionnelles à seulement deux ou trois axes, les techniques d'Analyse en Composantes Principales (PCA) et d'Analyse en Coordonnées Principales (PCoA) sont utilisées pour visualiser les relations entre les lignées. De nombreux programmes d'analyse phylogénétique peuvent être utilisés (PHYLIP, NTSYS, Arlequin,...) (Lamara ; 2010).

## **Chapitre II / matériel et méthodes**

## II-1-Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de 26 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de diverses origines (Tableau 03).

**Tableau. 03** ; Nom et pedigree des génotypes utilisés dans l'étude

N°	Variétés ou lignées	Historique	Pédigrée	Origine
2	MEXICALI (Aribs)	GDOVZ469/3/JO//61.130/LDS	CM 470-1M-3Y-0M	Mexique
8	CAPEITI 8	Cappelli/Eiti		Italie
9	WAHA	PLC"S"/RUFF"S"/GTA"S"/RTTE" S"	CM17904	Mexique/Algérie
23	CHEN 'S'	SHEARWATER/YAVAROS 79		Mexique/Algérie
33	HOGGAR = VITRON	TURCHIA77/3/JORI"S"/ANHINGA "S"/FLAMINGO"S"		Mexique/Algérie
38	TELL 76	CR"S"/F3TUN//AA"S"/3/FG"S"	CM10200-1BK	Mexique/Algérie
39	TASSILI =RABI/FG	RABI"S"/FGO"S"	CM10162-76M-4Y-0M	Mexique/Algérie
54	COCORIT C 71 (Righa)	RAE/4*TC60//STW63/3/AA"S"	D27617-18M-6Y-0M	Mexique
79	T.POLONICUMxZB	T.Pol//Zenati/Bouteille 13953		Algérie
82	MOHAMED BEN BACHIR 8037	estimé à Sétif Nord cultivé et propagé à Ouled Hamla (OEB)		Algérie
83	MONT PELLIER	V. Population		Algérie
84	HEDBA-03	V. Population (sélection de Ducellier)		Algérie
85	BIDI 17	Sélection obtenue à la ferme école de Guelma par M. Perrot dans les populations locales de Bidi)		Algérie
86	OUED ZENATI 368	V. Population (tiré des Bidi de la région d'Oued Zenati)		Algérie

## Matériel et méthodes

<b>88</b>	DJENNAH-KHETIFA	V. Population		Algérie
<b>89</b>	GUEMGOUM RKHEM	V. Population		Algérie
<b>90</b>	GLOIRE DE MONT GOLFIER (Rahouia 80)	V. Population	(mélange de formes lisses var.erythromelan Korn et velues (var. <i>apulicum</i> Korn)	Algérie
<b>91</b>	BELIOUNI	V. Population	<i>T.durum</i> Desf. Var. <i>erythomelan</i> Korn)	Algérie
<b>92</b>	GTA/DUR69...	CR/4/T.POL.185309//T.GLE/2*TC6 0/3/GLL	D31725 (HRN-0Y-6M- 0Y)	Mexique/Algérie
<b>93</b>	SIMETO	Capeiti 8/Valnova		Italie
<b>99</b>	YAVAROS-79 = ( Sooty-3/Rascon-37)	JP/AA//Fgo	CM99790-0TVN	Mexique/Algérie
<b>107</b>	Boussellem	Heider/Marte//Huevo de oro	ICD86-0414-Abl-Otr- 4AP-Otr-14AP-Otr.	Mexique/Algérie
<b>115</b>	Ofonto	Appulo/Valnova		Italie
<b>123</b>	Achouri	Mrf1/Stj2//Gdr2/Mgn1		ICARDA/Algérie
<b>129</b>	Sigus	Ter-1/3/Stj3//Bcr/Lks4		ICARDA/Algérie
<b>139</b>	Beni Mestina	Shva/Yav_2//Ch1 2003		ICARDA/Algérie

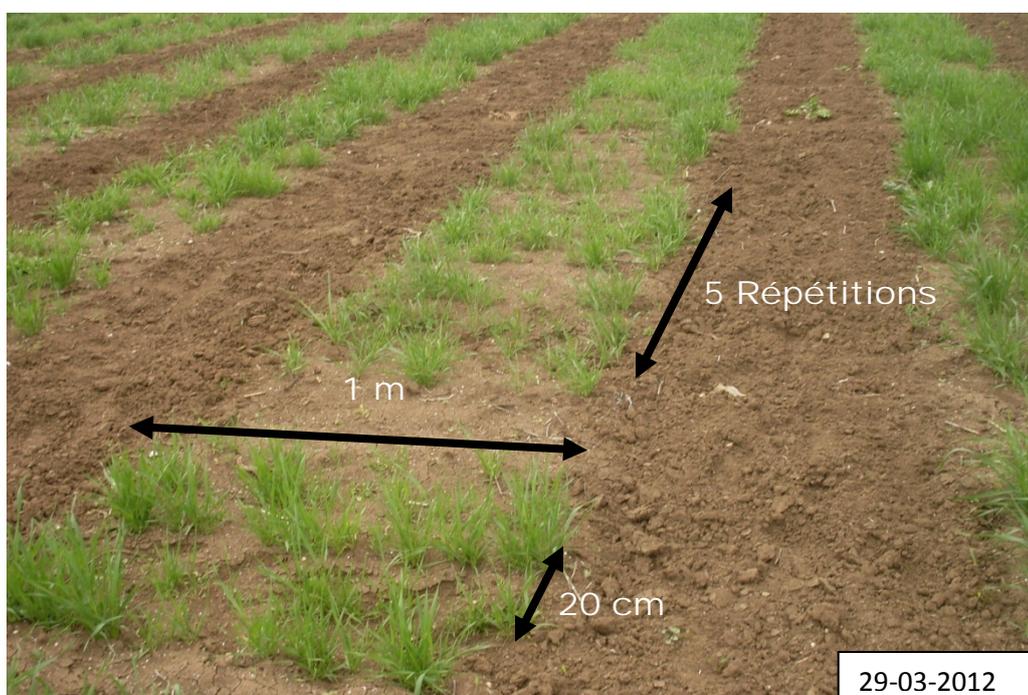
N : code de variété utilisé par l'ITGC en champ

## II-2-Expérimentation .1. Étude de la diversité phénotypique

### Essai 01 : Caractérisation agro-morpho-physiologique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

#### II-2-1-Présentation de la région d'étude

Le premier essai a été réalisé durant la campagne 2011-2012 à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El-khroub, situé à 14 Km au Sud Est de Constantine, à une altitude de 640m, une latitude de 6.67 Est et une longitude de 36.67 Nord. Selon un dispositif expérimental en blocs randomisés à 5 répétitions (Figure 09). Le matériel végétal est semé à la main sur une parcelle élémentaire d'une ligne de 1m de long avec une interligne de 20 cm. A une profondeur approximative de 2 à 3cm.



**Figure 09:** Dispositif de l'expérimentation.

#### II-2-2-Mise en place de l'essai 01

Le premier essai a été mis en place entre le 28/11/2011 et le 22/12/2011 sur une parcelle dénommée « Saad Belkheir » à texture argilo limoneuse et ayant comme précédent cultural une jachère travaillée. Le labour est réalisé à l'aide de la charrue à soc au mois de Février est repris au cover crop en Mars et en Mai 2011. La reprise des labours a eu lieu en

Septembre 2011 à l'aide d'un covercrop après épandage d'un engrais de fond, le super phosphate à 46 à raison de 100kg/ha. Le désherbage chimique est réalisé dès le stade plein tallage (06/02/2012) par un herbicide combinant un anti dicotylédones et un anti graminée (Topik + Zoom) à raison de 0.9l/ha +120 gr/ha. Une semaine après, un engraissement d'entretien a été réalisé par 120kg/ha d'Urée à 46%.La récolte a été réalisée manuellement du 15 au 21 Juin 2012.

## **II-2-3-Paramètres et mesures**

### **II-2-3-1-Suivi et notations**

La caractérisation des variétés a été basée sur un ensemble de paramètres liés à la phénologie, la morphologie et la physiologie de la plante ainsi le rendement et ses composantes.

#### **II-2-3-1-1- Paramètres phénologiques**

La phénologie étant l'étude de l'influence des climats sur les phénomènes périodiques de végétation. Tous les stades de développement phénologiques ont été déterminés selon l'échelle de (Zadocks et *al* ; 1974).On a compté la durée en jours de différentes phases du cycle de développement de la plante pour les 26 variétés de blé dur étudiées : -Semis- Tallage, -Semis- Epiaison, -Semis- Maturité, quand 50 % des plantes par parcelle avaient atteint le stade donné.

#### **II-2-3-1-2-Paramètres physiologiques**

##### **❖ Teneur relative en eau**

La teneur relative en eau de la feuille est déterminée par la méthode décrite par Barrs ; (1968). Elle constitue l'un des critères d'évaluation de la tolérance à la sécheresse proposé par Clarck et Mac-Gaig., (1982).

Selon cette méthode les feuilles coupées sont directement pesées (Poids frais PF) et plongées dans des tubes à essai remplis d'eau distillée, les tubes sont placés dans l'obscurité dans un endroit frais, après 24H, les feuilles saturées sont pesées de nouveau (poids de turgescence PPT), enfin l'échantillon est mis à sécher à l'étuve à 85°C et pesé une dernière fois après 48H (poids sec PS).

$$\text{TRE (\%)} = (\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PPT} - \text{PS}) \times 100$$

### ❖ **Température de couvert**

La température de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Cette mesure à l'échelle de la culture représente la résultante du bilan d'énergie donc l'état de l'offre réelle de la plante vis-à-vis de la demande climatique. Cette température combinée avec la valeur minimale (température d'une culture dont les surfaces sont saturées) et la valeur maximale (température d'une surface sèche) est un indice souvent utilisé pour déterminer le moment des irrigations (Jackson *et al* ; 1988). Grâce à la technique de la thermométrie infrarouge on a pu mesurer aisément et rapidement la température du couvert végétal de différentes variétés (Figure .10). La succion de la plante varie en cours de journée ; elle est maximale en plein midi solaire et diminue au cours de la nuit pour être minimale à l'aube. Pour cette raison les mesures ont été réalisées au cours du stade épiaison de beau temps (8h du matin) aux environs du midi solaire, et à la fin de la journée (vers 17h). Les mesures sont effectuées sur la feuille étendard de la plante (Aidaoui et Hartani ; 1994).



**Figure 10** : Thermomètre infrarouge portatif

### **II-2-3-1-3- Paramètres morphologiques**

#### **a- Caractères morphologiques quantitatifs**

##### **❖ Hauteur de la plante en cm**

On a mesuré la hauteur de la plante. Au stade maturité à partir du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi. Elle est exprimée en cm.

##### **❖ La surface foliaire en cm<sup>2</sup>**

La surface foliaire est déduite par la formule :  $SF (cm^2) = 0.606(L \times l)$  où L = Longueur totale des 5 feuilles, l = largeur moyenne des 5 feuilles et 0.606 = coefficient de régression reliant la surface des feuilles photocopiées sur papier grammage sur celle déduite par le produit L x l. (Spagnoletti-Zeuli et Qualset ; 1990).

❖ **Longueur des épis sans barbes**

On a mesuré un échantillon de 10 épis sans barbes / variété, au stade maturité à partir de la base de l'épi (1<sup>er</sup> article du rachis) jusqu'au sommet de l'épillet terminal. Elle est exprimée en cm.

❖ **Longueur des barbes**

On a mesuré un échantillon de 10 épis / variété, au stade maturité à partir du sommet de l'épillet terminal jusqu'au sommet des barbes. Elle est exprimée en cm.

**b- Caractères morphologiques qualitatifs**

La caractérisation de l'ensemble de variétés étudiées basée sur des critères morphologiques qualitatifs est établie en utilisant quelques recommandations de l'Union Internationale de Protection des Obtentions Végétales (UPOV, 1994) (Tableau .04).

**Tableau. 04** : Caractères morphologiques qualitatifs étudiés

Couleur de l'épi à maturité	1(Blanc), 2(Faible coloré), 3(Fortement coloré)
Couleur des barbes	1(Blanc), 2(brunclair) ,3(pourpre moyen), 4(pourpre foncé)
Pilosité de la glume	Absente (1) Présente(2)

**II-2-3-1-4- Paramètres agronomiques**

**a- Nombre de talles herbacées ; nombre de talles épi et rapport NTE/NTH**

❖ **Le nombre de talles herbacées (NTH)**

Il est déterminé par comptage direct de nombre de talles herbacées (à l'exception du maître brin) de chaque variété, à partir du stade 4 feuilles jusqu'au stade début gonflement. On a déduit ensuite la moyenne des talles herbacées / variété.

❖ **Le nombre de talles épi (NTE)**

Il est déterminé par comptage direct du nombre d'épis formés (à l'exception du maître brin) au stade maturité. On déduit ensuite la moyenne des talles épis /variété.

Par la suite on a déduit **le rapport talles épi /talles herbacées (NTE/NTH)**.

**b -Rendement et ses composantes**

A maturité on a déterminé le rendement en grains et ses composantes. Les mesures ont porté sur :

❖ **Le nombre d'épis /m<sup>2</sup>** est déterminé par comptage des épis produit dans une surface de 1m<sup>2</sup> pour chaque variété.

- ❖ **Le nombre de grains épi (NGE)** est obtenu par comptage direct d'un échantillon de 10 épis par variété.
- ❖ **Le poids de milles graines (PMG)** est obtenu par pesée directe sur balance de précision, de 1000 grains / variété. Il est exprimé en gramme.
- ❖ **Estimation du rendement grain** : elle est obtenue par calcul en fonction des composantes du rendement par la formule suivante :

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

Le rendement est exprimé en g / m<sup>2</sup>.

## **Essai 02 : Etude de performance de rendement des variétés de blé dur vis-à-vis les conditions climatiques**

### **II-3-Mise en place de l'essai 02**

L'essai a été conduit afin de tester le comportement et les performances du rendement grain de ces 26 variétés eu égard aux variations climatiques enregistrées durant une deuxième année d'expérimentation. Reconduit à l'ITGC d'El-khroub selon le même dispositif expérimental que la première campagne.

Cet essai a été mis en place entre le 25/11/2012 ; et le 17/12/2013 sur une parcelle dénommée : Coudiat el Guemh de texture argilo limoneuse avec une légumineuse (Lentilles) comme précédent cultural .Le labour réalisé à l'aide de la charrue à soc le 25 Septembre 2012. Le désherbage chimique a été réalisé le 21 Mars 2013 par une combinaison de TRAXOS + Granstar (Anti dicotylédone + Anti graminées) à raison de 1,2 L /ha Traxos + 12,5 gr /ha Graustar. La fertilisation Azotée a été effectuée par l'urée 46% /Dose 1, 5Q/HA le 03 Avril 2013. La récolte a été réalisée manuellement du 26 Juin au 09 Juillet 2013.

#### **II-3-1- Paramètres étudiés**

##### **II-3-1-1- Rendement et ses composantes**

- Le nombre d'épis par unité de surface (m<sup>2</sup>).
- Le nombre de grains par épi.
- Le poids de mille grains (PMG).
- Le rendement en grains (RDT g au m<sup>2</sup>) est déterminé à la récolte de l'essai.

## II-4-Expérimentation 02 : étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD

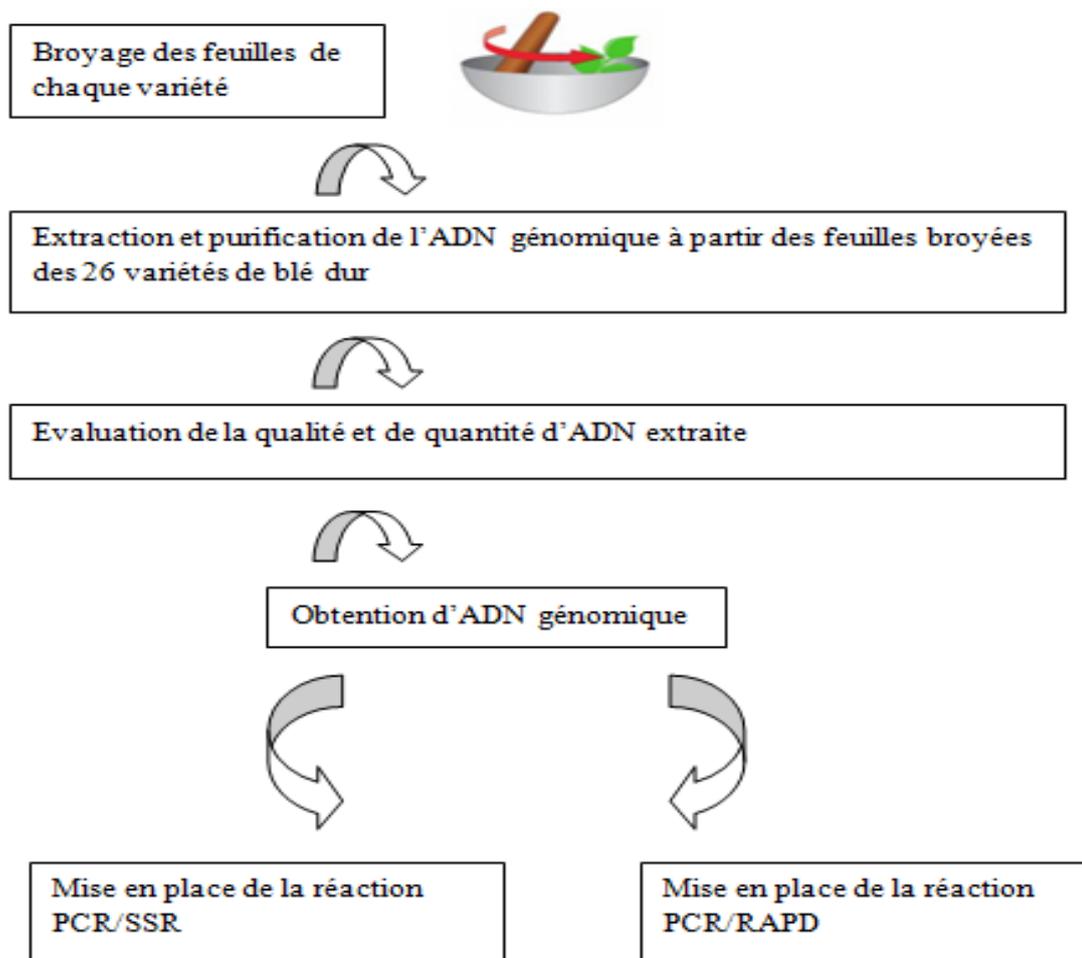
### II-4-1-Matériel végétal et conduite de l'essai

Il s'agit du même matériel végétal précédemment utilisé pour la première expérimentation. Les graines ont été mises à germer sur papier absorbant dans des contenants en plastique puis placées à l'obscurité. Après germination, les plantules sont transplantées dans des pots en plastique remplies de terreau et terre (1/1) à raison trois plantes par pot. La culture est conduite sous serre en conditions semi contrôlées avec une température de 25-32C° et une humidité relative de l'air 40-55% (Figure .11). Après 21 jours de culture (au stade 3 feuille), les feuilles sont récoltées et stockées à -80°C en attendant leur utilisation ultérieure.

Dans cette partie moléculaire de thèse, l'expérimentation subdivise en deux grandes parties : l'une porte sur la caractérisation et l'étude de la diversité génétique des variétés de blé dur par l'application des marqueurs SSR, et la deuxième partie par l'application des marqueurs RAPD (Figure .12).



**Figure 11** : Vue de l'essai en conditions semi contrôlées



**Figure 12 :** Schématisation des étapes successives utilisées pour l'étude de polymorphisme moléculaire

#### II-4-2-Extraction et quantification de l'ADN

Le matériel végétal a été broyé dans de l'azote liquide et réduit en une poudre fine à partir des échantillons de feuilles jeunes conservées à  $-80^{\circ}\text{C}$ . En utilisant le détergent ionique cetyltriméthyl ammonium bromure (CTAB); suivant le protocole de Saghai-Marooft; (1984) avec une légère modification. Le tampon d'extraction (pH 8) est composé de: 100 mM Tris; 1.44 mM NaCl; 1% CTAB (Poids/Volume); 20 mM EDTA et de 1% de  $\beta$ -mercaptoéthanol. Après son extraction, l'ADN a été purifié par un traitement RNase et par une extraction phénolique. Ce protocole a permis d'atteindre un rendement régulier de fragments d'ADN de bonne qualité. (Protocole détaillé en annexe n°03 et 04).

#### **II-4-2-1-Evaluation de la qualité et de quantité d'ADN extraite**

##### **✚ Electrophorèse sur gel d'agarose**

La qualité de l'ADN extraite a été d'abord vérifiée sur gel test d'agarose (0.8%) (Annexe .05). En effet, 10µl d'ADN plus 2µl de tampon de charge (Promega) sont déposés dans les puits du gel, ont été migrés dans le tampon TBE (Tampon Tris Borate) + BET pendant 1h à 80 voltes (Le bromure d'éthidium est un agent intercalant qui s'intercale entre la base de l'ADN. En contact rayonnements ultraviolets, il devient fluorescent. Il est généralement utilisé pour la révélation des bandes d'amplification de l'ADN), ensuite visualisé sous UV. Cette technique permet d'évaluer la qualité de l'ADN ainsi que sa pureté (présence de polysaccharides), elle permet aussi de comparer des ADN génomiques les uns par rapport aux autres.

##### **✚ Dosage et détermination de la concentration de l'ADN par Nanodrop**

Pour quantifier et évaluer la pureté d'ADN on a utilisé le spectrophotomètre Thermo Scientific NanoDrop 2000. Le  $DO_{260}/DO_{280}$  constitue un moyen évolutif numérique permettant d'apprécier la qualité ou la pureté de l'ADN extraite .En effet, plus ce rapport trend vers 2 plus l'extrait d'ADN est qualifié de meilleur ou pur et son utilisation dans plusieurs techniques d'amplification est vouée au succès.

#### **II-4-3-Analyse moléculaire par les marqueurs SSRs**

##### **II-4-3-1-Amplification par la technique PCR**

Le développement de la technique PCR offre l'avantage d'analyser les marqueurs moléculaires en un temps court tout en utilisant des concentrations faibles d'ADN. Les marqueurs basés sur la technique PCR tendent à remplacer les systèmes classiques et deviennent très nombreux. (Najimi et *al* ; 2003).

##### **✚ Choix des amorces**

Les réactions d'amplification PCR de l'ADN ont été faites par 19 amorces microsatellites, les marqueurs sont de trois types GWM, BARC, WMC (Tableau.06). L'ensemble de ces marqueurs SSRs ont été sélectionnés dans la base de données ([www.graingenes.org](http://www.graingenes.org)) (annexe 08).

### II-4-3-2-Mélange réactionnelles

La réaction d'amplification a été réalisée dans un volume de 25 µl contenant 10-50 ng d'ADN génomique, 0.2 mM dNTPs, 0.25 µM d'amorces et 1 unité de Taq polymérase (GoTaq, Promega) et son tampon concentré une fois, contenant 1,5 mM MgCl<sub>2</sub> (Tableau 05).

**Tableau 05** : Mélange réactionnel (Mix)

Réactifs	Quantité pour une réaction PCR (25µl)
ADN	2
Taq polymérase	0.25
dNTPs	0.5
Amorce	1.25
Tampon	2.5
MgCl <sub>2</sub>	1.5
Eau stérile	17

### II-4-3-3-Programme d'amplification PCR /SSR

Les réactions d'amplifications (PCR) ont été réalisées avec un programme comprenant :

- 3 minutes de dénaturation initiale à 95°C suivie de 35 cycles de
- 1 minute de dénaturation à 94°C,
- 1 minute d'hybridation à Ta (Tableau 06),
- 2 minutes d'élongation à 72°C
- Une extension de 10 minutes à 72°C

### II-4-3-4-L'électrophorèse de l'amplification de polymérisation en chaîne de l'ADN (PCR)

L'électrophorèse a été faite aussi bien sur gel d'agarose (3%) et visualisés sous UV (annexe.06). Deux marqueur de tailles spécifiques sont utilisés pour comparer les tailles des bandes obtenues (marqueur de taille 100 pb : Biomatik DNA ladder. Quantitative, ready to use , et un deuxième marqueur de taille de 50 pb : Biomatik DNA ladder plus. Quantitative, ready to use) et photographié grâce à E-BOX VX 2 system (annexe 07).

**Tableau .06** : Amorces utilisées, leurs séquences, température d'hybridation

Amorce	Séquence	température d'hybridation (Ta)	Chromosomes
BARC119 (F) BARC119 (R)	5'-CACCCGATGATGAAAAT-3' 5'- GATGGCACAAGAAATGAT -3	55°C	1A/1B
GWM 368 (F) GWM 368 (R)	5'ATGGAGATATTTGGCCTACAAC3' 5' CTTGACTTCAAGGCGTGACA 3	60°C	4B
WMC 44 (F) WMC 44 (R)	5'-GGTCTTCTGGGCTTTGATCCTG-3' 5'-TGTTGCTAGGGACCCGTAGTGG-3'	61°C	1B
WMC 09 (F) WMC 09 (R)	5'-AACTAGTCAAATAGTCGTGTCCG-3' 5'-GTCAAGTCATCTGACTTAACCCG-3'	61°C	7A
WMC 50 (F) WMC 50 (R)	5'-CTGCCGTCAGGCCAGGCTCACA-3' 5'-CAACCAGCTA GCTGCCGCCGAA-3'	58°C	3A
WMC 177 (F) WMC 177 (R)	5'-AGGGCTCTCTTTAATTCTTGCT-3' 5'-GGTCTATCGTAATCCACCTGTA-3'	51°C	2A
WMC 105 (F) WMC 105 (R)	5'-TATATTAAGGTTAGAGGTAGTCAG-3' 5'-TATATTAAGGTTAGAGGTAGTCAG-3'	61°C	6B
WMC 307 (F) WMC 307 (R)	5'-GTTTGAAGACCAAGCTCCTCCT-3' 5'-ACCATAACCTCTCAAGAACCCA-3'	61°C	3B
BARC 100 (F) BARC 100 (R)	5'-CCGTAAAGCCGCCTACCACAGAGTTGC-3' 5'- GGCTTAAAACGGATCCTCCAGGTCAT -3'	52°C	2-5A
BARC 142 (F) BARC 142 (R)	5'-CCGGTGAGAGGACTAAAA-3' 5'- GGCCTGTCAATTATGAGC- 3'	52°C	5B/5A/6B
WMC603 (F) WMC 603 (R)	5'-ACAAACGGTGACAATGCAAGGA-3' 5'-CGCCTCTCTCGTAAGCCTCAAC-3'	61°C	7A
WMS30 (F) WMS 30 (R)	5'-ATCTTAGCATAGAAGGGAGTGGG-3' 5'-TTCTGCACCCTGGGTGATTGC-3'	60°C	3A
WMC596 (F) WMC 596 (R)	5'-TCAGCAACAAACATGCTCGG-3' 5'- CCCGTGTAGGCGGTAGCTCTT-3'	61°C	7A
WMC24 (F) WMC 24 (R)	5'-GTGAGCAATTTTGATTATACTG-3' 5'-TACCCTGATGCTGTAATATGTG-3'	51°C	2A
WMC47 (F) WMC 47 (R)	5'-GAAACAGGGTTAACCATGCCAA-3' 5'-ATGGTGCTGCCAACAACATACA-3'	61°C	7A
WMC 48 (F) WMC 48(R)	5'-GAGGGTTCTGAAATGTTTTGCC-3' 5'-ACGTGCTAGGGAGGTATCTTGC-3'	58 °C	4B
WMS 493 (F) WMS 493 (R)	5' TTCCATAACTAAAACCGCG 3' 5' GGAACATCATTTCTGGACTTTG 3'	60 °C	3B
BARC 72(F) BARC 72 (R)	5' CGTCCTCCCCCTCTCAATCTACTCTC 3' 5' CGTCCCTCCATCGTCTCATCA 3'	60 °C	7B
WMC 500 WMC 500	5'-ATAGCATGTTGGAACAGAGCAC-3' 3'-CTTAGATGCAACTCTATGCGGT-5'	61 °C	3B

## II-4-4- Analyse moléculaire par les marqueurs RAPD

### II-4-4-1-Amplification par la technique PCR

- **Choix d'amorces**

Un total de 05 amorces aléatoires a été utilisé pour détecter le polymorphisme. Les séquences des amorces sont représentées sur le (Tableau .07).

**Tableau .07** : Amorces utilisées, leurs séquences

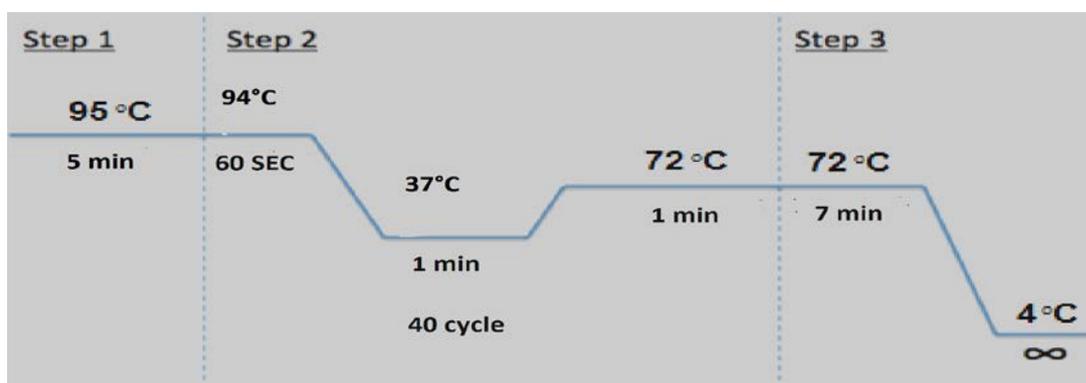
amorce	Séquences
OPA-17	5-GACCGCTTGT-3
OPC-05	5-GATGACCGCC-3
OPG-09	5-CTGACGTCAC-3
OPF-20	5-GGTCTAGAGG-3
OPE-13	5-CCCGATTCCGG-3

### II-4-4-2- Mélange réactionnelle

L'amplification est effectuée dans un volume de 25 uL contenant un mélange réactionnel appelé (Mix) : 12.5 µl Ampli Taq Gold 360 Master Mix (Applied biosystems) + 1 µl de l'amorce + 1 µl GC enhancer (360, GC Enhancer Applied Biosystems) + 1 µl d'ADN + 9.5 µl H<sub>2</sub>O.

### II-4-4-3- Programme d'amplification PCR

Le thermocycleur a été programmé selon le protocole de El Assal et Gabber; (2010) (Figure .13).



**Figure 13**: Programme PCR pour la réaction RAPD

#### **II-4-4-4-Révélation des produits PCR sur gel électrophorèse**

La confirmation de l'amplification et la révélation de présence de bande est révélée sur une électrophorèse sur gel d'agarose 1.5 % (100 ml TBE 1X+ 1.5g Agarose), deux à trois gouttes de bromure d'éthidium sont ajoutées lors de la préparation du gel d'agarose à 95 volts pendant 4heures. Les bandes RAPD sont visualisées grâce à des rayons UV et photographiées grâce à E-BOX VX2 system.

#### **II-5-Méthodes d'analyse statistique**

##### **II-5-1-Traits phénotypiques**

##### **II-5-1-2-Analyse de la Variance (ANOVA)**

L'ANOVA à un facteur permet d'étudier le comportement d'une variable réponse Y quantitative en fonction d'une variable explicative catégorielle X à p modalités définissant p groupes indépendants. Elle repose sur une décomposition de la variance totale en une variance intra et inter classes. La comparaison de moyennes des résultats est testée par une analyse de l'ANOVA. La séparation des groupes homogènes basée sur la plus petite amplitude significative observée entre plusieurs moyennes est faite selon le test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5% et 1%.

##### **II-5-1-3-Analyse en composante principale ACP**

L'analyse en composantes principale est une méthode exploratrice et descriptive (Dagnelie ; 1986). L'ACP permet de connaître la relation existante entre les descripteurs morphologiques considérés et les similitudes entre les accessions (Bautista-Salas, 2009). C'est une méthode fondamentale en statistique descriptives multidimensionnelle, elle permet de traiter simultanément un nombre quelconque de variables toutes quantitatives (ou qualitatives avec recodage selon une échelle numérique).

L'objectif de l'ACP est de revenir à un espace de dimension réduite en déformant le moins possible la réalité. Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales (Baccini ; 2010). La détermination, pour chaque composante principale, des variables qui y sont fortement corrélées permet de ressortir les variables qui contribuent le plus à la variabilité au sein de chaque composante dans un plan donné. L'analyse en composante principale a été appliquée sur la matrice des corrélations, obtenue à partir de l'ensemble de variables quantitatives et mesurées sur les 26 variétés. La projection de l'ensemble des individus (variétés) sur les plans des principaux axes permet d'apprécier leurs dispersions et de mieux comparer la variabilité entre eux.

#### **II-5-1-4-Matrice des corrélations**

Le coefficient de corrélation est une mesure du degré de linéarité de la relation entre deux variables. La valeur de ce coefficient est comprise entre  $-1$  et  $+1$ . Si une variable tend à augmenter lorsque l'autre diminue, le coefficient de corrélation est négatif. Par contre, si les deux variables tendent à augmenter ou à diminuer simultanément, le coefficient de corrélation est positif.

#### **II-5-1-5- Classification ascendante hiérarchique**

L'objectif de cette analyse est de classer l'ensemble de 26 variétés en un nombre réduit de groupes ou clusters, où la formation de ces groupes peut obéir à des caractéristiques communes aux variétés (Bautista-Salas ; 2009). Ces analyses ont été réalisées grâce au logiciel Xlstat version 2014.

#### **II-5-2-Analyses des données moléculaires**

##### **II-5-2-1-Classification selon la méthode UPGMA**

La photographie de chaque gel PCR/SSR et PCR/RAPD, est transférée vers le logiciel ECapt pour le traitement. Les profils de chaque variété générés par différentes amorces, sont directement comparés entre eux par marquage ou sélection de leurs bandes respectives et de celles du marqueur moléculaire dont les tailles sont connues. La présence des fragments a été déterminée visuellement et introduite dans une matrice de données binaires 0/1 (présence de la bande représentée par 1/absence représenté par 0). A partir de ces données nous avons calculé la matrice de similarité en utilisant les coefficients de similarité «Jaccard pour les marqueurs RAPD et le coefficient simple matching (Sokal et Michener ; 1958) pour les marqueurs SSR ». Ensuite le dendrogramme de similarité de deux types de marqueurs a été établi en utilisant la méthode UPGMA (Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages). Ces analyses ont été effectuées par l'intermédiaire du programme d'analyses NTSYSpc version 2.02.

##### **II-5-2-2-Le pourcentage de bandes polymorphes (P)**

Il s'agit du nombre de bandes polymorphes par rapport au nombre total de bandes obtenues.

Est calculé selon la formule :

$$P = \frac{\text{Nombre de bandes polymorphes}}{\text{Nombre total de bandes obtenues}}$$

### II-5-2-3-PIC (Polymorphisme information content)

L'efficacité des marqueurs moléculaires SSR est déterminée à l'aide de l'indice de la diversité génétique de Nei (PIC: Polymorphic Information Content). La valeur PIC varie de 0 (monomorphe) à 1 (polymorphe et très discriminant avec de nombreux allèles à des fréquences égales) selon la formule de Botstein et al ;(1980):

$$PIC_j = n (1 - \sum P_{ij}^2) / (n-1)$$

$J$ : amorce concernée,  $n$ : taille de bande  $i$  et  $P_{ij}$ : fréquence de marqueur  $i$  révélé par amorce  $j$  à travers la somme de bande.

Les valeurs pic calculées à partir des marqueurs RAPD sont obtenues selon la formule suivante :

$PIC = 2 \times f_i \times (1-f_i)$  (Roldán-Ruiz et al ; 2000, Soengas et al ; 2006), où,  $f_i$  est la fréquence de l'allèle amplifié (bande présente) et  $(1-f_i)$  est la fréquence de l'allèle nul (bande absente)

### II-5-2-4- Mesure de la diversité génétique

Les variables suivantes ont été estimées à partir des données du marqueur RAPD en utilisant le logiciel GenAlEx version 6.502 (Peakall et Smouse ; 2006) :

- ✓ **Le nombre d'allèles par locus (Na) et le nombre efficace d'allèles (Ne) :**  
 $Na$  = nombre total d'allèles / nombre de loci.  
 $Ne = 1 / (p^2 + q^2)$   $q = (1 - \text{fréquences de bandes})^{0.5}$  /  $p = 1 - q$
- ✓ **L'indice de diversité de Shannon (I) :**  $I = 1 \times (p \times \ln(p) + q \times \ln(q))$
- ✓ **Taux d'hétérozygotie :** L'hétérozygotie (diversité génétique de Nei ; 1973) est la moyenne des fréquences des hétérozygotes observées à chacun des locus étudiés. L'indice  $He$  représente l'hétérozygotie attendue. Il est estimé à partir des fréquences alléliques ( $2 \times p \times q$ )
- ✓ L'indice  $Ho$  représente l'hétérozygotie observée, il est mesuré à partir des analyses génotypiques. Le taux d'hétérozygotie fournit une bonne estimation de la variabilité génétique de la population.  $Ho = (2N / (2N - 1)) * He$
- ✓ **L'analyse de la variance moléculaire (AMOVA)** a été réalisée pour détecter les variations entre et au sein des différents groupes de variétés de blé dur.

**Chapitre III / Etude de la diversité  
phénotypique d'une collection de  
blé dur cultivée en Algérie**

### Introduction

Dans tout schéma d'amélioration génétique, le sélectionneur ne peut agir qu'en présence d'une certaine diversité génétique des caractères. Mais, le plus souvent, ceux-ci se révèlent complexes : variation continue, nombreux gènes en cause, et interactions de l'effet des gènes avec les facteurs du milieu. D'où la nécessité de quantifier la variation observée et de la décrire à l'aide d'un nombre plus réduit de paramètres pour qu'elle devienne plus facilement exploitable en sélection (Lefort-Buson et al ; 1988).

L'information sur les ressources génétiques disponibles, leurs emplacements géographiques et la compréhension de leurs relations peuvent être utilisées pour mieux comprendre la divergence de populations (Dejene et al ; 2015). Cependant les marqueurs morphologiques ont été appelés la meilleure alternative à leurs homologues moléculaires pour évaluer la diversité génétique (Hailu et al ; 2010).

Cependant, la caractérisation des collections de germoplasme est une étape préliminaire très essentielle pour quantifier la diversité génétique au sein des accessions, et sert de point de départ pour l'établissement d'une «collection de base» (Zarkti et al ; 2012). La production agricole actuelle et future dépend en grande partie de la diversité génétique disponible, comme l'ont rapporté Cauderon ; (1985) cité par boudour et al ; (2011).

De plus la compréhension de la variation dans le rendement, les composantes du rendement et les traits associés au fil du temps est une étape essentielle pour améliorer la connaissance des facteurs limitant la production pour les futures stratégies d'amélioration (Royo et al ; 2007). De même, le recours aux caractères morfo-physiologiques de tolérance au stress hydrique permettent dans le cadre d'une approche intégrative d'identifier les plus pertinents d'entre eux pour la recherche de génotypes stables.

La présente étude se fixe pour objectif d'identifier et de regrouper des génotypes de blé dur (*Triticum Durum* Desf.) représentant la région des hautes plaines orientales algérienne.

Cet objectif global est subdivisé en deux sous objectifs qui sont :

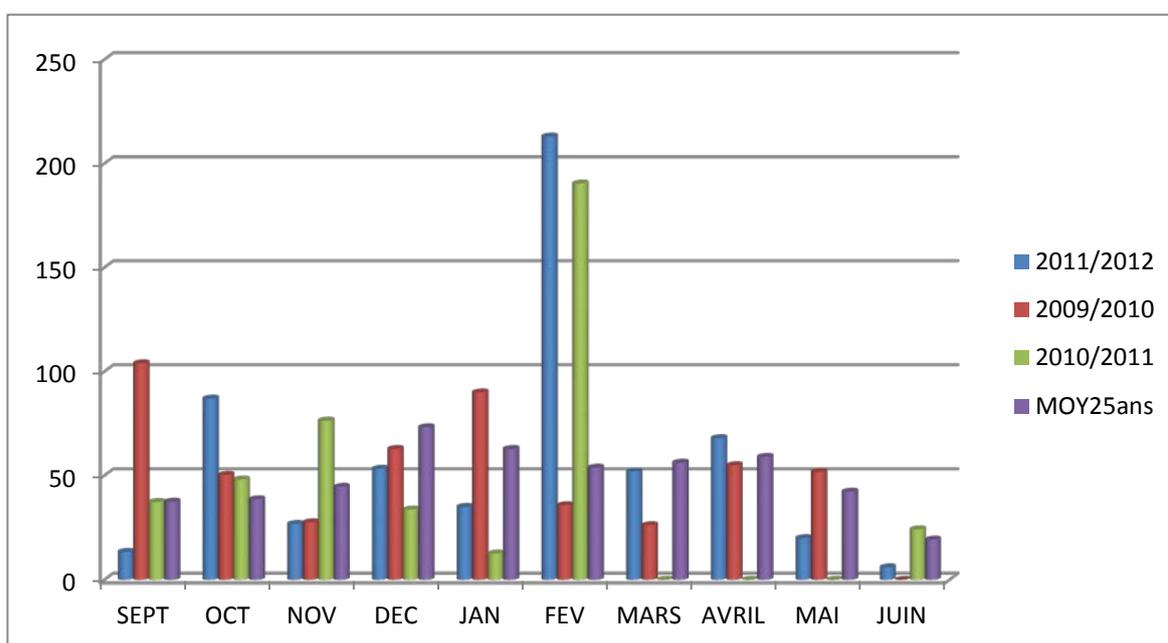
- l'utilisation des caractères morfo-physiologiques comme descripteurs pour l'évaluation en termes de relation, d'information et de leurs contributions relative à la discrimination de notre collection de blé dur.
- L'identification sur la base des performances du rendement grain durant deux campagnes agricoles.

### III-1- Caractérisation agro-morpho-physiologique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

#### III-1-1- Conditions climatiques (pluviométrie et températures) pour la campagne agricole 2011-2012

##### III-1-1-1- Pluviométrie

Au vue de la première lecture des chiffres absolus des données climatiques, on peut faire d'abord une comparaison de la pluviométrie globale cumulée lors des deux campagnes par rapport à la moyenne normale des services ONM établie sur 25 ans, et à celles des deux dernières campagnes 2009/2010 et 2010/2011 (Figure .14).



**Figure 14 :** Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle des trois dernières campagnes agricoles (2009/2010, 2010/2011 et 2011/2012) et de la moyenne Normale ONM.

Pour l'analyse mensuelle, on remarque une nouvelle particularité pour le mois de Février et ce pour ces deux dernières campagnes ; les cumuls mensuels ont atteint les 190 mm et même 213 mm respectivement pour 2010/2011 et 2011/2012 (Tableau .08). Pour la campagne 2011/2012, il est à signaler l'apport des importantes chutes de neige.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau. 08 :** Données pluviométriques de Constantine pour les trois dernières campagnes agricoles et la moyenne normale ONM sur 25 ans

MOIS	2009/2010	2010/2011	2011/2012	MOY 25ans
SEPT	<b>104</b>	37,3	13,4	37,5
OCT	50,4	48,1	<b>87</b>	38,6
NOV	27,6	76,4	26,8	44,6
DEC	62,8	33,7	53,3	73,2
JAN	90	12,6	35	62,8
FEV	35,8	<b>190,4</b>	<b>213</b>	53,8
MARS	26,2	63,4	52	56,2
AVRIL	55	66,4	<b>68</b>	59
MAI	51,8	40,6	20	42,3
JUIN	-	24,2	6	19,3
JUILLET	<b>503,6</b>	<b>593,1</b>	574,5	<b>486,5</b>

Hormis le mois de Février 2012 où un grand écart positif a été signalé (+159,2 mm), seul les mois d'Octobre et d'Avril 2012 ont dépassé la moyenne Normal ONM (+48,4 mm et + 9 mm) ; l'écart a été négatif pour tous les autres mois de la campagne allant de -4,2 mm à -27,8 mm (Tableau.08).

Il est à signaler que le déficit en Novembre a été de 15.2 mm mais en Décembre il a été beaucoup plus important (-64.2 mm) , et ce manque d'eau au moment où la plante a le plus besoin pour démarrer le processus de germination et de levée a été très ressenti.

A partir de Janvier 2013 on constate un léger retour de la pluviométrie à la normale avec même un excédent de 58,1 mm en Février ; par la suite on a connu des déficits mensuels cumulés de mars à Juin de 78,4 mm.

### **III-1-1-2-Température**

Pour la campagne 2011/2012 et comme pour beaucoup d'autres, le phénomène température a été fondamental pour le développement du végétal, et par la même l'élément clé déterminant de la production des cultures.

En effet, les températures ont affecté directement le végétal mis en culture ; des records jamais égalés ont été signalés par les services de l'ONM. Pour les basses températures, on a noté des minimas extrêmes de -3,9 °c à -6 °c (Tableau.09) durant plusieurs nuits en hiver (Janvier-Février), ce qui ne s'est pas produit depuis plusieurs décennies. Quant aux hautes températures, le record de +44°C à l'ombre à Constantine a été affiché ce qui n'a pas été enregistré depuis 1930.

## **Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie**

**Tableau. 09 :** Températures moyennes mensuelles, minima et maximas et fréquence des gelées ayant prévalués à Constantine durant la campagne (2011/2012)

Températures	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun
Moyennes (°C) 2012	5,9	7,01	7,4	7,8	6,2	3,7	10,1	12,7	17,8	25,6
Maxi absolues (°C) 2012	8,5	9,2	8,9	9,1	16,4	15,3	24	32	34,2	<b>41,1</b>
Min absolues (°C) 2012	2,9	4,07	5,1	5,7	<b>-3,9</b>	<b>-6</b>	-0,4	-0,3	6	11
Nbre Jours de Gelée 2012	0	0	0	9	18	17	8	1	0	0

### **III-1-2-Paramètres phénologiques**

#### **III-1-2-1-Durée semis –tallage et la durée semis –montaison**

La longueur du cycle du semis –tallage varie entre 95,00 et 97,33 jours respectivement chez Capeiti 8 et Yavaros-79, et une valeur moyenne de  $96,10 \pm 0,61$  (Tableau.10). La phase semis -montaison est observée sur une période allant de 111,67 et 115,67 jours enregistrée chez les variétés Gloire de Montgolfier et Boussellem respectivement, avec une moyenne de  $113,81 \pm 0,97$  jours (Tableau.10). L'analyse de la variance révèle une différence non significative entre les différentes variétés (annexe.01). Ces résultats indiquent une tendance de similitude dans la croissance du cycle végétatif. Selon Soltner, (2005) la période végétative s'étale de la levée à la montaison durant 60 à 110 jours.

#### **III-1-2-2-Durée semis- épiaison**

Selon plusieurs auteurs, la précocité d'une variété est déterminée à partir de la durée de cycle de développement allant du semi à l'épiaison. Selon les phases du cycle biologique des variétés étudiées et à la lumière des résultats obtenus (Tableau.10), nous pouvons classer les variétés en 3 groupes principaux :

La variété Mexicali présente une période d'épiaison de 135,66 jours, cette variété très précoce a été prise comme exemple pour comparer la durée du stade épiaison des différentes variétés étudiées.

Les variétés du deuxième groupe considérées comme précoces (Capeiti 8, Waha, Chen "S", Hoggar, Tell76, Tassili, Righa, Yavaros-79, Achouri, Sigus, Simeto, Ofonto) par rapport à la variété Mexicali présentent un léger retard dans la réalisation des étapes du cycle végétatif, avec une période d'épiaison varie de 139 jusqu' à 142,66 jours.

Les variétés du troisième groupe considérées comme tardives (T.PolonicumxZ.Bouteille, Mohamed Ben Bachir, Montpellier, Hedba3, Bidi17, O.Zenati 368, Djennah Khetifa, Guemgoum Rkhem, Rahouia 80, Beliouni, Gta/Dur69, Boussellem, Beni Mestina) présentent un retard assez important par rapport à la variété Mexicali avec une durée d'épiaison de 144-149 jours, et une différence de 17 jours à la fin du cycle.

Nos résultats sont en désaccord avec ceux qui ont été obtenus par Allam et *al* ; (2015) basé sur une classification signalée par Couvreur. (1985) suggère qu'une variété est considérée comme précoce si la durée est inférieure à 100 jours ; elle est semi précoce si la durée se situe entre 100 et 120 jours ; et tardive si cette durée dépasse 120 jours. Cependant Bousba, (2012) enregistre une période d'épiaison allant de 138 à 142 jours. Plusieurs études expliquent l'intérêt de la précocité comme un mécanisme qu'utilise la plante pour s'échapper à la sécheresse. Selon (Berger ; (1985) cité par Mekhlouf et *al* ; (2006), la précocité au stade épiaison est associée à la réduction de la hauteur du chaume et à l'augmentation de la capacité du tallage-épi. Une plus grande persistance de la chlorophylle, donc de l'activité photosynthétique post-anthèse, est souvent notée chez les génotypes précoces (Al Hakim et *al* ; 1996).

### **III-1-2-3-Durée semis- maturité**

L'analyse des résultats nous a permis d'identifier la précocité à la maturité de certaines variétés, particulièrement les variétés : Mexicali, Waha, Hoggar, Tassili, et la tardivité des autres variétés tel que Ofonto et Beliouni ainsi Gloire de Mont Golfier (Tableau.10). Le nombre de jours à la maturité varie entre 161 et 178 j avec une moyenne globale de l'ordre de 169,87 j (Tableau .10). Les variétés locales se sont montrées tardives, comparées aux variétés du CIMMYT, et de l'ICARDA et les variétés italiennes, avec des moyennes globales de 175.7j, 163.11j, 169j, 169.66j respectivement .L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les différents génotypes (< 0,0001) (annexe.01.).

Des résultats similaires ont été notés dans les travaux de (Chentoufi *et al* ; 2014 et Amallah et *al* ; 2016).

Mekhlouf et *al* ; (2006) suggèrent qu'une variété tardive, elle est moins apte à éviter le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle. La croissance à des températures relativement plus basses permet à la plante d'utiliser plus tôt les ressources offertes par le milieu, ce qui lui confère plus de possibilités de donner un meilleur rendement en grains.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

Cependant Abbassenne et al ; (1997) préconisent, pour les régions semi-arides, des génotypes tardifs à l'épiaison et précoces à maturité. Ces variétés minimisent le risque vis-à-vis de la contrainte des basses températures printanières. Les génotypes tardifs valorisent peu, sous forme de grains produits par unité de surface, la matière sèche totale accumulée au stade épiaison. Ces variétés investissent peu d'hydrates de carbone dans les épis et à cause des effets des stress thermique et hydrique, beaucoup de leurs talles avortent (Kadi ; 2012).

**Tableau .10** : Nombre de jours de différents stades phénologiques étudiés

variétés	Jours au tallage	Jours à la montaison	Jours à l'épiaison	Jours à la maturité
2	95,33 ±0,58	113,33±2,08	135,67± 0,58	161,00± 2,00
8	95,00± 1,00	113,00±1,73	135,67±1,53	162,00± 1,00
9	96,67± 0,58	113,00± 2,00	139,67±0,58	161,00 ±1,00
23	96,00± 1,00	113,00± 2,00	140,33± 1,53	162,00± 2,00
33	96,00± 1,00	114,33 ± 1,53	140,33±1,53	161,00 ± 00
38	96,00± 0,00	114,67 ± 1,53	140,67±1,15	162,00± 1,00
39	95,67± 2,08	113,67± 1,53	140,33±1,53	161,00 ± -00
54	95,33± 1,53	114,00± 2,65	141,67± 0,58	163,00±2,00
79	96,33± 1,53	115,67 ± 1,53	147,33± 0,58	174,33± 1,53
82	96,33± 1,53	113,67±2,08	147,00± 1,00	173,00 ± 2,00
83	96,00± 1,00	113,33 ±1,53	147,00±1,00	176,00 ± 1,00
84	96,00±1,00	113,33 ±1,53	148,00±1,00	174,33 ± 1,53
85	97,00±1,00	113,00 ±2,65	147,00±1,00	175,00 ± 00
86	96,00± 1,00	113,33 ± 2,08	147,33±1,53	176,33± 1,15
88	96,00± 1,00	113,33± 1,53	149,00±1,00	177,00± 1,00
89	96,00± 1,00	114,00 ±1,00	147,00±1,00	176,67±1,53
90	95,33±1,53	111,67 ±2,08	147,33±1,53	178,00 ± 2,00
91	96,33± 1,15	113,33± 2,52	147,00± 1,00	178,00 ± 1,00
92	97,00± 1,73	114,33± 2,89	144,67±0,58	174,00± 1,00
93	95,00± 1,00	113,67± 2,52	139,00±1,00	169,00±1,00
99	97,33± 1,15	115,33± 1,15	141,00±1,00	166,00± 00
107	96,67± 0,58	115,67± 1,53	145,00± 1,00	171,00 ± 1,00
115	97,00± 1,00	114,67± 1,53	140,33± 0,58	178,00± 1,00
123	96,33± 1,53	112,67± 1,53	142,67±0,58	168,00±1,00
129	95,67± 0,58	115,33± 2,89	139,67±0,58	168,00± 2,00
139	96,33± 1,53	113,67±1,53	144,00± 1,00	171,00 ± 00
Moyenne	96,103±0,617	113,80±0,97	143,25±3,94	169,87±6,45

### **III-1-3-Paramètres physiologiques**

#### **III-1-3-1-La teneur relative en eau**

La TRE la plus élevée dans l'essai est observée chez O.Zenati 368 (95%), Capeiti 8 (94%), Mohamed Ben Bachir (93%), Djennah Khetifa (93%), alors que Mexicali possède une TRE la plus faible 67 %. La moyenne enregistrée est 82,4% (Tableau .11). L'analyse de la variance (annexe .01) révèle que les variétés étudiées présentent une différence hautement significative ( $p < 0,005$ ).

En effet, les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse et/ou à la salinité (Berka et Aïd; 2009). Cette résistance est expliquée par Keyvan ; (2010) par la capacité d'une plus grande absorption de l'eau du sol ou la capacité des stomates à réduire la perte d'eau.

La comparaison des moyennes par le test de New man et Keuls montre que les variétés algériennes se distinguent par une moyenne élevée (88%), formant le groupe le plus performant car ces dernières présentent des valeurs restent compatibles avec un statut de plantes non stressées. Les valeurs obtenues par les variétés ICARDA (77%) s'expliquent par l'effet des températures élevées durant la période épiaison et l'anthèse avec des moyennes maximales absolues de 32°C en Avril, 34,2°C en Mai (Tableau.09). Les températures élevées ont une incidence sur la fermeture des stomates, réduisant ainsi l'entrée du CO<sub>2</sub> dans les feuilles et donc l'activité photosynthétique. (Slafer et Andrade ; (1990) et Gate ; (2008)). Larbi et Mekliche ; (2004), et Allahverdiyev ; (2015) suggèrent que le maintien de la turgescence est souvent considéré comme un bon indicateur de l'état hydrique de la plante et peut être le résultat d'une accommodation transitoire par une fermeture partielle des stomates.

Sans irrigation de complément, le choix de cultivars avec les traits de la tolérance intrinsèque à la sécheresse est la seule alternative actuellement (Bouthiba et Debaeke ; 2009). Ait Kaki ; (1993) cité par Hazmoun ; (2000) dans ses travaux de recherche, sur l'étude des mécanismes morpho physiologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique sur cinq génotypes de blé dur a confirmé que les génotypes locaux, notamment le génotype Hedba 3, s'identifient par des adaptations morpho physiologiques et agronomiques à la sécheresse, et se maintiennent à un niveau appréciable malgré leurs tardiveté.

### III-1-3-2-La température de couvert

La moyenne de température du couvert végétal varie entre 26,13 et 34,75°C avec une moyenne de 30,36 (Tableau.11) ; la température la plus élevée est notée chez la variété Boussellem 34,75 ± 0,77°C ainsi Achouri avec 34,36 ± 0,34°C. Cependant les températures les moins élevées ont été enregistrées chez Mexicali (26,13±0,96) et Waha (26,44 ±1,54), Hoggar (26,77 ± 0,60) (Tableau .11). L'analyse de la variance révèle que les variétés étudiées présentent une différence très hautement significative ( $p < 0,0001$ ) (annexe .01).

L'utilisation de la mesure de la température de surface d'un couvert végétal par radio thermométrie infrarouge, a connu un développement important ces dernières années. Son domaine d'application s'étend à la détection d'un stress qui survient à n'importe quel moment du cycle de la plante (Mebrek *et al* ; 2014).

L'élévation de la température au delà des 25°C oblige la plante à utiliser une partie des substrats carbonés stockés dans le col de l'épi et la dernière feuille (Fellah *et al* ; 2002). Une plante à stress hydrique réduira la transpiration et aura généralement une température plus élevée que la variété non stressée (Dejonge *et al* ; 2015).

Selon (Reynolds *et al* ; 1994) les génotypes tolérants aux stress hydriques et thermiques sont capables de maintenir la température de leur feuillage à un seuil inférieur à celui de la température maximale de l'air ambiant. A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement grain (Reynolds *et al* ; 2005).

A ce propos les variétés Mexicali., Capeiti 8, Waha, Chen S, Hoggar, Tell76, Tassili ,Cocorit C 71, T.PolonicumxZB, Mohamed Ben Bachir 8037, Mont Pellier, Hedba-03, Bidi 17, Oued Zenati 368, Djennah-Khetifa, Guemgoum Rkhem, Gloire de Mont Golfier (Tableau.11) on l'aptitude à maintenir des températures basses entre 26,13 et 30,92 °C , qui est un indicateur d'une capacité à extraire l'eau de sol et à se rafraichir par transpiration.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau 11** : Moyennes teneur relative en eau (TRE) et température du couvert (TC) des variétés

<b>variétés</b>	<b>TRE</b>	<b>TC</b>
<b>2</b>	67% ± 0,05	26,87 ± 0,14
<b>8</b>	94% ± 0,03	26,13 ± 0,97
<b>9</b>	89% ± 0,03	26,44 ± 1,55
<b>23</b>	80% ± 0,09	29,46 ± 0,84
<b>33</b>	74% ± 0,06	26,78 ± 0,60
<b>38</b>	86% ± 0,07	28,66 ± 0,19
<b>39</b>	76% ± 0,10	28,48 ± 0,14
<b>54</b>	81% ± 0,06	28,18 ± 0,33
<b>79</b>	86% ± 0,05	29,15 ± 0,19
<b>82</b>	93% ± 0,04	30,92 ± 0,80
<b>83</b>	87% ± 0,11	29,74 ± 0,14
<b>84</b>	84% ± 0,09	30,94 ± 2,00
<b>85</b>	92% ± 0,03	29,53 ± 0,94
<b>86</b>	95% ± 0,02	28,18 ± 1,64
<b>88</b>	93% ± 0,03	29,08 ± 1,40
<b>89</b>	88% ± 0,06	30,80 ± 0,08
<b>90</b>	65% ± 0,33	30,65 ± 0,45
<b>91</b>	74% ± 0,05	33,02 ± 0,47
<b>92</b>	76% ± 0,14	34,00 ± 0,31
<b>93</b>	80% ± 0,04	32,53 ± 0,77
<b>99</b>	80% ± 0,07	32,70 ± 0,89
<b>107</b>	89% ± 0,03	34,75 ± 0,78
<b>115</b>	81% ± 0,02	32,97 ± 0,84
<b>123</b>	74% ± 0,04	34,37 ± 0,35
<b>129</b>	82% ± 0,03	32,40 ± 0,47
<b>139</b>	75% ± 0,15	32,73 ± 0,49
<b>Moyenne</b>	82,4% ± 0,08	30,36 ± 2,55

### **III-1-4-Paramètres morphologiques**

#### **III-1-4-1-La surface foliaire de la feuille étendard**

Ce paramètre varie entre 37,66 et 21 cm<sup>2</sup> (Tableau.12), la feuille étendard la plus large observée chez la variété O.Zenati 368 (37,66 ± 8,08 cm<sup>2</sup>), cependant les plus étroites sont observées chez les variétés Mohamed Ben Bachir (21,00± 6,08) et Hoggar (22,00± 4,35) (Tableau.12). L'analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étendard indique une différence non significative entre les géotypes étudiés qui se traduit par le fonctionnement identique des plantes dans nos conditions (annexe .01). Haddad et al ; (2016) dans l'étude de la variabilité phénotypique d'une collections de blé dur ont obtenus une surface de la feuille étendard varie de 19.5 à 12.5, avec une moyenne de 15.3 cm<sup>2</sup>.

La mesure de la surface de la dernière feuille développée permet d'apprécier l'influence du déficit hydrique sur la croissance des organes végétatifs aériens (Benlaribi et al ; 1990). La diminution de la surface foliaire des feuilles considérée comme une réponse ou une adaptation au manque d'eau (Blum ; 1996).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface évaporant et celle soumise à la radiation solaire (Belkharchouche et al ; 2009).

L'étude de certains paramètres morphologiques par (Ali Dib et al ; 1992) de la partie aérienne (surface de la dernière feuille, masse de substance sèche des parties aériennes, potentiel hydrique foliaire, teneur en eau), et de leurs variations sous l'effet de la contrainte hydrique, montre que les variétés algériennes Oued Zenati 368 et Hedba 3 se caractérisent par une surface foliaire élevée et une masse végétative importante.

À l'opposé Abbassenne ; (1997), suggère qu'une variété avec une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

#### **III-1-4-2-Hauteur de la plante**

La hauteur des plantes varie de 65,000 cm à 118,000 cm (Tableau.12) enregistrée chez les variétés Chen S et Hedba-03 respectivement, avec une moyenne globale de 88,2 cm (Tableau.12). La valeur de la hauteur des plantes permet d'individualiser deux groupes différents ; les variétés algériennes sont les plus hautes (107.3 cm), les variétés italiennes

et originaires du CIMMYT et d'ICARDA se caractérisent par une taille réduite avec des moyennes de l'ordre de 78,1 cm et de 76,9 cm et 76,1 cm respectivement.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les variétés (annexe .01), a montré aussi une distinction claire entre les variétés introduites et les variétés locales. Cette situation est largement documentée, et est dû au fait que les génotypes améliorés contiennent des gènes de nanisme (Deghaïis *et al* ; 2007). Des résultats similaires ont été obtenus par (Ayed *et al* ; 2016, Balfourier ; 2014).

Plusieurs auteurs cité par Allam *et al* ; (2015) indiquent que les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont des variétés à paille hautes. Selon le même auteur, cette tolérance est induite par un développement racinaire important en profondeur permettant l'extraction de l'eau des horizons profonds.

Zapata *et al* ; (2004) ont comparé des lignées de blé tendre isogénique qui portaient les gènes nains Rht1 et / ou Rht2 avec une ligne parentale qui ne portait pas ces gènes (ligne haute). Les isolignes semi-nains (60 à 100 cm) avaient 21% de plus rendement que de grandes plantes dans tous les environnements.

### **III-1-4-3-Longueur de barbes**

Ce paramètre varie entre 5,60 cm et 12,66 cm chez Capeiti 8 et Gloire de mont golfier respectivement ; et on a enregistré une moyenne de 9,89 cm (Tableau.12). L'analyse des moyennes de la longueur de barbes fait ressortir les groupes suivant : les variétés algériennes avec une moyenne de 10,7 cm, et les variétés introduites avec 9,16 cm de longueur .Il est à noter que les variétés étudiées dans notre essai présentent toutes des barbes. L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre variétés ( $< 0,0001$ ) (annexe .01).

Les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al* ; 2005) après la sénescence de la feuille étendard (Bouzerzour ; 2004). Cependant selon Hanifi -Mekliche *et al* ; (1998) leur présence n'apparaît pas comme un critère d'adaptation à la sécheresse.

### **III-1-4-4-Longueur de l'épi**

Les résultats obtenus pour la longueur de l'épi montrent que l'épi le plus long mesure  $8,83 \pm 0,28$  cm est observé chez la variété Guemgoum Rkhem ; par contre les variétés Mohamed Ben Bachir et Mont pellier présentent l'épi le plus petit  $6,00 \pm 1,32$  cm, et une moyenne de l'ordre de 7,22 cm (Tableau .12). L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les variétés (annexe .01). D'après Djekoun et

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

*al* ; (2002) une longueur élevée de l'épi est un paramètre prédictif d'un indice de récolte et d'un potentiel de rendement élevé. De même plusieurs auteurs montrent le rôle important d'un épi long dans la photosynthèse et la transpiration ainsi à la contribution à la production des assimilats pour le remplissage de grains (Blum ; 1985, Monneveux et This ; 1997, Febrero *et al* ; 1990).

**Tableau. 12 :** Moyennes de la longueur de l'épi (LEP) et des barbes (LB), surface foliaire (SF) et hauteur de la plante (HP) des variétés

Variétés	LEP	LB	SF	HP
2	8,7± 1,23	8,86±0,47	32± 3,46	88,00±5,00
8	6,67±0,58	5,6±0,78	25,33±2,08	85,33±13,01
9	7,5± 0,50	9,8±1,37	26±7,00	74,00±11,00
23	8,23±0,64	7,6±1,06	26,67±3,79	65,00±4,58
33	7,23±0,25	7,4±0,26	22±4,36	77,33±2,08
38	8,06±1,07	10,9± 0,66	28,67±6,03	76,50±2,50
39	8,33±0,15	11,33±1,44	23,67±4,51	81,00±4,00
54	7± 0,50	10,93±0,65	29,33±7,64	85,00±3,00
79	6,9±0,69	11± 0,98	29,33±4,04	112,00±7,00
82	6±1,32	11,76± 0,87	21±6,08	104,67±11,93
83	6±0,50	7,46±0,49	28,67±7,77	79,00±11,53
84	8,67± 0,58	11,6± 0,40	31,67±3,51	118,00±8,00
85	6,1±0,26	11,66± 0,59	30,33±7,64	103,00±4,00
86	6,13± 0,61	10,43±1,70	37,67±8,08	105,67±5,51
88	7,67±1,15	9,83±1,26	29,67±2,52	109,67±10,50
89	8,83± 0,29	9,53±0,61	30,33±7,09	112,33±6,81
90	7,23± 0,25	12,66±0,58	36±5,29	111,67±3,06
91	6,43±0,40	11,3±1,47	29,67±6,43	104,17±0,76
92	7,43± 0,12	8,5± 0,69	33,67±12,90	72,00±2,00
93	7,16±0,38	8,33±0,45	27,67±7,37	71,33±5,03
99	6,96±0,59	9,36± 0,15	36,33±6,81	69,00±5,57
107	6,7±1,41	11,96±0,32	34,33±0,58	80,50±0,50
115	6,7±0,96	11,7± 0,70	35,33±9,07	71,00±1,00
123	6,6±0,36	10,86± 0,40	30±8,89	79,33±1,53
129	7,03±1,62	9,36± 0,78	22±3,00	82,80±5,01
139	7,67± 0,42	7,23± 0,45	32,33±5,77	67,53±1,50
<b>Moyenne</b>	7,23±0,84	9,89±1,81	29,60±4,52	88,20±16,79

### III-1-4-5-Etude de caractères d'épi ; glumes et barbes

Les variétés de blé à barbe noire sont légèrement prédominantes comparées à celles à barbe blanche (Tableau .13). Ce résultat est en concordance avec celui de Jain *et al* ; (1975), qui a indiqué qu'au sud de l'Europe et au nord de l'Afrique, les blés tétraploïdes à barbe noire sont les plus fréquents. Les noms que les agriculteurs donnent à leurs variétés traditionnelles sont essentiels à leur existence et même à leur exploitation (Sadiki *et al* ; 2007). En général, les agriculteurs nomment leurs variétés locales en se basant sur les caractéristiques agro-morphologiques, éco-adaptatives, qualitatives et sur leur utilisation. Les agriculteurs désignent leurs variétés en se basant justes sur la couleur de barbes « IKahla » (noire) et « Lbyda » (blanche). Comme Guemh Lehmar (blé dur rouge) (Chentoufi *et al* ; 2014).

La couleur blanche des épis des variétés de la collection est très fréquente par rapport aux autres modalités. Plusieurs facteurs pourraient expliquer la différence des fréquences des trois classes phénotypiques de la couleur de l'épi selon les localités, notamment, les facteurs naturels tel que l'adaptation aux conditions locales et les facteurs humains essentiellement la préférence des agriculteurs (Belhadj *et al* ; 2015).

De plus 50% des variétés ont montré une glume glabre ; et 50 % présentent des glumes poilues (Tableau .12). Al khanjari *et al* ; (2008) ont remarqué une fréquence plus élevée des glumes poilues dans la collection de blé dur d'Oman. Le caractère pilosité est un trait dominant héréditaire monogénique (Mcintosh ; 1988), mais sa fréquence est plus faible que l'allèle récessif, ce qui suggère la présence d'un désavantage de sélection lié à ce gène. Bien que la signification d'adaptation de la présence de poils sur les épis de blé dur ne soit pas clairement connue, son association avec la résistance au caries de kernal (*Tilletia indica*) (Warham ; 1988), et l'oïdium (*Erysiphe graminis*) (Negassa ; 1986) a été rapportée (Ayed *et Amara* ; 2009). Panin , (1986) cité par Boudour *et al* ; (2011), suggère qu'il peut y avoir un lien génétique entre les gènes de la gliadine et ceux qui déterminent la pilosité.

**Tableau. 13 :** Quelques caractères de l'épi, barbes et glumes de 26 variétés

Variétés	Couleur de l'épi à la maturité	Couleur des barbes	Pilosité de la glume
N2	blanc	Blanchâtre	absente
N8	blanc	Blanchâtre	absente
N9	Fortement coloré	Brune pale	présente
N23	blanc	Brune pale	présente
N33	blanc	Brune pale	présente
N38	blanc	Brune pale	présente
N39	blanc	Blanchâtre	présente
N54	blanc	Blanchâtre	absente
N79	blanc	Brune pale	absente
N82	Fortement coloré	Brune pale	présente
N83	blanc	Noire	absente
N84	blanc	Noire	absente
N85	blanc	Noire	absente
N86	blanc	Noire	absente
N88	Fortement coloré	Noire	absente
N89	blanc	Noire	présente
N90	Fortement coloré	Noire	absente
N91	blanc	Noire	absente
N92	blanc	Brune pale	présente
N93	blanc	Brune pale	absente
N99	blanc	Blanchâtre	présente
N107	blanc	Brune pale	présente
N115	blanc	Noire	Absente
N123	blanc	Blanchâtre	présente
N129	blanc	Blanchâtre	présente
N139	blanc	Noire	présente

### III-1-5- Paramètres agronomiques

#### III-1-5-1-Nombre de talles herbacées (NTH)

La meilleure capacité de tallage herbacé s'observe chez les variétés : Mexicali ; Capeiti 8 et Chen 'S' avec 5.33 talles herbacées, cependant la valeur minimale 1,6 talles par plante est enregistrée chez les variétés Sigus et Simeto (Tableau.14). L'analyse de la variance, nous révèle des différences non significatives pour ce paramètre (annexe.01).

Melki et Dahmane ; (2008) ont comparé le nombre de talles herbacées de l'ensemble des nouvelles lignées de blé dur à la variété Mahmoudi qui a donné le maximum de talles végétatives par plante (6,6 talles). Six lignées se distinguent en dépassant significativement ce témoin de 34,54 à 67,57 %. La capacité de tallage est considérée et reconnue comme l'un des principaux traits de plasticité en réponse à des conditions environnementales différentes (Mossad et al ; 1995. Acevedo et al ; 2002). La

puissance de tallage est pour certains auteurs l'origine d'une consommation d'eau non traduite par une production conséquente en épis et en grains, ce qui diminue alors l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante quand elle est confrontée à une contrainte hydrique. Un bon tallage herbacé combiné avec une grande surface foliaire n'est pas désirable sous de telles conditions. En revanche, un tallage herbacé élevé couplé à une surface foliaire réduite pourrait mieux convenir (Melki et Dahmane ; 2008).

### **III-1-5-2-Nombre de talles épis (NTE)**

Pour ce paramètre les valeurs s'étalent entre 0.6 pour Simeto et Sigus, Hedba-03 et 3.0 talles épis présentée par la variété Capeiti 8 (Tableau.14). L'arrêt de tallage ainsi la production de nombre de talles fertiles est conditionnée par de nombreux facteurs génétiques, physiologiques et environnementaux. Un gène d'inhibition du timon (Tin1), a été cartographié sur le chromosome 1AS, qui est responsable de tallage précoce induit un arrêt de croissance des bourgeons axillaires (Xie et al ; 2016).

A la lumière des résultats obtenus nous remarquons que les variétés présentant des valeurs faibles de talles herbacées produisent aussi moins de talles épis et vis versa. Benbelkacem *et al.* (1984) ont constaté qu'une augmentation importante du nombre de talles herbacées engendre une augmentation du nombre de talles épis, mais aussi une mortalité élevée. Selon Kirby (2002) cité par Moaedy et al, (2009) signalent que l'obtention de nombre 1.5 de talles fertiles est normale en conditions environnementales souhaitables.

Des résultats obtenus par Elhani et al ; (2007) révèlent que les génotypes à haute teneur en tallage ont montré des rendements similaires à ceux des génotypes avec un tallage restreint, assurant un rendement minimum dans des conditions de stress hydrique. Il n'y avait aucune preuve d'un effet positif ou négatif du nombre maximum de talles sur le rendement en grains dans les conditions pluviales.

En revanche, Nazeri ; (2005) dans l'étude de génotype triticale et ghodsi ; (2004) dans l'étude des cultivars de blé tendre ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative dans le taux de survie total et fertile sous condition de déficit hydrique.

### **III-1-5-3- La capacité de transformation de talles herbacées en talles épis**

La variété Mexicali qui a présenté la moyenne la plus élevée en talles herbacées a montré contrairement une faible capacité de transformation en talles épis, or que les meilleurs taux ont été enregistrés chez les variétés Boussellem et Capeiti 8 (Tableau.14).

Loss and Siddique ; (1994) ont constaté que de nombreuses variétés de blé méditerranéennes plus anciennes produisent un grand nombre de talles incapables de

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

produire des épis, tandis que les variétés plus récentes produisent moins de talles totales, mais plus de talles fertiles.

L'analyse de la variance, représentée dans l'annexe.01, nous révèle des différences très hautement significatives pour ce paramètre. L'effet de variation des génotypes sur le tallage a déjà été signalé par plusieurs auteurs (Slafer et Araus ; (2007), Accevo et al ; (2002) et Ghodsi et al ; (2004) et Moaedy et al ; (2009)).

Selon El hani et al ; (2007). Les génotypes avec une bonne capacité de tallage devraient être utilisés à faible densité végétale, et à l'inverse les génotypes à faible capacité de tallage devraient être complétés par une forte densité végétale pour produire un nombre optimal de plantes compétitives.

**Tableau .14 :** Nombre moyen de talles herbacées (NTH) et nombre de talles épis (NTE), ratio NTE/NTH de 26 variétés.

variétés	NTH	NTE	NTH/NTE	Ecartype
<b>2</b>	5,33	2,66	0,5	0,1
<b>8</b>	5,33	3,00	0,56	0,05
<b>9</b>	4,33	2,00	0,47	0,06
<b>23</b>	5,33	2,66	0,51	0,09
<b>33</b>	4,00	2,00	0,48	0,14
<b>38</b>	4,33	1,66	0,36	0,13
<b>39</b>	4,00	2,33	0,61	0,1
<b>54</b>	3,00	1,33	0,44	0,2
<b>79</b>	3,33	1,66	0,5	0,17
<b>82</b>	4,00	1,66	0,41	0,09
<b>83</b>	3,66	1,33	0,36	0,13
<b>84</b>	2,33	0,66	0,19	0,17
<b>85</b>	4,33	1,00	0,23	0,03
<b>86</b>	2,66	1,00	0,25	0,25
<b>88</b>	3,00	1,33	0,44	0,1
<b>89</b>	3,00	1,00	0,36	0,13
<b>90</b>	3,66	1,00	0,22	0,2
<b>91</b>	5,00	200	0,39	0,35
<b>92</b>	3,00	1,33	0,47	0,06
<b>93</b>	1,66	0,66	0,28	0,25
<b>99</b>	2,33	1,33	0,37	0,32
<b>107</b>	3,33	1,33	0,46	0,24
<b>115</b>	3,66	2,00	0,56	0,1
<b>123</b>	4,00	1,33	0,31	0,3
<b>129</b>	1,66	0,66	0,28	0,25
<b>139</b>	3,00	1,00	0,36	0,13
<b>Moyenne</b>	3,59	1,54	0,40	0,16

### **III-2-Etude de performance de rendement des variétés de blé dur vis-à-vis les conditions climatiques**

#### **III-2-1-Conditions climatiques de la deuxième campagne 2012/2013**

##### **III-2-1-1-Pluviométrie**

La deuxième campagne 2012/2013 a été nettement inférieure en quantité pluviométrique cumulée (392,3 mm) par rapport à la moyenne sur 25 ans établie par les services de l'office nationale de la météorologie (486,5 mm), soit un écart négatif de 94,2 mm. En valeur absolue on note un net déficit de la pluviométrie des mois de Septembre à fin Décembre 2012 comparativement à la moyenne normale de l'O.N.M soit 193,9 mm par rapport à 118 mm (Tableau. 15). Cet écart est négatif d'environ 76 mm ce qui laisse apparaître un début de campagne relativement sec ; si les mois de Septembre et Octobre ne montrent presque pas de déficit et où cela n'influent pas directement sur le végétal (le semis ne s'effectuant en général que plus tard) mais sur le stock d'humidité emmagasiné dans le sol et cela a même aidé les agriculteurs à labourer ou à reprendre les labours avec aise et facilité.

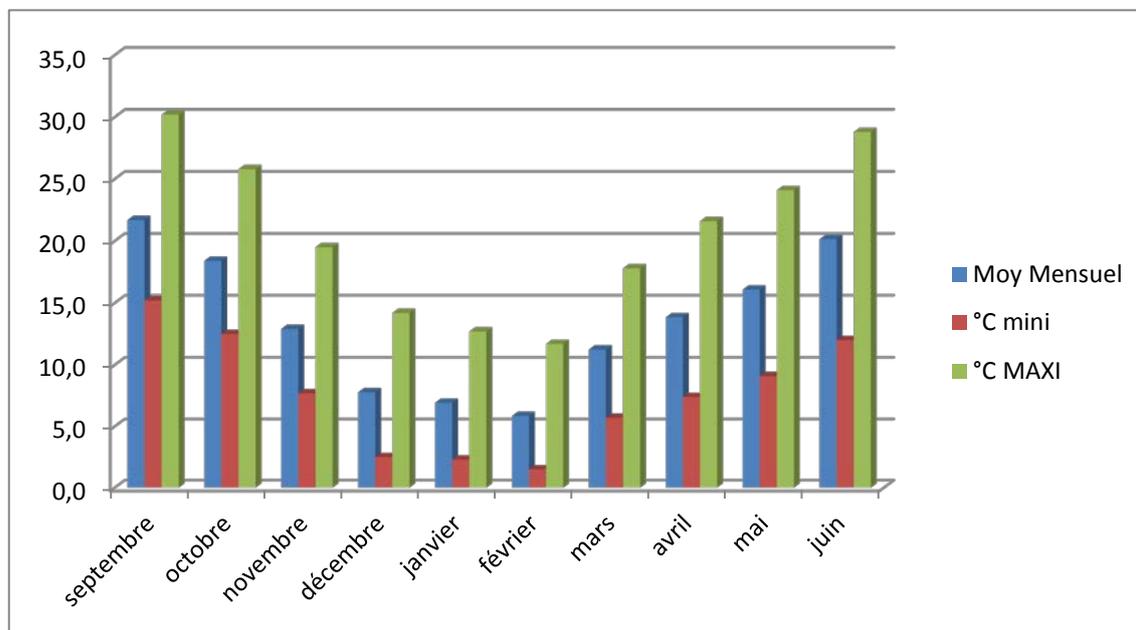
**Tableau. 15:** Pluviométrie 2012/2013 comparée à la moyenne ONM de 25 ans à Constantine

<b>Mois</b>	<b>Pluvio. mm</b>	<b>Mm 25 ans</b>	<b>Ecart</b>
<b>Septembre</b>	36,2	37,5	-1,3
<b>Octobre</b>	33,4	38,6	-5,2
<b>Novembre</b>	29,4	44,6	-15,2
<b>Décembre</b>	19	73,2	-54,2
<b>Janvier</b>	64	62,8	+1,2
<b>Février</b>	111,9	53,8	+58,1
<b>Mars</b>	47,4	56,2	-8,8
<b>Avril</b>	31	59	-28
<b>Mai</b>	10	42,3	-32,3
<b>Juin</b>	10	19,3	-9,3
<b>Moyenne</b>	392,3	486,5	-94,2mm

##### **III-2-1-2-Température**

Pour la deuxième campagne ; le thermomètre est beaucoup plus monté en Septembre et Octobre par rapport à la moyenne normale saisonnière indiquant qu'il a fait plus chaud en ce début de cycle, mais le temps c'est rafraîchi à partir de Décembre où durant la dernière décade. La température moyenne minimale n'a pas dépassé les 2.5°C.

Le froid a persisté et les températures moyennes sont encore descendues en Janvier et Février (6,9 et 5,9°C) avec des minimas moyenne de 2,3 et 1,5°C. Cela a affiché des fréquences de gelées hivernales de 55 jours au total avec 18, 16 et 18 jours en Décembre, Janvier et Février respectivement (Figure .15).



**Figure.15** : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales relevées de septembre 2012 à juin 2013 à Constantine.

### III-2-2-Rendement grain et ses composantes

#### ➤ Analyse des conditions climatiques au cours des deux campagnes 2011-2012 et 2012-2013

Durant la première campagne, le cumul pluviométrique a été bon dans l'ensemble ; il y avait des écarts négatifs mais cela n'a pas affecté beaucoup le bon développement du végétal étant donné la réserve existante dans le sol. En revanche c'est le paramètre température qui a influé sur la production par un effet important en hiver avec des basses températures sur plusieurs journées continues et avec de très nombreuses journées de gelée. Et au printemps ont a enregistré des fortes chaleurs.

Pour la seconde campagne, on a enregistré une diminution en quantité pluviométrique cumulée par rapport à la moyenne sur 25 ans. On a connu des déficits mensuels cumulés de Mars à Juin durant la période du plateau hydrique où les besoins des plantes sont au maximum. Plus les fréquences de gelées durant Décembre et Janvier et Février ce qui a ralenti fortement le développement végétatif.

### III-2-2-1-Poids de milles grains

Pendant la première campagne, les valeurs du PMG présentées par les variétés étudiées varient entre une valeur maximale de  $56,00 \pm 0,60$  g présentée par la variété Guemgoum Rkhem, et  $54 \pm 1,65$  g par Ofanto, puis une valeur minimale de  $30,70 \pm 3,04$  g observée chez Waha, avec une moyenne de 40,55g (Tableau.16).

Au cours de la deuxième campagne, On a noté un PMG élevé chez Guemgoum Rkhem ( $66,13 \pm 0,70$ ), Mexicali ( $62,96 \pm 1,91$ ), T.PolonicumxZ.Bouteille ( $62,70 \pm 1,99$ ), par contre Waha ( $49,30 \text{ g} \pm 1,41$ ) et Yavaros-79 ( $49,56 \pm 1,02$ ) présentent un faible PMG (Tableau.16). Pour cette campagne on a enregistré une moyenne de 55,82 g (Tableau.26), avec un gain de 15,27g par rapport à la première campagne.

Les moyennes les plus élevées sont notées chez les variétés italiennes 53,47 g et Algériennes 49,76g. La plus basse moyenne est enregistrée chez les variétés du CIMMYT 45,08g (Tableau.26). Pour ce paramètre l'analyse de la variance indique un effet très hautement significatif pour les variétés, l'année et pour l'interaction variétés x années (Tableau.17). L'analyse de la variance, représentée dans le tableau 18, nous révèle des différences très hautement significatives pour ce paramètre. Ceci suggère que des différences substantielles existent dans les réponses des géotypes évalués ; expliquée par l'effet des températures élevées enregistrées durant la première campagne à partir de la période d'épiaison, ensuite à la floraison allant jusqu' à le mois de Juin (période de remplissage de grain ou les températures ont atteint les  $41^\circ\text{C}$ ) provoquent une diminution de poids de milles grains. Les besoins thermiques par stade végétatif sont variables et évoluent selon un tracé en courbe (courbe de minimum) passant par les valeurs optimales suivantes :  $8-10^\circ\text{C}$  (stade développement),  $22-24^\circ\text{C}$  (stade épiaison-floraison) et  $22-24^\circ\text{C}$  (stade maturation) (Zouaoui et Bensaid ; 2007).

Selon Gate ; (2008), le poids des grains, qui sont principalement composés d'amidon nouvellement formé après floraison dépend donc en premier lieu de la photosynthèse des 2 dernières feuilles. L'optimum thermique de ce processus, pour le blé, se situe pour le remplissage des grains entre  $14^\circ\text{C}$  et  $17^\circ\text{C}$ .

En effet, lorsque les températures sont plus élevées, une plus grande fraction du  $\text{CO}_2$  atmosphérique qui pénètre dans les feuilles n'est pas intégrée dans la matière organique car il y a en ce cas, concurrence avec le phénomène de photo respiration. Quand la température est élevée sur plusieurs jours successifs, la température de la nuit finit également par augmenter. C'est alors la respiration nocturne qui est stimulée ; La plante est

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

alors contrainte d'utiliser une plus grande part de son énergie produite pour maintenir la viabilité de ses différents tissus.

A la lumière des résultats obtenus, on a constaté qu'il existe des niveaux de tolérance au cours de remplissage des grains pour les variétés italiennes et algériennes, présentant les moyennes les plus élevées, malgré leurs périodes de maturité relativement tardive. Tandis que les variétés du CIMMYT et ICARDA présentent une certaine sensibilité pendant cette dernière période. Pour un environnement variable, le génotype idéal est celui qui évite le stress hydrique grâce à la modulation de son cycle de développement. Il doit être capable de maintenir l'activité photosynthétique sous stress hydrique le plus longtemps possible, être apte à augmenter son taux de remplissage dans le cas où la durée de remplissage est fortement réduite et être en mesure d'utiliser les assimilats stockés si son potentiel de poids du grain est affecté (Bahlouli et al; 2007).

**Tableau.16 :** Moyennes poids de milles grains de 26 variétés durant les deux campagnes agricoles

Variétés	PMG 1ère campagne (g)	ET	PMG 2 <sup>ème</sup> campagne (g)	ET
2	40,03	0,67	53,20	7,11
8	41,93	1,60	62,97	1,91
9	30,70	3,04	49,30	1,42
23	38,00	1,67	55,27	4,03
33	34,03	0,32	55,57	1,04
38	36,07	0,90	51,13	1,32
39	39,03	1,29	52,07	0,80
54	32,67	1,74	50,97	0,95
79	42,00	3,40	62,70	1,99
82	38,97	1,25	53,23	0,74
83	40,00	1,00	59,17	0,35
84	40,00	4,71	54,30	1,57
85	44,00	0,87	57,53	0,15
86	47,33	4,84	52,57	0,61
88	37,00	0,78	53,93	1,88
89	56,00	0,61	66,13	0,71
90	40,00	1,21	51,10	0,35
91	43,67	2,46	55,57	0,61
92	37,03	0,25	56,67	2,20
93	39,90	2,26	60,97	1,33
99	38,07	1,45	49,57	1,03
107	40,00	0,46	62,23	2,27
115	54,00	1,65	61,10	1,51
123	42,00	1,00	52,13	0,74
129	41,90	0,62	55,73	1,05
139	40,03	0,47	56,30	1,61
<b>Moyenne</b>	40,55	1,56	55,82	1,51

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau. 17 :** Carrés moyens de l'analyse de variance du poids de milles grains des variétés de blé dur testées.

Source	DDL	Moyenne des carrés	F	Pr > F
variétés	25	122,573	30,388	< 0,0001***
Année	1	9094,354	2254,691	< 0,0001***
variétés× année	25	31,558	7,824	< 0,0001***

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

**Tableau. 18:** Résultats de l'ANOVA de la comparaison entre les variétés étudiées pour le poids de milles grains des deux campagnes agricoles

		Paramètres			
Variables	DDL	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
PMG 1ère campagne	25	2284,574	91,383	23,390	< 0,0001***
PMG 2ème campagne	25	1568,692	62,748	15,083	< 0,000***

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

### III-2-2-3-Le nombre de grains par épis

Durant la première campagne, la valeur maximale  $62,33 \pm 2,08$  grains par épi est enregistrée chez Gta/Dur69. La valeur minimale est présentée par la variété Righa  $32,66 \pm 3,05$  grain par épi, avec une moyenne de l'ordre de 42,82 (Tableau.19).

Au cours de la deuxième campagne. On a remarqué que les variétés Hoggar et Gta/Dur69 enregistrent les valeurs maximales avec un nombre de grain/épi égale à  $(53,33 \pm 8,32)$  et  $(53,00 \pm 10,58)$  respectivement. Cependant la variété Beni Mestina enregistre la valeur minimale avec  $(29,66 \pm 2,51)$  grains /E) suivie de la variété Guemgoum Rkhem avec  $(31,00 \pm 6,24)$  grains /E), et une moyenne de 42,71 (Tableau.19).

De ce fait Gta/Dur69 présente le nombre de grains par épi le plus élevé durant les deux campagnes ; adopte probablement des stratégies qui permettent de maintenir un niveau appréciable de productivité. Dans ce contexte, les valeurs les plus élevées sont notées chez les variétés du CIMMYT et de l'ICARDA avec 46,60 et 41,16 grains par épi, respectivement, suivies des variétés algériennes avec une moyenne de l'ordre de 40,11 grains par épi. La plus basse moyenne est enregistrée chez les variétés italiennes avec 38,61 grains par épi (Tableau.26). Des résultats similaires ont été obtenus par Amallah et

*al* ; (2016) dans l'étude de la diversité génétique de 294 accessions de blé dur composée de populations locales méditerranéennes, de lignées internationales du CIMMYT et de l'ICARDA, et de variétés modernes marocaines.

Miralles et *al* ; (2002), expliquent le nombre élevé de grains chez les variétés modernes par un nombre plus élevé de fleurons fertiles par épillet dans les variétés par rapport aux anciennes, en raison d'un partage plus élevé des assimilats de l'épi pendant la période critique avant la floraison.

L'analyse de variance, représentée dans le tableau 21, nous révèle des différences très hautement significatives et hautement significatives entre les variétés durant le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> essai respectivement. Des différences très hautement significatives apparaissent également concernant l'interaction (variétés× année) (Tableau.20). Ce qui implique que les variétés étudiées répondent différemment au stress hydrique pour ce paramètre. Plusieurs auteurs (Larbi et *al* ; 2004. Ben Abdallah et Ben Salem ; 1993) expliquent la variation du nombre de grains par épis par le déficit hydrique du printemps. Selon Gate ;(2008), la mise en place du nombre de grains/m<sup>2</sup> est moins affectée par les fortes températures que le remplissage des grains.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau .19 :** Moyennes nombre de grains par épi chez l'ensemble des variétés durant les deux campagnes agricoles.

Variétés	NG/E 1ère campagne	ET	NG/E 2 <sup>ème</sup> campagne	ET
2	45,00	5,00	50,67	5,86
8	38,33	3,06	39,00	4,58
9	52,67	2,52	44,67	2,89
23	43,33	4,04	39,67	8,08
33	48,33	2,08	53,33	8,33
38	48,00	1,73	44,33	6,81
39	52,33	2,52	46,33	9,29
54	32,67	3,06	41,33	6,35
79	47,33	4,73	46,67	2,52
82	35,67	3,21	39,00	7,55
83	34,00	4,58	42,00	6,24
84	51,33	6,11	44,33	5,86
85	33,67	6,43	46,00	4,58
86	38,00	2,00	35,00	6,00
88	36,00	3,61	37,33	5,51
89	33,67	7,51	31,00	6,24
90	40,67	3,06	44,67	6,43
91	42,33	4,51	43,67	5,51
92	62,33	2,08	53,00	10,58
93	40,33	4,51	42,67	10,02
99	33,33	3,06	48,67	4,73
107	55,33	3,06	36,67	1,15
115	39,67	7,64	42,67	10,02
123	40,00	9,17	44,67	6,11
129	40,00	3,00	43,67	3,06
139	49,00	4,58	29,67	2,52
<b>Moyenne</b>	42,82	4,11	42,72	6,03

**Tableau. 20 :** Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre de grains par épi des variétés de blé dur testées

Source	DDL	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variétés (V)	25	191,533	6,334	< 0,0001***
Année (A)	1	55,442	1,834	0,179 <sup>ns</sup>
Variétés × année	25	107,282	3,548	< 0,0001***

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau. 21** : Résultats de l'ANOVA de la comparaison entre les variétés étudiées pour le nombre de grains par épi des deux campagnes

Variables	DDL	Paramètres			
		Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
<b>NGE 1ère campagne</b>	25	4603,487	184,139	9,016	< 0,0001***
<b>NGE 2ème campagne</b>	25	2893,551	115,742	2,879	0,001**

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

### III-2-2-4-Le nombre d'épis/ m<sup>2</sup>

Durant la première campagne, le nombre d'épi est très variable ; la valeur maximale est de  $203,33 \pm 16,85$  épis /m<sup>2</sup> observée chez la variété Cocorit C71, par contre la valeur basse est enregistrée chez Bidi17, Guemgoum Rkhem, Hedba3, Djennah Khetifa avec des moyennes de  $(74,67 \pm 13,18)$  ;  $(88,67 \pm 14,19)$  ;  $(91,33 \pm 14,11)$  ;  $(92,00 \pm 14,18)$  respectivement (Tableau.22).

Durant la deuxième campagne, c'est la variété Hoggar qui a présenté le nombre d'épi par m<sup>2</sup> le plus élevé ( $112,66 \pm 29,10$ ) ; ainsi la variété Tassili ( $105,33 \pm 34,50$ ). Les valeurs minimales sont enregistrées chez Ofonto ( $55,67 \pm 8,18$ ), Bidi17 ( $56,67 \pm 10,21$ ) (Tableau.22).

Dans notre étude, le nombre d'épi par mètre carré semble être affecté par le déficit hydrique. Dans le deuxième essai, l'ensemble des variétés testées présentent des valeurs basses par rapport au premier essai avec des moyennes de l'ordre de 125,56 et 82,47 respectivement (Tableau.22), et une diminution de 41,09 épis par m<sup>2</sup>.

Les variétés du CIMMYT, et d'ICARDA se caractérisent par le nombre d'épi par m<sup>2</sup> le plus élevé au cours de deux campagnes avec les moyennes ( $135,40$  et  $88,73$  épis par m<sup>2</sup>) et ( $129,56$  et  $88,33$  épis par m<sup>2</sup>). Tandis que la moyenne la plus faible est enregistrée chez le groupe de variétés algériennes ( $108,87$  et  $78,43$  épis par m<sup>2</sup>) (Tableau.26).

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau.22** : Moyennes nombre d'épi par m<sup>2</sup> chez l'ensemble des variétés durant les deux campagnes agricoles.

Variétés	NE/m <sup>2</sup> 1ère campagne	ET	NE/m <sup>2</sup> 2 <sup>ème</sup> campagne	ET
2	140,00	14,28	87,33	21,64
8	168,67	13,01	73,33	15,37
9	95,33	14,05	99,00	13,37
23	96,00	15,10	85,67	8,26
33	182,00	15,62	112,67	29,10
38	121,33	20,21	64,00	12,68
39	161,33	18,26	105,33	34,50
54	203,33	16,85	88,00	18,40
79	140,00	16,22	63,00	6,48
82	116,67	23,49	81,00	21,92
83	109,33	17,74	91,33	11,44
84	91,33	14,11	59,67	11,90
85	74,67	13,18	56,67	10,21
86	100,00	16,00	79,67	9,74
88	92,00	14,18	95,67	10,21
89	88,67	14,19	75,67	9,74
90	138,67	16,37	85,67	20,24
91	137,33	17,72	96,00	21,42
92	122,00	23,46	81,67	16,50
93	168,67	13,01	78,67	6,13
99	110,00	16,72	93,33	13,47
107	122,67	19,41	70,33	20,53
115	96,00	21,18	55,67	8,18
123	113,33	9,87	87,33	11,09
129	152,00	22,48	94,00	18,71
139	123,33	21,59	83,67	21,70
<b>Moyenne</b>	125,564	16,28	82,47	15,50

L'analyse de la variance, révèle l'existence d'une différence génotypique hautement significative, ainsi qu'un effet année très hautement significatif (Tableau. 23). Un stress hydrique hivernal et/ou des basses températures du début printemps peuvent causer une forte réduction de cette composante (Gate ; 1995). Plusieurs auteurs ont confirmé la sensibilité de ce paramètre vis-à-vis le stress hydrique printanier (Bouzerzour et Benmahammed ; 1994, Mekhlouf *et al* ; 2004). Le stress hydrique et les hautes températures de la période des 10 jours avant et après la date de réalisation du stade épiaison sont délétères à cette composante (Mekhlouf *et al* ; 2012). Selon Gundouz *et al* ; (2013), dans le cas des conditions de stress hydrique, seul le nombre d'épi / m<sup>2</sup> qui a eu un effet direct et plus positif sur le rendement en grain.

**Tableau .23 :** Carrés moyens de l'analyse de variance du nombre d'épi par m<sup>2</sup> des variétés de blé dur testées

Source	DDL	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variétés (V)	25	2264,427	2,398	0,001**
Année (A)	1	63807,853	67,577	< 0,0001***
Variétés × année	25	1266,786	1,342	0,154 <sup>ns</sup>

ns : effet non significatif, \* : effet significatif p<0,05, \*\* : effet hautement significatif p<0,01, \*\*\* : effet très hautement significatif p<0,00

### III-2-2-5-Comparaison du rendement grains durant les deux campagnes agricole

Durant la première campagne, le rendement varie entre 331,89 et 110,27 g /m<sup>2</sup>, avec une moyenne de 212,312 g/m<sup>2</sup>. Les géotypes Tassili 331,89 g/m<sup>2</sup>, Hoggar 299,85 g/m<sup>2</sup> T.PolonicumxZ.Bouteille 282,53g/m<sup>2</sup> et Gta/Dur69 280,62g/m<sup>2</sup> se distinguent par le rendement le plus élevé. On remarque que les plus faibles valeurs ont été obtenues par les variétés Djennah Khetifa et Bidi17 (Tableau.24).

Pendant la deuxième campagne les valeurs de rendement s'étalent entre 104,723g/m<sup>2</sup> et 333,209 g/m<sup>2</sup> avec une moyenne de 195,14 g/m<sup>2</sup> soit une réduction de 17,172g/m<sup>2</sup> par rapport à la première campagne (Tableau.24). Les meilleurs rendements moyens sont détenus par les variétés Hoggar et Tassili durant la 2ème campagne aussi. On remarque que les plus faibles valeurs ont été obtenues par la variété Ofonto (104,73 g/m<sup>2</sup>) (Tableau.24). En effet Hoggar et Tassili, semblent exprimer de manière claire leurs aptitudes à produire même en conditions climatiques défavorables à l'exemple de la campagne 2012- 2013.

Ceci nous amène à l'idée que pour des cultures pluviales telles que le blé, le souci premier doit être la répartition mensuelle de pluie et notamment celles coïncidant avec les périodes reproductrices et de maturation. Le déficit hydrique est le stress qui réduit la croissance et la production des cultures, car il implique tous les processus physiologiques et chimiques de la plante, provoque des effets négatifs sur la transpiration, la photosynthèse, la respiration et les réactions métaboliques et produit des variations anatomiques (Ribot et *al* ; 2012).

De plus, l'augmentation de la température peut avoir des effets négatifs sur le nombre et la fertilité des épis du blé et par conséquent sur le rendement en grains (Bhourri Khila et *al* ; 2015).

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau. 24 :** Moyennes rendement en grains de 26 variétés durant les deux campagnes agricoles.

Variétés	RDT 1ère campagne (g/m <sup>2</sup> )	ET	RDT 2 <sup>ème</sup> campagne (g/m <sup>2</sup> )	ET
2	255,23	28,43	231,26	32,19
8	270,61	21,70	180,08	31,28
9	154,88	23,84	217,36	33,56
23	156,80	23,24	193,30	38,95
33	299,85	26,89	333,21	34,74
38	209,23	26,01	141,53	14,80
39	331,90	32,66	266,03	33,38
54	216,27	23,26	190,00	31,18
79	282,54	38,97	184,42	26,70
82	165,35	26,33	165,12	32,00
83	149,51	22,59	230,49	37,44
84	186,55	26,07	145,65	30,66
85	110,28	27,43	149,31	30,51
86	176,58	29,94	144,63	17,21
88	120,18	24,76	192,95	31,80
89	163,15	27,28	156,72	30,14
90	224,69	25,64	201,36	34,67
91	262,10	29,59	233,02	37,37
92	280,62	33,71	251,76	34,48
93	190,89	34,37	207,91	37,84
99	138,37	32,44	222,46	16,29
107	272,82	27,72	161,04	30,50
115	214,01	29,51	104,73	25,26
123	189,21	18,67	200,68	13,54
129	250,65	28,16	225,66	37,09
139	247,85	27,02	142,97	39,15
<b>Moyenne</b>	212,31	27,80	195,14	30,17

### III-2-2-6-Synthèse des résultats des performances agronomiques des variétés

A la lumière des résultats obtenus des deux campagnes agricoles (Tableau.26) et des caractéristiques climatiques, il nous semble possible de tirer quelques caractéristiques du comportement des variétés en situation globalement moins défavorable (année 2012-2013) et globalement favorable (année 2011-2012).

C'est ainsi qu'on peut identifier un premier groupe constitué des variétés du CIMMYT (Mexique) ; montrent les meilleures moyennes en rendement grains durant les deux campagnes avec 231,60 et 220,79g/m<sup>2</sup> respectivement ; et une moyenne de 226,20 g/m<sup>2</sup>. Selon Fischer ; (2011), dans les variétés de blé dur du CIMMYT, la stérilité des épis est un facteur important dans la variation du potentiel de rendement.

Une étude établie par Merabet et Boutiba ; (2005) montre que les variétés introduites présentent, pour tous les traitements et pour toutes les campagnes, une nette supériorité par rapport aux variétés locales. Les résultats obtenus par Bensalem et *al* ; (2001) montrent que sur le plan variétal les variétés dites à hauts rendements en grains peuvent s'avérer aussi stables que les variétés dites « anciennes ».

Le deuxième groupe est constitué de variétés obtenues à partir d'ICARDA, considérées comme moyennement productives présentent des rendements de (229,23 et 189,77 g/m<sup>2</sup>) durant la 1<sup>ère</sup> et la deuxième campagne respectivement et une moyenne de 209,50 g/m<sup>2</sup>.

Le troisième groupe est composé de variétés de provenance italiennes ; (Simeto, Ofonto et Capeiti8), présentent un rendement en grain de l'ordre de 225,17g/m<sup>2</sup> durant la 1<sup>ère</sup> campagne et 164,23 g/m<sup>2</sup> au cours de la 2<sup>ème</sup> campagne, ce groupe ne semble vouloir exprimer son potentiel productif que sous des conditions climatiques favorables. Car on a enregistré pour ce groupe une diminution du rendement assez importante par rapport aux autres groupes de variétés étudiées de l'ordre de 60 ,93 g/m<sup>2</sup>.

Le dernier groupe est formé de variétés algériennes affichent des rendements compris entre 184,09 et 180,36 g/m<sup>2</sup> durant les deux campagnes respectivement. Produisant la moyenne la plus faible 182,23 g/m<sup>2</sup> et une perte de 3,724 g/m<sup>2</sup> par rapport à la première campagne. Selon Hazmoune ; (2002), les génotypes locaux Bidi 17, Hedba 3, O.Zenati 368, sont maintenus en culture beaucoup plus pour leur paille haute que pour leur production en grain. Leur stabilité dans le rendement en année de sécheresse les rend désirés.

### **III-2-2-6-1- Effet variétés et l'interaction variétés x années**

Les résultats de l'analyse de la variance des deux essais, montrent un effet variété très hautement significatif (Tableau.25). Ceci suggère la présence de la variabilité génétique utilisable en sélection. Cette variation assez large du rendement en grain est suggestive de celle des conditions climatiques qui induisent des réponses très variés des différents génotypes évalués.

On a enregistré un effet non significatif entre les deux années et les variétés. Il est à noter que les interactions variétés x années entraînent très souvent des modifications importantes du comportement variétal qui dans le contexte assez limité de 2 campagnes agricoles, et d'un seul site ne nous permet pas de les déterminer et les caractériser avec une bonne approximation. D'où la nécessité de conduire des essais de comportement multi sites et multi années pour identifier les génotypes performants pour le milieu ciblé.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur cultivée en Algérie

**Tableau. 25 :** Carrés moyens de l'analyse de variance du rendement en grains (RDT) des variétés de blé dur testées.

Source	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr > F
rendement	51	8863,516	1,872	0,004***
Variétés (V)	25	12229,370	2,583	0,000***
Année (A)	1	9340,261	1,973	0,163 <sup>ns</sup>
Interaction (V ×A)	25	5478,593	1,157	0,297 <sup>ns</sup>

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien

**Tableau .26 :** Résultats des tests de l'analyse de la variance (ANOVA) de rendement et ses composantes selon le type des génotypes.

Rendement et ses composantes	Groupes de variétés selon la provenance				Ecart type	ddl	MC
	Variétés algériennes	Variétés du CIMMYT	Variétés ICARDA	variétés italiennes			
RDT 1ère campagne	184,092 <sup>a</sup>	231,597 <sup>a</sup>	229,238 <sup>a</sup>	225,170 <sup>a</sup>	27,788	8	1511 ?409
RDT 2ème campagne	180,368 <sup>a</sup>	220,795 <sup>a</sup>	189,771 <sup>a</sup>	164,239 <sup>a</sup>	30,167	8	1698.948
Moyenne RDT	182,230	226,196	209,504	194,704			
PMG 1ère campagne	42,897 <sup>b</sup>	36,563 <sup>c</sup>	41,311 <sup>b</sup>	45,278 <sup>a</sup>	3,435	8	40 ,628***
PMG 2ème campagne	56,623 <sup>b</sup>	53,597 <sup>c</sup>	54,722 <sup>bc</sup>	61,678 <sup>a</sup>	3,354	8	34,902***
Moyenne PMG	49,760	45,080	48,017	53,478			
NEP/m <sup>2</sup> 1ère campagne	108,867 <sup>b</sup>	135,400 <sup>a</sup>	129,556 <sup>a</sup>	144,444 <sup>a</sup>	16,281	8	683,866**
NEP/m <sup>2</sup> 2 ème campagne	78,433 <sup>a</sup>	88,733 <sup>a</sup>	88,333 <sup>a</sup>	69,222 <sup>a</sup>	11,606	8	258,756
Moyenne NEP/m <sup>2</sup>	93,650	112,067	108,944	106,833			
NG/E 1ère campagne	39,267 <sup>b</sup>	47,333 <sup>a</sup>	43,000 <sup>ab</sup>	39,444 <sup>b</sup>	4,249	8	43,174*
NG/E 2ème campagne	40,967 <sup>b</sup>	45,867 <sup>a</sup>	39,333 <sup>b</sup>	39,333 <sup>b</sup>	3,066	8	28,619**
Moyenne NG/E	40,117	46,600	41,167	39,389			

MC : moyenne des carrés. \*P < 0,05, \*\* P < 0,01 et \*\*\*P < 0,001

### III-3-Etude de corrélations entre les paramètres quantitatifs mesurés

L'analyse des corrélations entre les paramètres mesurés montre qu'il existe des relations positives et négatives entre ces paramètres allant d'une corrélation faible à élevée (Tableau.27).

La connaissance des liaisons qui existent entre les différents traits permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Cependant, l'étude des corrélations (Tableau 27) a montré une relation négative et significative entre la date d'épiaison et le nombre d'épi par m<sup>2</sup> ( $r=-0.481$ ), et le rendement grain ( $r=-0.424$ ). Ces résultats suggèrent qu'une croissance plus ou moins précoce donne un nombre élevé d'épis par /m<sup>2</sup>, et par la suite à une amélioration du rendement grains du blé dur. La plupart des variétés originaires du CIMMYT et Italie ainsi d'ICARDA qui ont un cycle de développement court à l'exemple de Mexicali (135 ,66j) et Tassili (140,33j) et Capeiti 8 (135,66j), semblent tirer profit de leurs précocité en optant éventuellement des stratégies qui leurs permettent de maintenir un rendement supérieur à 250g/m<sup>2</sup>. La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible, et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Slama et al ; 2005). De même Dekkaki et al ; (2000) enregistrent une relation étroite entre le rendement grain et le nombre de jours à l'épiaison ( $r = 0,86$ ). Selon Mekhlouf et al ; (2006), la sélection variétale doit privilégier l'obtention de variétés dont la date de précocité d'épiaison, peu variable (en termes de jours calendaires) d'une année à l'autre, devra coïncider avec la période optimale d'épiaison. L'obtention d'une productivité optimale et stable passe par l'obtention de ce type de variété.

La date d'épiaison présente aussi une corrélation très hautement significative avec la hauteur de la plante ( $r=0.682$ ), et une relation significative avec la surface foliaire ( $r=0.475$ ). En milieu variable, les caractères morphologiques peuvent jouer des rôles assez importants. Selon Blum ; (1988), l'existence d'une liaison positive entre la hauteur de la plante et la tolérance à la sécheresse peut s'expliquer, par l'aptitude des génotypes à paille haute à remplir le grain en cas de déficit hydrique terminal par la quantité d'assimilat stockée dans la tige et la capacité de remobiliser ces réserves.

La surface de la feuille étendard est aussi importante, vu que cet organe est le dernier qui reste en activité, avec l'épi et les barbes, pour produire les assimilats nécessaires au remplissage du grain. Une feuille étendard aux larges dimensions est certainement désirable en milieux favorables (Salmi et al ; 2015).

## **Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien**

La date de maturité est significativement corrélée avec le PMG, cette liaison est expliquée par une accumulation plus importante de réserves ; en conséquent les grains sont bien remplis (Sayar et *al* ; 2007). Ceci rejoint les résultats que nous avons obtenus sur les génotypes algériens dans le deuxième essai. Des résultats similaires ont été obtenus par Megherbi-Benali et *al* ; (2014).

Le rendement grain présente une corrélation très hautement significative avec les variables suivantes : le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r= 0.721$ ), le nombre de grains par épis ( $r=0.597$ ). Les variétés Tassili et Hoggar produisent un nombre de grains par épi le plus élevé d'environ 180 épis /m<sup>2</sup>, aussi un nombre de grains par épis supérieur à 45 grains, se caractérisent par un rendement grain à l'entour de 30q/h. Ces résultats sont en accord avec plusieurs recherches qui montrent que le rendement est constitué de différentes composantes qui se mettent en place successivement ou simultanément au cours du développement de la culture (Masse ; 1981). L'amélioration du rendement passe nécessairement par le raisonnement du nombre de grains par épi qui explique 75 % des variations du rendement (Barkat ; 2005). Ces résultats corroborent aussi ceux de Blum et Pnuel ;(1990) et Erchidi et *al* ; (2000) qui mentionnent que le rendement en grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'au poids moyen du grain (Belkharouché et *al* ; 2009). De même Sayar et *al* ; (2007) suggèrent que le nombre des grains par épi contribue considérablement au rendement en grains, surtout sous le régime pluvial.

Au Canada, Mc Caig et Depauw; (1995) ont signalé des améliorations du rendement dans le blé dur d'environ 0,81% y<sup>-1</sup>, principalement en fonction de l'augmentation du nombre de grains par épi. Au CIMMYT, Waddington et *al* ; (1987) et Pfeiffer et *al* ; (2000) ont rapporté des augmentations de rendement de grain en fonction d'une augmentation linéaire du nombre de grains par m<sup>2</sup> (Melki et Dahmane ; 2008).

D'après Benbelkacem et Kellou ; (2000), le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après floraison combiné aux températures élevées entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage ce qui se traduit par l'échaudage des grains. Sinha et *al* ; (2006) ont signalé une corrélation non significative entre le poids de 1000 grains et le rendement par plante en conditions irrigués. Le rendement est corrélé positivement avec le rapport NTE/NTH ( $r=0.459$ ). Les résultats de cette étude indiquent que la capacité à maintenir des talles fertile en vie a contribué à la productivité des plantes, confirmant son rôle en tant que facteur déterminant du rendement. Izanlo et *al* ; (2008) notent que la principale

## **Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien**

---

composante associée à la réduction du rendement est le nombre de grains par épi et le nombre de talles fertiles. Berry et al ; (2003) ont conclu à partir d'une expérience sur le blé d'hiver que les talles non-vivantes ont un effet négatif sur le rendement dans la plupart des situations en faisant concurrence aux ressources avec des talles fertiles, les effets étant plus sévères dans les situations de sécheresse. Les combinaisons de traits comme le nanisme, et un NTE/NTH fort ( $r=-0,379$ ), NEP/m<sup>2</sup> (**0,361**) offrent autant de modèles à l'agronome ou à l'améliorateur pour sélectionner l'association la plus efficace sous des conditions différentes de stress hydrique.

Le rendement est corrélé négativement à la TRE, les génotypes algériens O.Zenati 368 ; Mohamed Ben Bachir 8037, Guemgoum Rkhem présentant les teneurs relative en eau les plus élevés, sont relativement les variétés les moins productives. Selon Fellah et al ; (2002) les génotypes tolérants aux stress abiotiques minimisent la baisse du rendement en grain dans les environnements défavorables alors que les génotypes sensibles valorisent nettement mieux les sites et environnements favorables à l'expression de hauts rendements en grains. Des résultats similaires ont été enregistrés durant la deuxième campagne chez la variété Mohamed Ben Bachir 8037 malgré le déficit hydrique, cette dernière présente une meilleure stabilité de rendement en grains avec une moyenne de 165,125g/m<sup>2</sup> et cela durant les deux campagnes.

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien

**Tableau 27** : Matrice de corrélation entre les différents traits

Variables	épiaison	maturité	NTE/NTH	TRE	LEP	LB	HP	SF	TC	NEP/m <sup>2</sup>	PMG	NGE
maturité	<b>0,81***</b>											
NTE/NTH	<b>-0,459*</b>	<b>-0,436</b>										
TRE	0,263	0,165	-0,021									
LEP	-0,234	-0,340	0,159	-0,328								
LB	0,267	0,390	-0,262	-0,008	-0,119							
HP	<b>0,682***</b>	<b>0,570</b>	<b>-0,379</b>	0,255	-0,010	<b>0,488**</b>						
SF	<b>0,475*</b>	0,304	-0,281	-0,129	-0,031	0,271	0,103					
TC	0,290	0,284	-0,294	-0,227	-0,198	0,272	-0,150	0,357				
NEP/m <sup>2</sup>	<b>-0,481*</b>	<b>-0,426</b>	<b>0,361</b>	-0,358	-0,031	-0,179	-0,156	-0,364	-0,278			
PMG	0,227	<b>0,582**</b>	-0,132	0,132	-0,068	0,166	0,317	0,339	0,304	-0,378		
NGE	-0,120	-0,224	0,280	-0,268	0,371	-0,003	-0,255	0,006	0,115	0,094	-0,339	
RDT	<b>-0,424*</b>	-0,274	<b>0,459*</b>	<b>-0,446*</b>	0,145	-0,080	-0,157	-0,174	0,003	<b>0,721***</b>	-0,087	<b>0,597***</b>

(\* , \*\* et \*\*\*significative à5%, 1% et 0.1%respectivement)

### **III-4-Analyse en composante principale**

#### **III-4-1-Analyse du nuage de points-variables**

Une analyse en composantes principales a été réalisée à partir des 13 variables. On remarque que le premier axe explique à lui seul 33,772% de l'information, les deux premiers axes développent 49,048%, les trois axes expliquent 60,042%, et les quatre premiers axes présentent 69,435% ainsi les cinq premiers axes expliquent 77,363% de la variation totale (annexe.02). Donc ces cinq axes résument mieux l'information apportée par l'ensemble des variables initiales. Du côté positif, la première composante (axe 1) intègre l'information relative à la variation des variables : durée d'épiaison et maturité, la SF, la LB. Du côté négatif, le ratio NTE/NTH, le NEP/m<sup>2</sup> ainsi le rendement grain. Le long de cet axe 1 s'opposent la phénologie et les caractéristiques morphologiques aux capacités de production. La variable TRE détermine l'axe 2 du côté positif, et la température du couvert ainsi le nombre de grains par épi du côté négatif. Quant à l'axe 3 est formé de la hauteur de la plante du côté positif. Les axes 4 et 5 représentent la longueur de l'épi, et le poids de milles grains respectivement (Tableau .28).

#### **III-4-2-Analyse du nuage de points-cultivars : graphique des individus**

En tenant compte de la signification des axes, nous avons analysé la répartition des variétés. Le long de l'axe 1 s'opposent les variétés algériennes : Guemgoum Rkhem, Bidi17, O.Zenati 368, Djennah Khetifa, Montpellier, Mohamed Ben Bachir 8037, aux variétés : Mexicali, Waha, Chen "S", Hoggar, Tell 76, Tassili, Cocorit C 71, Capeiti 8, dotées de paramètres de rendement (NEP/m<sup>2</sup>, NTE/NTH) (Figure.16).

Du côté négatif de l'axe 2, les variétés Gloire de Mont Golfier, Belioni, Gta/Dur69, Boussellem, Ofonto, Beni Mestina se caractérisant par un NGE aussi une température du couvert élevés. (Figure.17).

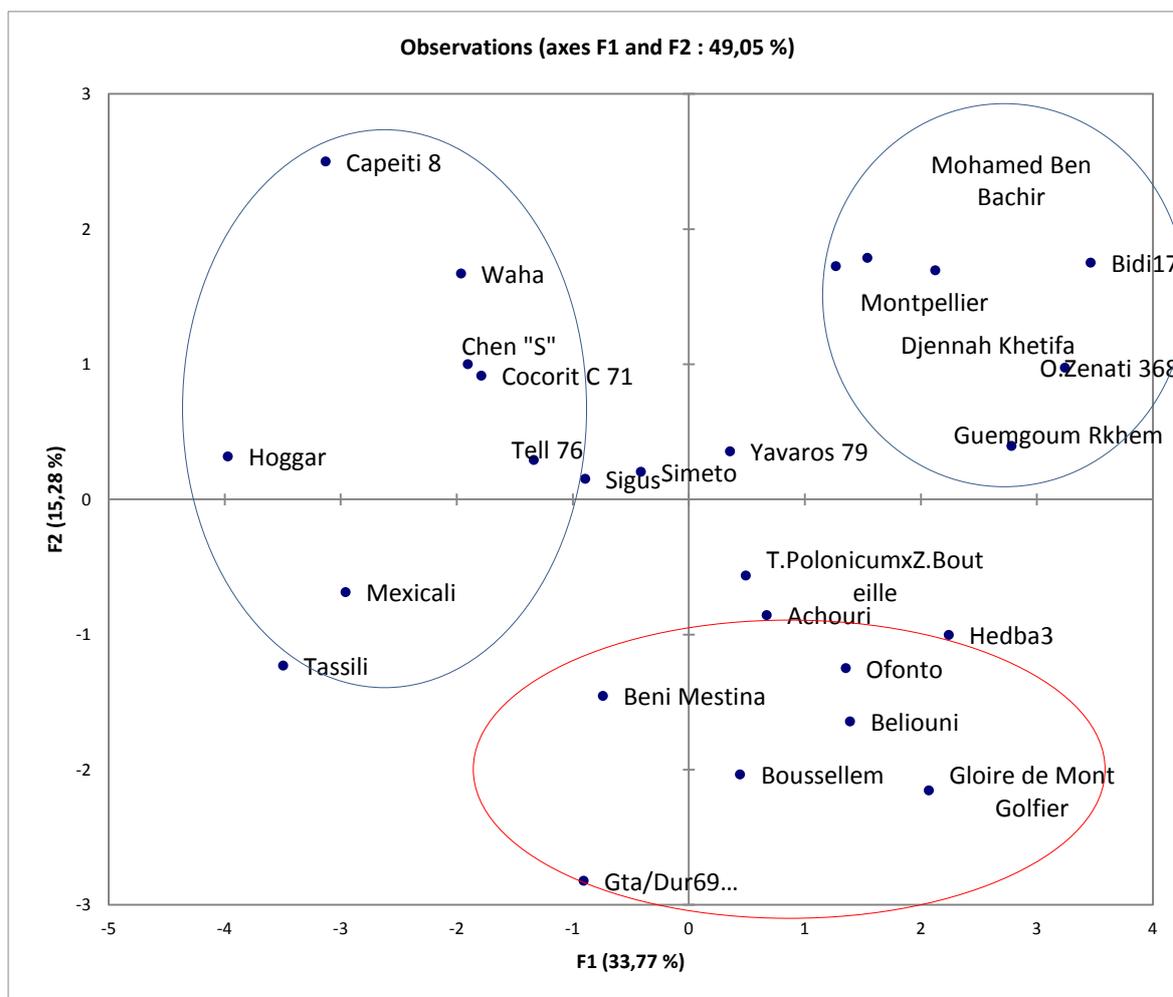
Dans le plan 1- 3 (Figure.14), la dispersion des individus montre que les variétés Simeto, Yavaros 79, Achouri, Beni Mestina ,Ofonto, Chen S se distinguant par une hauteur de plante faible.

Du côté positif de l'axe 05; les variétés Guemgoum Rkhem, Ofonto se différencie par un PMG très élevé (Figure.18).

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien

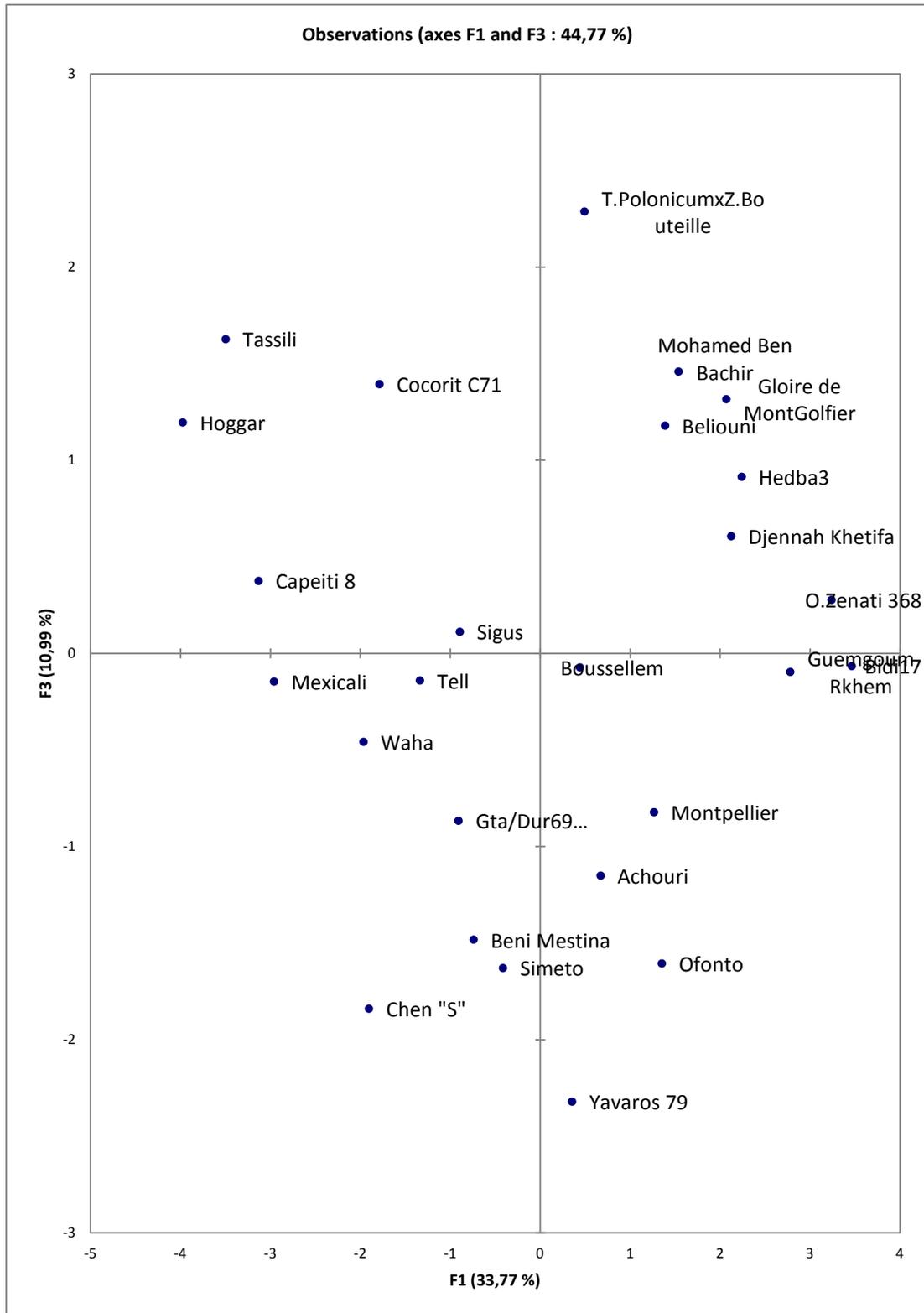
**Tableau. 28:** Projection des différents traits étudiés sur les plans des cinq axes d'ACP

Caractères	F1	F2	F3	F4	F5
épiaison	<b>0,813</b>	-0,113	0,330	0,080	-0,155
maturité	<b>0,883</b>	-0,235	0,084	-0,155	0,138
NTE/NTH	<b>-0,633</b>	0,011	0,076	-0,092	0,462
TRE	0,344	<b>0,674</b>	0,083	0,005	0,125
LEP	-0,331	-0,240	-0,032	<b>0,807</b>	0,244
LB	<b>0,511</b>	-0,337	0,399	0,060	-0,196
HP	0,621	0,061	<b>0,689</b>	0,219	0,133
SF	<b>0,497</b>	-0,442	-0,324	0,081	0,094
TC	0,403	<b>-0,603</b>	-0,400	-0,319	-0,152
NEP/m <sup>2</sup>	<b>-0,668</b>	-0,113	0,477	-0,417	-0,051
PMG	0,550	-0,132	-0,127	-0,164	<b>0,740</b>
NGE	-0,413	<b>-0,606</b>	0,060	0,328	-0,125
RDT	<b>-0,589</b>	-0,507	0,392	-0,251	0,215



**Figure 16 :** Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-2 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques

## Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien



**Figure 17 :** Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-3 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques

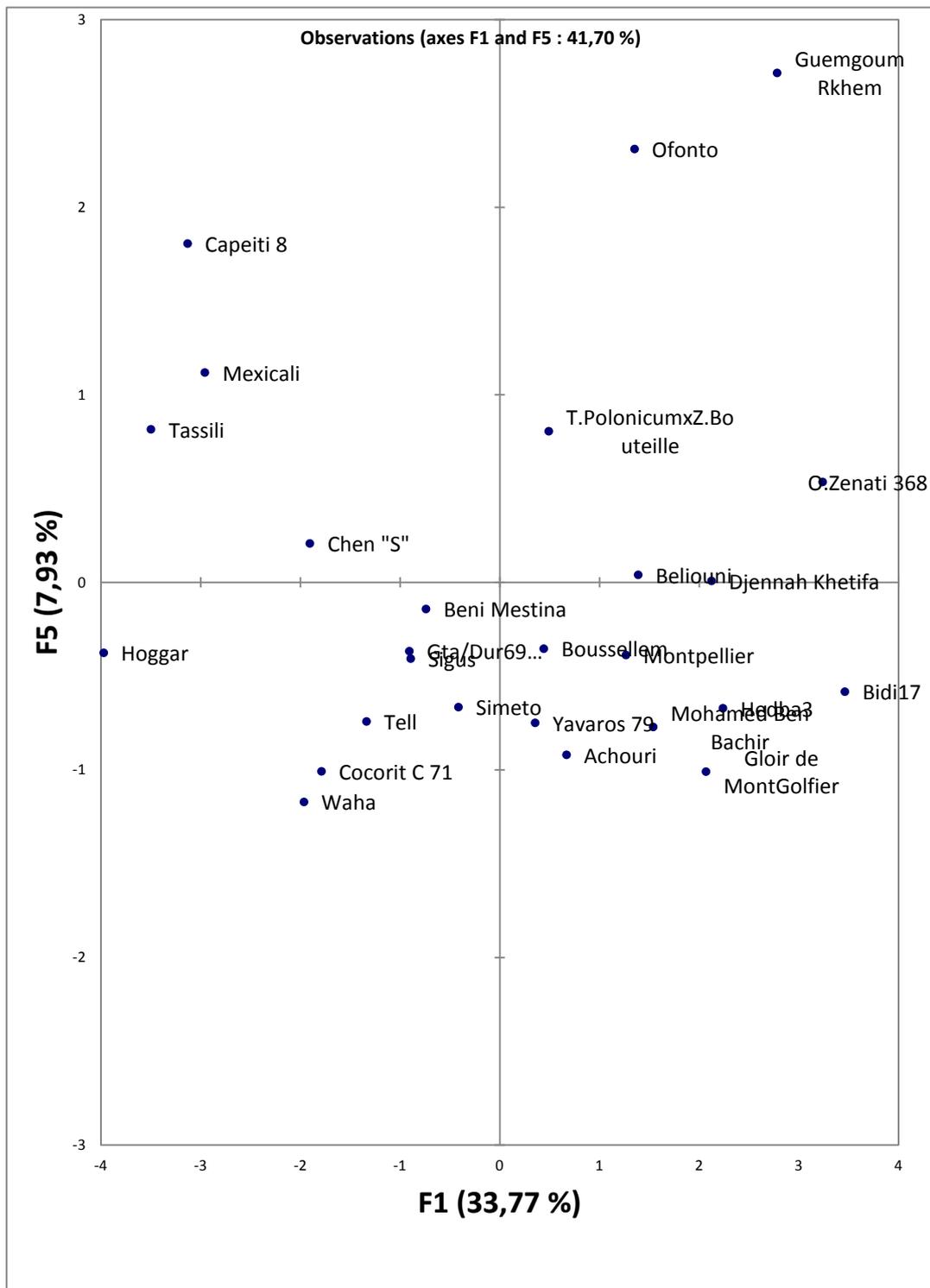


Figure 18: Projection des 26 variétés de blé dur, sur les plans des axes 1-5 de l'ACP sur la base des traits agro morpho- physiologiques

### **III-5-Classification des variétés**

Les résultats de l'analyse de classification sont présentés par la figure. 19. Le groupage selon le degré de ressemblance (le coefficient de Pearson) de données quantitatives mesurées laisse apparaître trois groupes distincts.

Le groupe I est constitué de : T.PolonicumxZ.Bouteille, Mohamed Ben Bachir 8037, Montpellier, Hedba3, Bidi17, O.Zenati 368, Djennah Khetifa, Guemgoum Rkhem, Gloire de Mont Golfier, Beliouni,

Le groupe II est constitué de variétés : Mexicali, Capeiti 8, Chen "S", Hoggar, Tell 76, Tassili, Cocorit C71, Waha.

Le groupe III est représenté par : Gta/Dur69, Simeto, Yavaros-79, Boussellem, Ofonto, Achouri, Sigus, Beni Mestina. L'analyse de ce dendrogramme montre que les variétés anciennes sont situées dans le même groupe 1 et constituées un cluster distinct des variétés modernes.

#### **III-5-1-Discussions des résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) et de l'analyse en composante principales (ACP)**

Les résultats obtenus à partir des analyses multi variées ont mis en évidence une variabilité importante à l'intérieur de cette collection. La variabilité existante entre les variétés est probablement attribuée aux différences génétiques aussi bien que l'environnement dans lequel ils ont été régénérés. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Moriss ; 2009 et Aghaee et al ; 2010). Une telle variabilité élevée dans le blé dur algérien a également été notée par Allam et al ; (2015) et Boudour et al ; (2011), Hamdi et al ;(2011).

L'analyse en composante principale a permis donc de structurer cette diversité phénotypique en groupes. Parmi les variétés, certaines semblent plus vigoureuses pour les paramètres phénologiques, morpho physiologiques et les composantes du rendement. En effet, les variétés étudiées ne se comportent pas de la même manière vis-à-vis des conditions climatiques de l'année agricole 2011/ 2012, qui étaient plus ou moins favorables à une bonne agriculture (précipitations suffisantes, mais gel et température élevé).

Le nombre de grains par épi, le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, le rendement en grain et le poids de milles grains, la date d'épiaison et la hauteur de la plante, la teneur relative en eau, la longueur de l'épi sont les paramètres qui discriminent le mieux les variétés étudiées. L'utilisation de ces caractères comme critères de sélection indirecte dans un programme

## **Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien**

---

d'amélioration génétique peut être considérée comme une approche efficace (Kara et Bellkhiri ; 2011).

De plus, les analyses de la classification hiérarchique corroborent et complétant les conclusions relatives à l'ACP. A partir des résultats obtenus, on n'a conclu que la classification hiérarchique permet d'identifier les variétés, en fonction de leurs traits phénotypiques et classe les variétés en trois groupes principaux d'où la majorité des génotypes regroupés ensemble présentent des parents en commun, ou bien ils ont la même région d'origine.

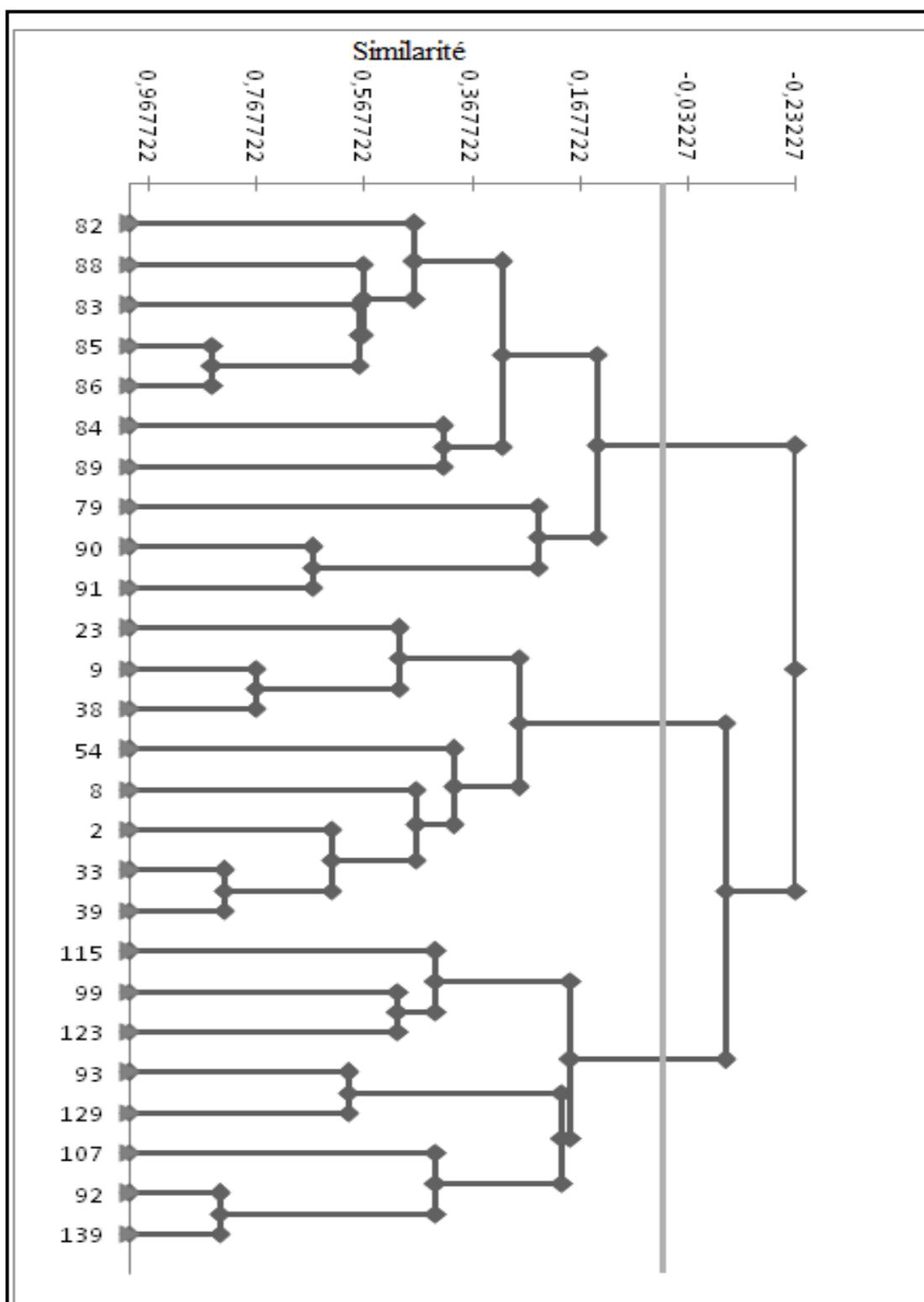
Le premier constituant les anciennes variétés d'Algérie les plus tardives, présentant de faibles rendements en grains, les races locales sont relativement les plus hautes du chaume. Se caractérisant par une TRE, SF, les plus élevées et une TC végétale moins élevée, ces génotypes possédant des propriétés de tolérance au stress abiotiques. Ces résultats rejoignent ceux rapportés par Fellah et *al* ; (2002) qui montrent que les génotypes tolérants aux stress abiotiques sont moins productifs. Ils sont plus hauts de taille, plus tardifs au stade épiaison et perdent moins d'eau foliaire par unité de temps. Et par Reynolds et *al* ; (1994) qui suggèrent que la température du couvert végétale peut être un excellent outil de sélection pour la résistance et à l'adaptation au stress thermique (Benmahamed ; 2005). Ces génotypes méritent d'être mieux étudiés sous l'aspect physiologique et utilisé comme géniteurs dans les programmes de croisement. Hazmoune ; (2000) suggère que malgré l'introduction de nouvelles variétés de blé dur à haut rendement, les génotypes locaux (Hedba 3, Bidi 17, O.Zenati 368, MBB) qui sont peu productifs, restent les mieux adaptés aux conditions de déficit hydrique que subissent nos régions car en année difficile les variétés d'introduction sont très instables. Par conséquent, les variétés modernes sont plus génétiquement homogènes et plus exposées aux agents pathogènes et aux conditions environnementales défavorables (Asins et Carbonell ; 1989). Cela a favorisé la recherche de nouvelles sources de variation qui pourraient être d'utilisation dans les programmes d'amélioration des plantes.

Le deuxième groupe composé de 07 variétés du CIMMYT, et une variété italienne Capeiti 8 se distinguent par un bon rendement en grain, une précocité à l'épiaison et à la maturité, d'un nombre d'épi par m<sup>2</sup> et d'un rapport NTE/NTH importants. Les génotypes de ce groupe pourraient être de bons parents pour être utilisés dans des programmes d'amélioration de la productivité de blé dur.

## **Étude de la diversité phénotypique d'une collection de blé dur Algérien**

---

Le troisième groupe se rapproche du deuxième regroupe les variétés italiennes et les variétés d'ICARDA, se caractérisant par un nombre de grains par épi ainsi qu'un rendement en grain moyen, un PMG, un NEP/m<sup>2</sup> et un rapport NTE/NTH, intermédiaire. Une longueur du cycle à l'épiaison ainsi qu'une hauteur de la plante et d'une teneur relative en eau moyenne. Un regroupement a été obtenu par Amallah et *al*; (2016). Ces auteurs rassemblent les accessions précoces et de taille réduite avec des valeurs du poids de 1000 grains et du poids spécifique relativement élevées formé par les lignées internationales, et un groupe intermédiaire de variétés nationales composé d'un mélange de variétés qui partagent les même caractéristiques des populations locales et des lignées internationales .



**Figure 19 :** Classification ascendante hiérarchique des variétés sur la base de variables phénotypiques et morpho physiologiques considérées dans notre étude.

### **Conclusion**

Les paramètres quantitatifs mesurés nous ont permis de mettre en évidence l'existence d'une diversité plus ou moins marquée entre les variétés pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés à la phénologie, à l'architecture de la plante et aux composantes du rendement.

L'analyse des caractères qualitatifs de l'épi, barbes et glumes a permis également de montrer une grande variabilité de forme et d'aspect au sein de la collection de blé dur.

Deux expérimentations ont été réalisées sur les différentes variétés étudiées en conditions pluviales pour identifier le groupe de variétés le plus performant. Les résultats de la présente étude indiquent un effet variété pour le rendement et ses composantes et une interaction année x variétés (A x V) très hautement significatives pour le PMG et le nombre de grains par épi. On a enregistré un effet année très hautement significatif pour le NEP/m<sup>2</sup>. Cette différence est expliquée par l'hétérogénéité inter-variétale résulte de celle des conditions climatiques rencontrées durant les deux campagnes. Les variétés Hoggar et Tassili ressort lors de deux campagnes agricoles comme les meilleurs de point de vue rendement en grains.

Nous avons noté que le déficit hydrique rencontré durant la deuxième campagne a provoqué une réduction du rendement et de ses composantes chez l'ensemble de variétés étudiées. Les résultats obtenus durant le 1<sup>er</sup> essai montrent en particulier que le stress thermique de fin de cycle est beaucoup plus négatif sur le PMG.

Les résultats montrent que sur le plan variétal, les variétés (CIMMYT) s'avèrent aussi stables. Elles conservent, dans le cas de cette étude, des rendements minimums plus élevés en présence de déficit hydrique. Par ailleurs, l'étude de caractères indicateurs de la tolérance au stress abiotique (TC, TRE, SF, HP, LB) met en valeur l'aptitude d'adaptation des variétés anciennes algériennes.

La présente étude a révélé que le rendement grain est corrélé positivement avec le ratio NTE/NTH, NG/E, NEP/m<sup>2</sup> cela suggère de mettre davantage l'accent sur ces éléments pour augmenter la productivité. Les analyses multivariées ont permis d'identifier et de regrouper les variétés en trois groupes divergents, il serait intéressant de combiner les caractères adaptatifs avantageux des variétés locales et, conjuguées à la production des variétés introduites pour le développement de variétés performantes et tolérantes.

**Chapitre IV / Etude de polymorphisme  
moléculaire des variétés de blé dur par  
l'utilisation des SSR et les RAPD**

## **Introduction**

Le premier arrangement d'une collection donnée par le biais des marqueurs phénotypiques est indispensable, cependant les études morphologiques seules ne fournissent pas d'informations suffisantes pour comprendre la diversité génétique des espèces ni leur parenté avec d'autres. D'autant plus que les caractères phénotypiques sont souvent masqués par les facteurs environnementaux (Konat ; 2007). La manipulation génétique est la meilleure façon de stimuler la production de blé. Par conséquent, il est nécessaire d'estimer et d'étudier la variation génétique et le mode d'héritage dans différents paramètres de la plante pour lancer des programmes productifs de reproduction du blé (Islam et *al* ; 2012).

En conséquence, l'emploi de nouvelles approches d'ordre moléculaire, s'est avéré obligatoire pour identifier des organismes, étudier leur diversité et établir leurs relations phylogénétiques.

Les marqueurs RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA) et les microsatellites sont maintenant largement utilisés pour identifier, maintenir, caractériser et évaluer les ressources génétiques avec plusieurs espèces de plantes. Les SSR ont une reproductibilité élevée, sont multi alléliques, spécifiques au chromosome, co-dominants et relativement abondants (Roder ; 1998). Ils ont été utilisés pour des études de diversité génétique et la localisation de gènes chez le blé (Röder et *al* ; 2004), et la détermination de loci de caractères quantitatifs (Ganal et *al* ; 2007). Les microsatellites sont l'un des types de marqueurs moléculaires les plus prometteurs qui sont capables d'identifier les génotypes au sein d'une espèce (Fahima et *al* ; 2002, Singh et *al* ; 2010). Ces propriétés rendent les SSR populaires pour les études de la diversité génétique (Yildirim et *al* ; 2011).

Les RAPD sont un autre groupe de marqueurs moléculaires simples, moins chers et plus efficaces sur le temps (Kafeel ; 2014, Cui Hou et *al* ; 2005).

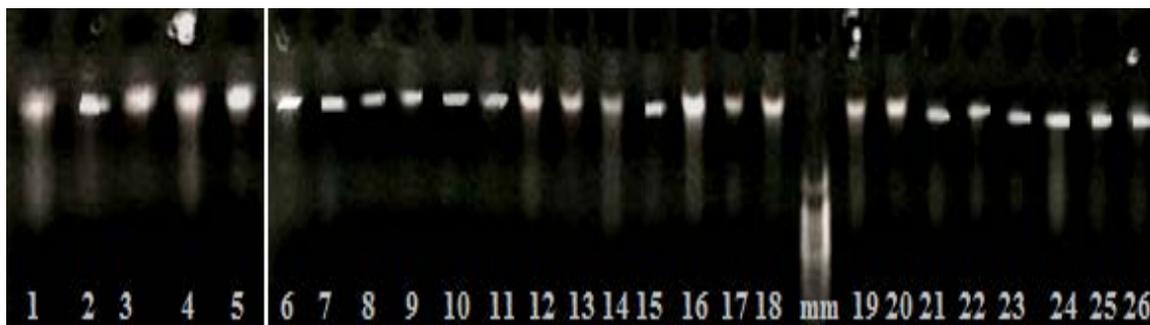
Comme ces marqueurs diffèrent dans leurs propriétés, ils peuvent entraîner des estimations différentes de la diversité génétique. La comparaison des résultats des différentes méthodes d'estimation de la diversité génétique moléculaire sera utile pour identifier leur utilité comme outils de sélection parentale pour les sélectionneurs. Les analyses de la dissimilitude génétique et l'estimation des relations génétique entre les parents sont utiles pour choisir les parents dans les programmes d'hybridation du blé (Islam ; 2004).

Dans ce contexte, l'objectif du présent chapitre est d'utiliser deux types de marqueurs moléculaires (SSR et RAPD) pour l'étude de la diversité génétique chez les 26 variétés du blé dur cultivées en Algérie. L'analyse de la diversité génétique de ces variétés de blé dur modernes et anciennes, à travers des techniques moléculaires, permettrait de comprendre les différences et les similitudes qui existent entre elles. Elle permettrait également le choix le plus adéquat des variétés pour la réalisation des croisements de départ, pour développer des variétés à haut rendement dans les programmes de sélection.

#### **IV-1- Etude de polymorphisme moléculaire des variétés par utilisation des marqueurs SSR**

##### **IV-1-1-Evaluation de la qualité d'ADN extrait**

Les extraits d'échantillons d'ADN obtenus après l'extraction selon le protocole Saghai-Marooof (1984) à partir de feuilles de plantes (stocké a  $-80^{\circ}\text{C}$ ), donnent des extraits clairs, après migration sur gel d'agarose 0.8% (Figure .20), de bonne quantité variant de 10 à 50 ng/ $\mu\text{l}$  et de qualité et dont le rapport de ADN/protéine varie de 1.73 à 1,84 (Annexe 09).



**Figure 20:** Test de qualité de l'ADN de 26 variétés étudiés sur gel d'agarose 0.8%

#### **IV-1-2-Caractérisation des marqueurs SSR**

##### **IV-1-2-1-Evaluation de la diversité des marqueurs**

Dix-neuf amorces ont été testées sur les échantillons d'ADN génomique de 26 variétés. Neuf de ces amorces ont été immédiatement exclues de cette étude en raison, d'absence totale d'amplification et pour les profils obtenus qui sont mal définis et difficilement interprétables. Les 10 amorces retenues se sont avérées reproductibles présentant des profils lisibles.

Au total, 291 bandes d'ADN amplifiées ont été produites, chez les 26 variétés du blé dur, par l'ensemble des amorces retenues. Le nombre d'allèle total révélé par les amorces est de l'ordre de 44 allèles. Le nombre d'allèles varie entre 01 observés chez les amorces WMC 09, Wmc 307, et 09 pour les amorces WMC 50 et BARC 142 ainsi BARC 100, avec une moyenne de 4.4 allèles / amorce (Tableau.23). Des études précédentes de diversité sur le blé rapportent des moyennes de nombre d'allèles /par locus inférieurs à nos résultats, parmi eux on peut citer :

- Salem et *al* ; (2008) ont trouvé que le nombre d'allèles par locus varie de 2 à 7 allèles avec une moyenne de 3,2 allèles /locus,
- Henkrar et *al* ; (2016) ont obtenu un nombre d'allèles varie entre 2 à 6 par amorce, et une moyenne de l'ordre de 3,38 dans l'étude de la diversité d'une collection de blé dur marocain,
- Kumar et *al* ; (2015) ont travaillé sur l'analyse de diversité de blé tendre indien, ont enregistré une moyenne de l'ordre de 2,71 allèles par locus.

Plusieurs chercheurs cités par Chen et *al* ; (2012) ont notés des moyennes supérieures à nos résultats rapportent des moyennes de 4,81 à 18,1 allèles par locus. Yildirim et *al* ; (2011) ont enregistré un nombre d'allèles oscillent entre 4 à 9 en analysant 20 accessions de blé dur turque avec 12 SSR. Cette situation est peut être dû au nombre réduit des variétés locales incluse dans notre études.

La taille des bandes générée par les amorces varie entre 50 pb et 319 pb (Tableau.29). Salem et *al* ; (2008) ont enregistré une taille varie de 77 à 266 pb, Maccaferri et *al* ; (2003) ont obtenu des fragments de taille varie entre 72 à 288 Pb.

## Étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD

**Tableau. 29:** Taille des allèles observés (Pb) de 10 primers microsatellites chez 26 variétés de blé dur

Locus taille des Allèles	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Barc 100</b>	254	219	146	160	142	132	128	108	82
<b>Barc 142</b>	319	305	291	284	280	274	263	252	229
<b>Wmc 50</b>	312	289	252	204	196	181	173	117	99
<b>Wmc 177</b>	215	208	77	68					
<b>Barc 119</b>	121	116	97						
<b>Wmc 44</b>	72	61	55						
<b>Wmc 105</b>	67	56							
<b>Wmc 09</b>	83								
<b>Gwm 386</b>	75	60	55						
<b>Wmc 307</b>	50								
<b>Totale allèles</b>	<b>44 allèles</b>								

### IV-1-2-2-Le pourcentage de bandes polymorphes (P)

Les résultats montrent un polymorphisme important révélé par les amorces SSR utilisées dans cette étude. On a noté un taux de polymorphisme de 100 % pour l'ensemble des amorces testées. Selon Konat ; (2007), l'obtention d'un nombre élevé d'amorces SSR polymorphes est d'une utilité importante. Elle permet d'augmenter la fiabilité des interprétations des résultats. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Abouzied et al ; (2013) dans l'étude de la diversité génétique d'un ensemble de 45 variétés de blé tendre de quatre régions différentes, l'Egypte, la Grèce, Chypre et l'Italie par l'utilisation de 11 marqueurs SSR.

### IV-1-2-3-Le contenu de l'information polymorphe (PIC)

La diversité génétique d'un locus donné est exprimée également par le PIC. La valeur PIC donne une estimation du pouvoir discriminant d'un locus en prenant compte du nombre d'allèles et aussi de la fréquence de chacun. Les amorces retenues ont généré des profils polymorphes avec un indice de diversité génétique variable, l'étude menée selon la procédure de Botstein et al ; (1980) a confirmé la variabilité génétique de ces 10 amorces utilisées dans notre étude. Plus sa valeur tend vers 1, plus l'amorce en question est polymorphe et vis versa. Ainsi, l'indice de diversité maximum est de (0.85) et (0.73) chez les amorces WMC 307 et Barc 142 respectivement (Tableau.30).Le PIC maximal est donc observé chez les locus situé sur le chromosome 5B et 3B. Les résultats obtenus par

## Étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD

Maccaferri et al ; (2003) indiquent également que les loci microsatellites du génome B sont plus variables que ceux du génome A.

Toutefois, la valeur minimale de PIC est (0.21) obtenue par les deux amorces WMC44 et Barc100. On a enregistré une moyenne de (0.45) pour l'ensemble des amorces étudiées sur la totalité des variétés de blé dur. Comparativement à d'autres études, la valeur de (PIC) la plus élevée obtenue par Medini et al ; (2003) dans l'étude de la diversité génétique d'une collection de blé dur et des espèces sauvages apparentées est de l'ordre de (0,68). Alors que la valeur minimale obtenue par Drikvand et al ; (2013) est de l'ordre de 0.13. Islam et al ; (2012) ont obtenu des valeurs du (PIC) inférieures à nos résultats variant de 0,27 à 0,54, avec une moyenne de 0,38 chez (*triticum eastivum*).

**Tableau. 30:** Liste des amorces SSR retenues, nombre d'allèles et valeurs de PIC

Locus	Nombre d'allèles par locus	Pic
Barc 100	9	0.21
Barc 142	9	0.73
Wmc 50	9	0.31
Wmc 177	4	0.35
Barc 119	3	0.46
Wmc 44	3	0.21
Wmc 105	2	0.51
Wmc 09	1	0.57
Gwm 368	3	0.31
Wmc 307	1	0.85
Moyenne	4.4	0.45

### IV-1-3-Evaluation de la variation allélique des variétés

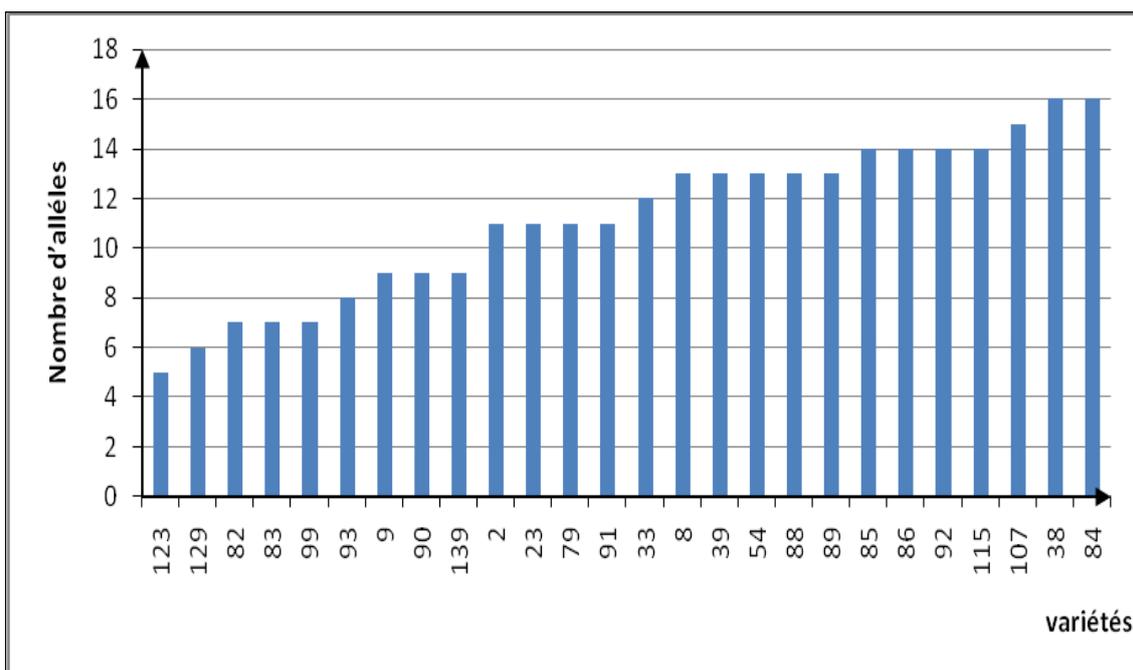
Les variétés Hedba3 et Tell76 ont révélé le niveau le plus élevé d'allèles avec 16 allèles polymorphes. Tandis que les variétés Achouri, et Sigus ont présenté un faible nombre d'allèles avec 5 et 6 allèles respectivement (Figure.21). Le nombre d'allèles calculé pour toutes les amorces SSR utilisées était variable entre les deux groupes de variétés étudiés. En effet, le nombre moyen d'allèles polymorphes observé chez les variétés locales algériennes est de l'ordre de 12,6 allèles. Les variétés du CIMMYT et d'ICARDA, et les variétés italiennes, enregistrent des moyennes de l'ordre de 12.1 et 6.67 ,11.67 allèles respectivement (Figure.22).

Les variétés locales ont montré un grand nombre d'allèles polymorphes par rapport aux variétés modernes. La variabilité au sein des variétés locales peut être attribuée à des flux de pollen entre les plantes d'un même champ ou de champs voisins ou à l'apparition

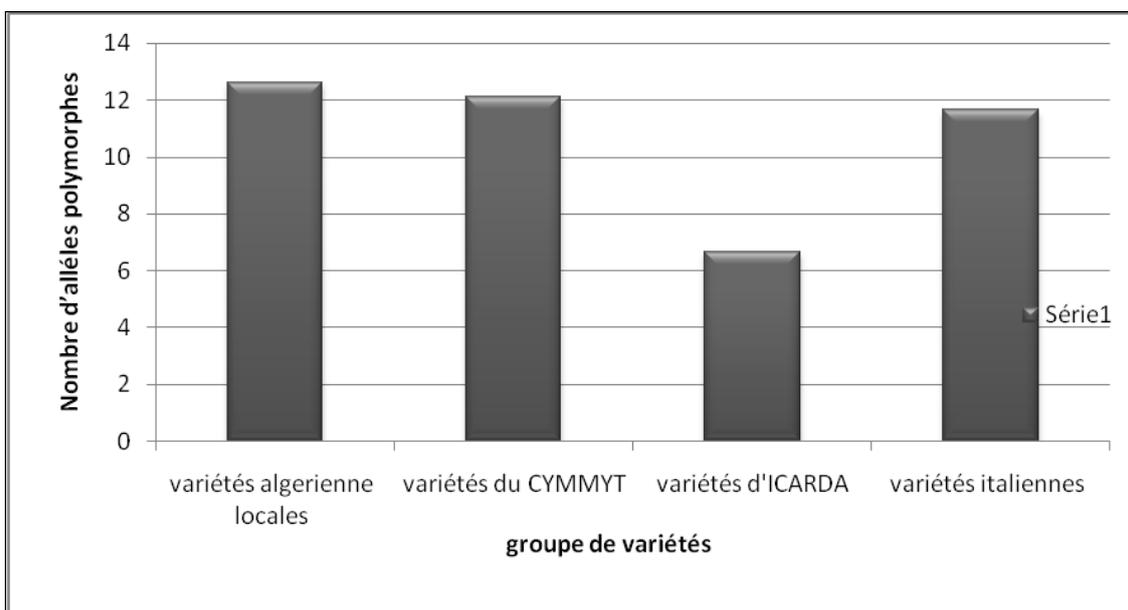
de mutations accumulées au cours du temps qui ont évolué avec la sélection naturelle au fil des générations, et qui se sont adaptées aux différents environnements pour leur développement (Amallah et al ; 2016). Pour cette raison les variétés anciennes sont très importantes tant que germoplasme pour les sélectionneurs. En réalité, ce résultat est une situation attendue et souhaitable et des résultats similaires ont été déterminés à partir de différents matériels végétaux par de nombreux scientifiques (Sterlchenko et al ; 2004, Dreisigacker et al ; 2005 cité par Yildirim et al ; 2011).

On a noté aussi un nombre élevé d'allèles présent chez les variétés CIMMYT comparativement au nombre d'allèles enregistré chez le groupe de variétés ICARDA. Le programme d'amélioration du CIMMYT existe depuis plus de 50 ans. Il a eu la capacité de livrer des cultivars supérieurs dans le monde en développement et sert encore aujourd'hui de source d'allèles utiles. Cependant le groupe de variétés ICARDA ont subi une forte pression de sélection a provoqué un rétrécissement de la diversité génétique globale (Kabbaj et al ; 2017).

La comparaison de la présence et/ou absence des allèles entre les différentes variétés nous révèle la présence des allèles privés (allèles présents exclusivement dans un individu ou un groupe d'individus) également appelé, allèles spécifiques (Peng et al ; 2009). Ainsi, deux allèles privés distinguent les variétés Beliouni et Djennah-khetifa générés par l'amorce BARC 100 de taille 132 et 82 pb respectivement. De même l'amorce BARC 142 a généré deux allèles privés pour les variétés Beliouni et GTA/DUR69 (280 et 319 pb). Deux allèles spécifiques ont été obtenus aussi par le marqueur Wmc 50 (117 et 252 pb) présent chez Beni Mestina et Capeiti 8. (Figure .23). Un nombre notable de différents allèles privés a été détecté chez les variétés, ce qui indique que l'introduction de nouveaux allèles par le biais de programmes de sélection a réellement contribué aux bases génétiques de ce germoplasme. Des résultats similaires ont également été observés par l'application des marqueurs SSR sur le *Triticum turgidum L. var. durum* cultivé en Italie (Maccaferri et al ; 2003). Selon Mahmodi et al ; (2014), les allèles privés, ou allèles propres à certaines espèces ou zones géographiques, sont utiles pour comparer la diversité entre espèces ou populations.

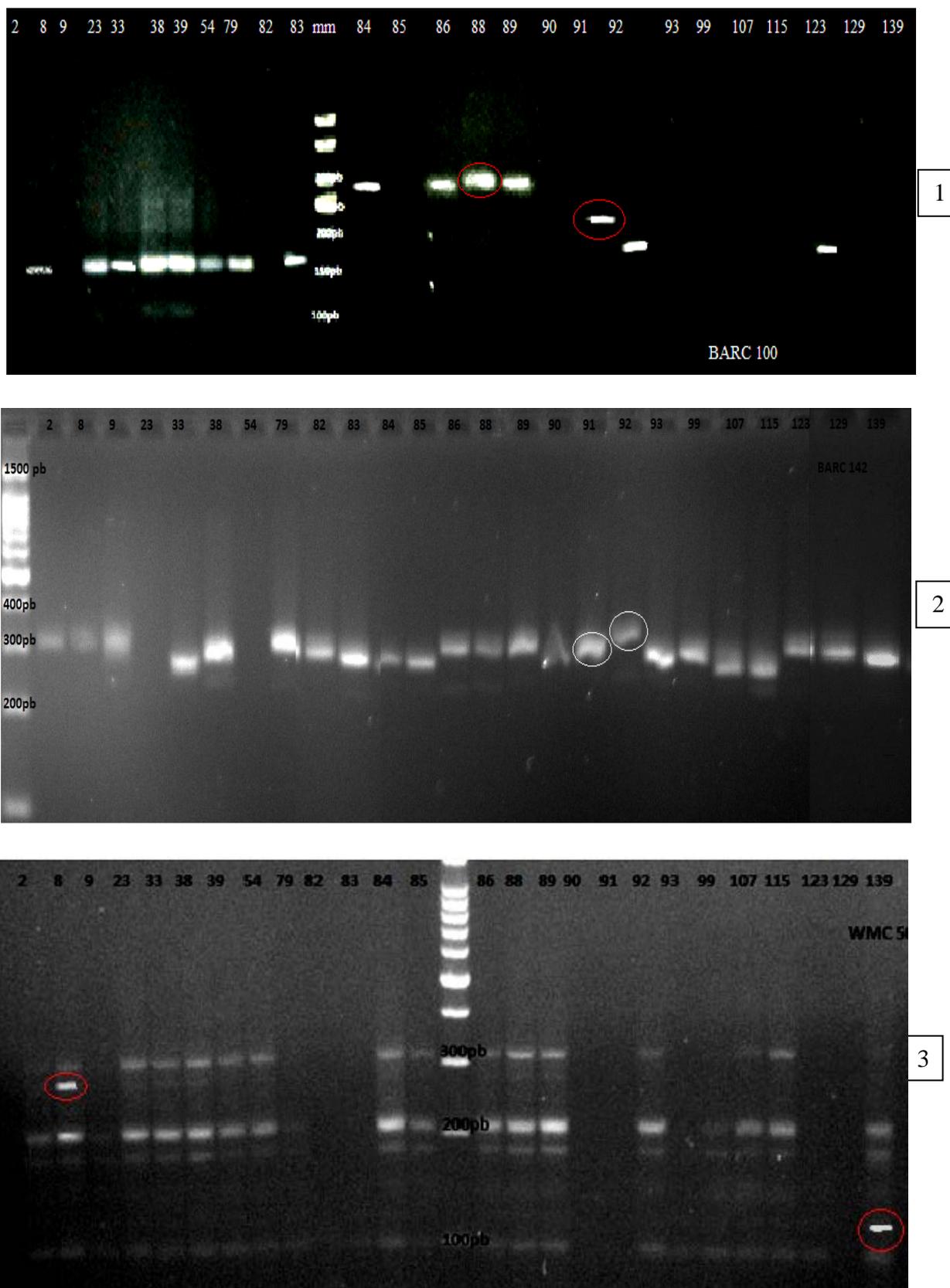


**Figure 21:** Nombre d'allèles polymorphes présent dans chaque variété de blé dur



**Figure 22:** Valeurs moyennes, de nombre d'allèles par groupes de variétés pour l'ensemble des amorces SSR utilisées.

## Étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD



**Figure.23:** Profil électrophorétique sur gel d'agarose des 26 génotypes amplifiés avec les amorces (BARC 100 (1) et BARC 142 (2) WMC 50 (3))

#### **IV-1-4-L'analyse de la structure génétique des variétés**

Cette étude a utilisé la méthode de cluster UPGMA basée sur la matrice de similarité génétique (Tableau.31) pour les allèles SSRs de toutes les variétés de blé dur, pour construire un dendrogramme (Figure.24). Les résultats de cette analyse ont permis de différencier les variétés analysées et de les classer dans deux groupes de variétés génétiquement proches à 0.63 de similarité.

Le groupe 1 subdivise en trois sous groupes ; le premier sous groupe renferme les variétés suivantes : Mexicali, Waha, Chen 'S', Yavaros-79, Hoggar, Tell 76, Cocorit C 71.

Le deuxième sous groupe comprend les variétés : Boussellem, GTA/Dur69, Beni Mestina, Sigus, Achouri.

Le troisième sous groupe contient les génotypes : Bidi 17, Oued Zenati 368, T.PolonicumxZB , Simeto , Capeiti 8, Ofonto.

Le groupe 2 subdivise en deux sous groupe, renferme les variétés anciennes d'Algérie : Mohamed Ben Bachir 8037, Montpellier, Hedba-03, Beliouni, Gloire De Mont Golfier, Djennah-Khetifa, Guemgoum Rkhem.

En examinant l'historique, l'origine et le pédigrée des différentes variétés formant chacun de ces groupes, nous avons remarqué que la majorité des génotypes regroupés ensembles présentent des parents en commun, ou bien ils ont la même région d'origine.

À un niveau de 0.90 de similarité, nous avons pu identifier un cluster ; constitué de Chen 'S' et Yavaros-79, ce sont des variétés originaires de Mexique et comme l'indique son pedigree ; la variété Chen S est issue d'un croisement entre Yavaros-79 et Shearwater. En plus de ces relations de parenté, les deux variétés présentent les mêmes caractères relatifs à la précocité à l'épiaison, une taille courte, un rendement en grain relativement moyen par rapport aux autres variétés du CIMMYT.

En effet le grand cluster est identifié à environ 0.70 de ressemblance renferme les variétés dont l'air de répartition appartient au Mexique (CIMMYT) et l'ICARDA ; ces dernières sont des variétés introduites à l'Algérie. L'introduction de nouveaux génotypes de l'étranger pour les essais d'adaptation et l'utilisation dans les croisements a débuté depuis 1969, les acteurs devenant de plus en plus conscients de l'importance de la production céréalière à la sécurité alimentaire nationale, le ministère de l'Agriculture a commencé à évaluer les nouvelles améliorations et le germoplasme à haut rendement introduit principalement à partir de Centre d'Amélioration Internationale du maïs et du blé (CIMMYT). Avec l'introduction de variétés du CIMMYT de 1968 à 1971, et par un plus

grand nombre programme intensif de développement variétal, de nombreux nouveaux cultivars ont été développés et cultivés sur une superficie importante par les agriculteurs. Ils ont remplacé pour la majorité les anciennes variétés traditionnelles en obtenant des rendements beaucoup plus élevés, même dans les conditions locales du sol sec, exprimant un bon niveau de résistance aux maladies (principalement à toutes les rouilles) (Benbelkacem ; 2014). Selon Maccaferri et al ; (2003), l'introduction d'une nouvelle génération de variétés modernes dans les principaux programmes d'amélioration mené dans les pays méditerranéens du CIMMYT, adaptées au bassin méditerranéen qui marquent de nouveaux progrès quant au potentiel, à la stabilité du rendement et à la qualité de la semoule.

Le troisième sous groupe représente les variétés introduites de l'Italie avec trois variétés améliorées d'origine Algérien .D'après Spagnoletti et al ; (1984), les variétés algériennes sont proches génétiquement des variétés italiennes car l'agriculture est très semblable à celle pratiquée en Italie. La variété Oued Zenati 368 s'est avérée génétiquement très proche des variétés «Bidi 17» et «T.PolonicumxZB» avec un coefficient de similarité génétique supérieur à 0.85 (Figure.21). En remontant à la généalogie de ces variétés, on constate qu'il existe entre ces deux variétés algériennes des liens de parenté, Oued Zenati 368 est tirée des Bidi de la région Oued Zenati, et Bidi 17 est une sélection obtenue à la ferme école de Guelma par M. Perrot dans la population locales de Bidi. Il faut savoir que les blés Bidi, Bahi ou Gounod (ce dernier terme signalé par Perrot, représentant un ensemble de populations particulièrement bien adaptées aux terres noires et fraîches de l'est Algérien. Bidi 17 se montrait cependant plus sensible à la rouille noire. L'Oued Zenati 368 (var. *leucomelan* Al.) malgré la date récente de son obtention (sa diffusion elle-même a commencé en 1936) couvrait de vastes surfaces dans les départements d'Alger, d'Oran et dans l'ouest Constantinois. Sa sélection est surtout due au professeur Laumont. L'Oued Zenati 368 est un parent de la variété T.Pol//Zenati/Bouteille 13953, rapprochant aux qualités du Zenati 368 une précocité appréciable, lui permettant d'échapper à la sécheresse et à l'échaudage de fin de saison. (Miège ; 1950).

Dans le deuxième groupe et à partir du 0.67 de similarité on a pu détecter un cluster distinct composé de sept variétés, ces dernières représentent des populations anciennes algériennes. Constituent un patrimoine génétique original. En effet, cette classification est conforme avec celle obtenue à partir des caractères agro morpho

physiologiques. Ces variétés partagent quelques caractéristiques morphologiques (haute taille, présence de barbes et couleur de l'épi), phénologiques (tardivité à l'épiaison) et avec de faibles paramètres de rendement. En revanche, les individus de ce groupe ont la particularité d'avoir une TRE, SF, les plus élevées et des TC végétale les plus basses.

Les Blés de l'Algérie que nous avons pu examiner, correspondent à plusieurs variétés distinctes. Selon Laumont ; (1948), les Blés durs algériens appartiennent tous au groupe *T. durum aristatum* Orl. Commune Flakesb; il n'existe, en culture, ni de variétés mutiques (*T. D. muticum* Orl.) d'origine hybride, ni de types *duro-compactum* Flakesb. Les sortes indigènes, très nombreuses et d'intérêt inégal, sont presque toujours cultivés en mélange accusé : bien que rustiques, peu exigeantes et assez adaptées au milieu naturel et au mode de culture locale (Miège ; 1950).

Certains groupes obtenus dans cette étude étaient conformes à la classification en fonction des caractéristiques morphologiques de l'épi (Boeuf ; 1932). En effet, le sous-groupe composé de variétés «Beliouni», «Mohamed Ben Bachir », «Djenah Khetifa» et «Gloire de Mont Golfier» et « Hedba 3» partagent la couleur noire des glumes et des barbes.

La classification selon la méthode UPGMA en utilisant le coefficient Simple Matching a montré que les relations génétiques entre les variétés de blé dur basées sur des marqueurs SSR correspondent à leurs pédigrées et à leurs répartitions géographiques. Ces résultats concordent avec ceux d'autres études (Kuleung et al ; 2006. Bousba et al ; 2012. Henkrar et al ; 2016).

Dans notre étude, des variations entre les variétés locales ont été établies, les variétés (Bidi 17 et Oued Zenati 368 ; *T. Polonicum x ZB*) se sont regroupées dans le cluster constitué de variétés Simeto, Capeiti 8, Ofonto. Cette situation est très souhaitable selon (Yildirim et al ; 2011) car ils sont génétiquement hétérogènes. Des résultats similaires ont été obtenus par plusieurs auteurs (Eujayl et al ; 2001, Huang et al ; 2002).

Eujayl et al ; (2001) ont signalé que de nombreux génotypes de blé dur ont présenté des profils composés ; ceci est dû à leurs hétérozygotie ou à leurs structures génétiques différentes.

En se basant sur les données SSR, on a remarqué que les variétés modernes sont génétiquement plus proches les uns des autres, cela peut suggérer qu'une forte proportion de marqueurs SSR utilisés dans notre études peut être associé à des régions chromosomiques sélectionnées lors de programme d'amélioration, ayant plus d'état

## Étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD

---

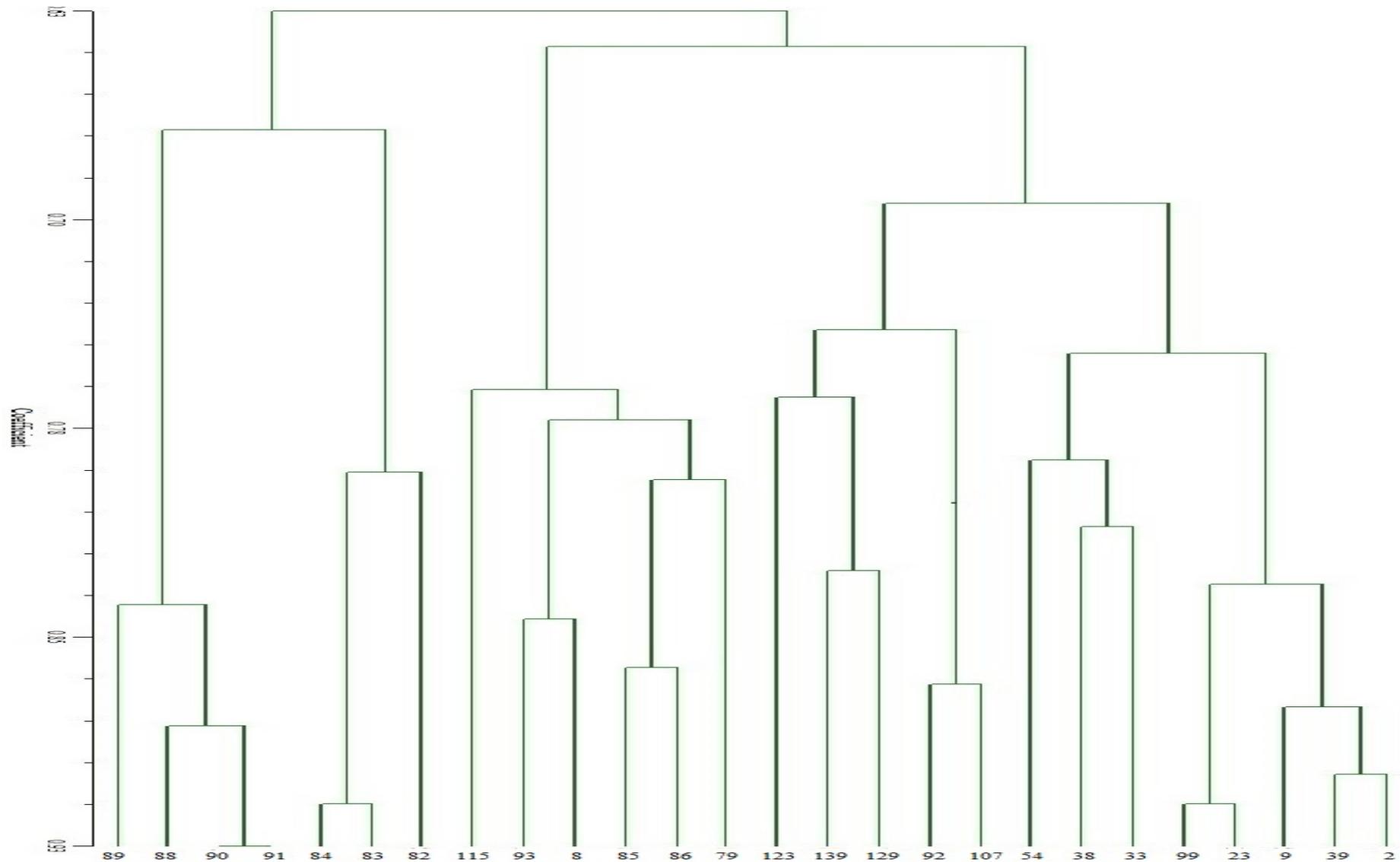
alléliques fixe. Des régions chromosomiques abritant un certain nombre de loci agronomiques importants, qui sont plus uniformes dans les variétés modernes. La fréquence des microsatellites était plus élevée dans les régions transcrites, en particulier dans les parties non traduites ; que dans d'autres fractions d'ADN génomiques (Morgante et al ; 2002). Par conséquent, les marqueurs SSR sont sous l'influence de la sélection pour l'adaptation (Stachel et al ; 2000, Saghai-Marroof et al ; 1994).

Nos résultats rejoignent ceux obtenus par Plaschke et al ; (1995) et Zarkiti et al ; (2010) indiquent qu'un nombre relativement petit d'amorces SSR peut être utilisé pour distinguer la variation génétique des génotypes, expliquée par l'efficacité de l'utilisation des microsatellites pour l'étude de relations génétique et l'identification des cultivars.

**Étude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par l'utilisation des SSR et les RAPD**

**Tableau.31** : Matrice de similarité génétique calculée par le coefficient «*Simple Matching*» à partir des marqueurs SSRs

2	8	9	23	33	38	39	54	79	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	99	107	115	123	129	139	
2	1,00																									
8	0,60	1,00																								
9	0,87	0,65	1,00																							
23	0,83	0,64	0,78	1,00																						
33	0,68	0,73	0,73	0,81	1,00																					
38	0,71	0,71	0,71	0,88	0,77	1,00																				
39	0,89	0,63	0,69	0,78	0,70	0,80	1,00																			
54	0,71	0,71	0,76	0,75	0,80	0,75	0,77	1,00																		
79	0,44	0,73	0,54	0,51	0,51	0,58	0,43	0,54	1,00																	
82	0,35	0,75	0,55	0,43	0,44	0,47	0,49	0,43	0,70	1,00																
83	0,22	0,72	0,48	0,44	0,31	0,66	0,55	0,58	0,75	0,75	1,00															
84	0,21	0,76	0,56	0,32	0,48	0,68	0,53	0,45	0,84	0,78	0,91	1,00														
85	0,26	0,78	0,53	0,48	0,57	0,66	0,43	0,59	0,70	0,74	0,75	0,80	1,00													
86	0,31	0,66	0,46	0,59	0,59	0,68	0,54	0,40	0,78	0,65	0,72	0,77	0,74	1,00												
88	0,33	0,59	0,43	0,56	0,41	0,52	0,63	0,53	0,81	0,57	0,81	0,70	0,79	0,80	1,00											
89	0,39	0,54	0,43	0,56	0,57	0,48	0,63	0,59	0,69	0,68	0,81	0,70	0,76	0,80	0,86	1,00										
90	0,45	0,70	0,65	0,64	0,50	0,62	0,59	0,50	0,61	0,78	0,75	0,75	0,82	0,81	0,73	0,85	1,00									
91	0,59	0,69	0,69	0,74	0,54	0,54	0,62	0,57	0,66	0,88	0,76	0,76	0,76	0,76	0,44	0,80	0,93	1,00								
92	0,64	0,61	0,71	0,66	0,65	0,75	0,71	0,66	0,72	0,57	0,52	0,47	0,43	0,43	0,45	0,40	0,57	0,57	1,00							
93	0,61	0,84	0,61	0,87	0,62	0,65	0,63	0,62	0,87	0,76	0,79	0,79	0,78	0,78	0,65	0,61	0,62	0,62	0,45	1,00						
99	0,79	0,65	0,72	0,91	0,76	0,73	0,58	0,66	0,45	0,44	0,48	0,66	0,47	0,66	0,51	0,53	0,58	0,35	0,49	0,45	1,00					
107	0,68	0,63	0,68	0,59	0,77	0,67	0,66	0,64	0,58	0,55	0,42	0,50	0,57	0,40	0,53	0,43	0,58	0,66	0,40	0,42	0,69	1,00				
115	0,61	0,78	0,66	0,67	0,75	0,80	0,44	0,67	0,77	0,63	0,61	0,62	0,65	0,65	0,64	0,60	0,65	0,65	0,38	0,35	0,41	0,44	1,00			
123	0,61	0,65	0,50	0,43	0,48	0,31	0,43	0,50	0,55	0,70	0,48	0,47	0,41	0,48	0,55	0,52	0,43	0,52	0,52	0,34	0,41	0,54	0,48	1,00		
129	0,73	0,42	0,61	0,64	0,57	0,57	0,57	0,50	0,52	0,50	0,43	0,44	0,54	0,44	0,41	0,51	0,57	0,44	0,51	0,44	0,51	0,43	0,53	0,82	1,00	
139	0,59	0,41	0,59	0,41	0,35	0,41	0,59	0,41	0,58	0,50	0,45	0,51	0,56	0,51	0,65	0,45	0,50	0,50	0,53	0,50	0,53	0,38	0,46	0,63	0,88	1,00



**Figure.24 :** Dendrogramme de similarité génétique des 26 génotypes analysés, obtenu par le coefficient “Simple Matching” et la méthode “UPGMA” établis par le programme NTSYS 2.2

## **IV-2-Etude de polymorphisme moléculaire des variétés par utilisation des marqueurs RAPD**

### **IV-2-1-Caractérisation des marqueurs RAPD**

#### **IV-2-1-1-Evaluation de la diversité des marqueurs**

La technique RAPD-PCR, caractérisée par la dominance de ses marqueurs, se distingue par la facilité et la rapidité dans sa mise en œuvre et par son coût très réduit. En effet, les amorces utilisées dans notre étude sont le résultat d'une sélection basée sur la qualité de leurs produits d'amplifications.

L'amplification PCR réussie avec l'ensemble de 05 amorces a permis d'identifier 30 allèles, et un total de 288 bandes a été généré. L'obtention d'un nombre élevé d'amorces positives sur l'amplification de l'ADN du blé dur a donné, comparativement au nombre réduit des amorces une considération particulière à cette étude génétique. Le nombre d'allèles polymorphes révélé par amorce oscille entre 2 à 8 avec une moyenne de 6 allèles par amorce (Tableau.32), caractérisés par un poids moléculaire compris entre 164 Pb et 1169 Pb. Le plus grand nombre de bandes polymorphes a été obtenu par les amorces (OPG 09 et OPF 20), le plus faible par l'amorce (OPC 05). D'autres chercheurs ont signalé des moyennes de l'ordre de 8 à 21 allèles, avec une moyenne générale de 14,1 allèles par amorce (El-Assal et Gaber ; 2012). De 1 à 14 (Karaka et zblrak ; 2008). Shende and Walunj ; (2013) ont obtenu un nombre d'allèles varie entre 1 et 4. Cependant, dans certaines études, il a été suggéré que l'analyse d'un grand nombre de locus, avec de nombreuses amorces, devrait augmenter la puissance statistique de la technique RAPD, afin d'évaluer adéquatement les niveaux de variation génétique et de relation entre cultivars (Karaka et zblrak ; 2008).

#### **IV-2-1-2-Le contenu de l'information polymorphe (PIC)**

Les valeurs de PIC varient entre 0,22 et 0,40 avec la moyenne de 0,31 (Tableau.32). Les valeurs PIC les plus basses et les plus élevées obtenues ont été respectivement pour OPC 05 et OPF 20. Botstein et *al*, (1980) ont considéré qu'une valeur  $PIC > 0,5$  représente un marqueur hautement informatif,  $0,5 > PIC > 0,25$  pour un marqueur informatif, et  $PIC \leq 0,25$  pour un marqueur légèrement informatif. Une étude antérieure (Zamaniafard et *al* ; 2015) a considéré que la valeur maximale de PIC pour les marqueurs dominants tel que les ISSRs et les RAPD est de (0.5), cependant une valeur moyenne de PIC de l'ordre de (0,31) a montré une bonne efficacité des amorces utilisées dans la discrimination des variétés. Les valeurs moyennes de PIC obtenues dans notre étude indiquent une diversité

génétique importante chez la collection de blé dur. D'après Zimmer et Roalson ; (2005), la haute valeur de PIC indique une hétérozygotie énorme qui est associée à un degré élevé de polymorphisme. Cependant les valeurs calculées de PIC pour les amorces RAPD peuvent être attribuées à la nature diverse des variétés de blé et / ou des marqueurs RAPD utilisés dans cette étude. L'indice PIC a été largement utilisé dans de nombreuses études sur la diversité génétique (Ebrahimi et *al* ; 2010, Pirseyedi et *al* ; 2010, Soriano et *al* ; 2011).

**Tableau .32:** Liste des amorces RAPD retenues, nombre d'allèles et valeurs de PIC

<b>Primer RAPD</b>	<b>OPG 09</b>	<b>OPF 20</b>	<b>OPA 17</b>	<b>OPE 13</b>	<b>OPC 05</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Nbr d'allèles/locus</b>	8	8	7	5	2	6
<b>PIC</b>	0.25	0.40	0.25	0.30	0.23	0.31

#### **IV-2-1-3-Le pourcentage de bandes polymorphes (P)**

Les résultats montrent un polymorphisme élevé (100%) concordent avec ceux rapporté par Guasmi et *al* ; (2012) avec un pourcentage de 100 % chez l'orge tunisien. Divers nombres d'amorces ont été utilisés dans l'étude de différentes espèces de genre *Triticum* qui ont révélé différents degrés de polymorphisme. Naghavi et *al* ; (2004), Bhutta ; (2006), Shoaib et Arabi ; (2006) et Cenkeci et *al* ; (2007) ont révélé 88%, 46,97%, 46,67% et 93,5% de polymorphisme chez les géotypes de blé, respectivement (Aydogan et Koksall ; 2012).

#### **IV-2-2-Evaluation de la variation allélique des variétés**

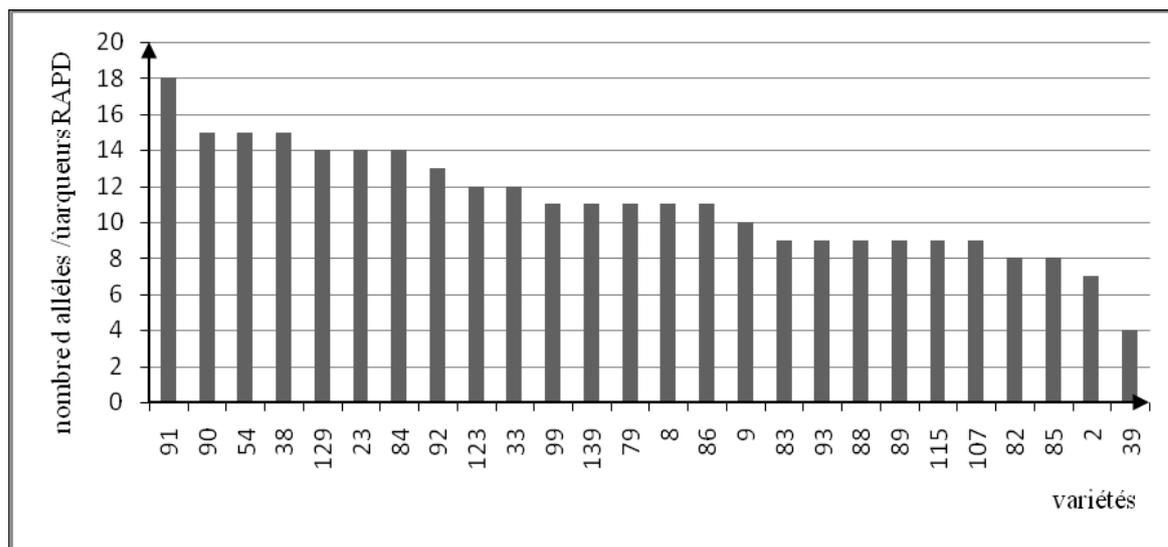
L'étude du degré de variation de nombre d'allèles pour chacune des 26 variétés a révélé une différence remarquable. La variété Beliouni montre le nombre le plus élevé avec 18 allèles polymorphes. Tandis que la variété Tassili présente le nombre le plus faible avec 4 allèles polymorphes (Figure.25) .Une moyenne de l'ordre de 11,077 allèles a été enregistrée (Tableau .33).

La connaissance de la diversité génétique provenant de différentes zones géographiques devrait avoir un impact significatif sur les programmes de conservation et d'utilisation du germoplasme de blé dur, permettant aux sélectionneurs de développer des stratégies pour incorporer une diversité utile dans leurs programmes de sélection (Ren et *al* ; 2013). Le nombre d'allèles détecté pour chaque groupe de variétés provenant de différentes régions géographiques a montré une légère différence. Les variétés ICARDA

ont présenté la moyenne la plus élevée (12,33 allèles) suivie de variétés locales algériennes et les variétés du CIMMYT (11,20 et 11 allèles respectivement). La moyenne la plus basse est notée chez les variétés italiennes (9,67) (Figure.26). Ces résultats montrent l'existence de diversité génétique au sein des variétés modernes de blé dur malgré la pression de programmes de sélection. L'augmentation de la diversité génétique dans les cultivars modernes est expliquée principalement par l'introgession de nouveaux matériels génétiques. D'après les travaux établis par Soleimani et al ; (2002), dans l'étude de la diversité génétique chez les cultivars modernes de blé dur par l'utilisation des marqueurs AFLP, les résultats ont montré que le niveau de variation génétique au sein des cultivars les plus récemment développés est assez important.

(Ren et al ; 2013) expliquent la diversité au sein d'une collection de blé dur étudiée par de nombreux facteurs, tels que les conditions environnementales, la période de libération des variétés et les flux de gènes via les échanges de germoplasme.

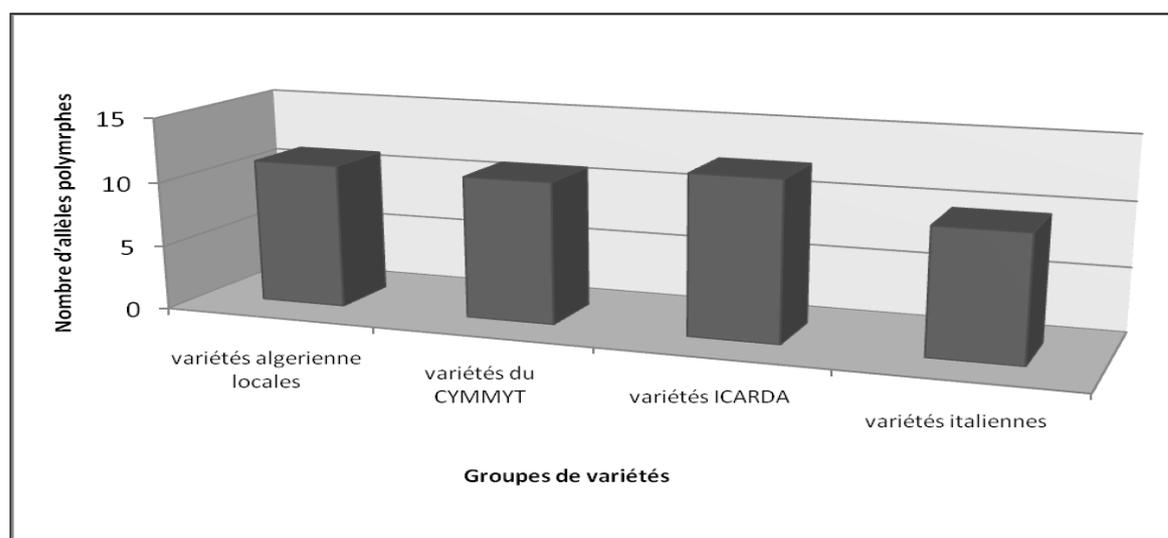
Dans la présente étude, certaines bandes RAPD spécifiques ont été identifiées; reflétant ainsi l'application des RAPD pour l'identification du blé dur. On a observé deux allèles spécifiques ; le premier est de taille 981 pb présent chez la variété Beni Mestina et le deuxième de taille 219 pb chez la variété Djnnah khetifa généré par le marqueur OPG 09, tandis que la variété Tassili contient une autre bande spécifique de 957 pb amplifiée avec l'amorce OPF 20 (Figure. 27 .Photo 3 et 5). La détection des allèles privés au sein de notre collection pourraient être utiles pour une étude plus approfondie en concevant un marqueur spécial pour discriminer les génotypes. Souza et al ; (1994) et Manifesto et al ; (2001) ont trouvé des bandes spécifiques de RAPD tout en examinant la diversité génétique dans les cultivars de blé de printemps cultivés au Mexique et Pakistan.



**Figure 25:** Nombre d'allèles polymorphes présent dans chaque variété de blé dur

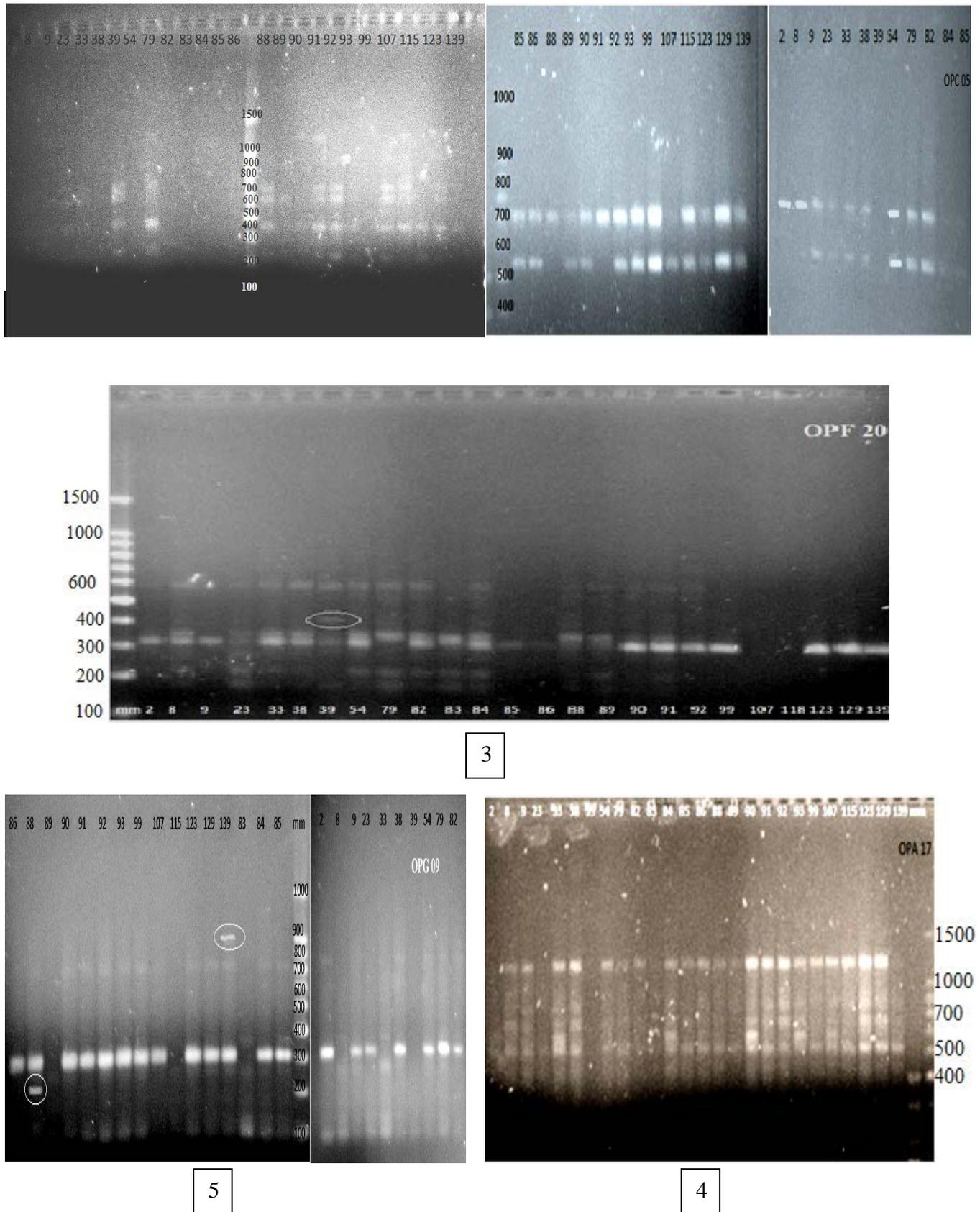
**Tableau. 33 :** Valeurs moyennes, maximales et minimales et écart-type pour l'ensemble d'amorces RAPD étudiées

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Nombre moyen d'allèles obtenu à partir des amorces RAPD utilisées	4,000	18,000	11,077	3,084



**Figure 26 :** Nombre d'allèles générés par l'ensemble des amorces RAPD polymorphes selon le type des variétés

# Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par les SSR et les RAPD



**Figure.27:** Profil électrophorétique sur gel d'agarose des 26 variétés amplifiés avec les amorces (1 : OPE 13), (2 : OPC 05), (3 :OPF 20),(4 :OPA 17), (5 : OPG09)

#### IV-2-3- Classification des accessions basée sur les données des marqueurs RAPD

L'objectif principal de la présente étude était d'estimer les similitudes génétiques entre les variétés de blé dur. La matrice de similarité obtenue après une analyse multivariante, on utilisant le coefficient Jaccard est présentée dans le tableau .34. Ce coefficient de similarité a été utilisé pour générer un dendrogramme (Figure.28) par analyse UPGMA afin de déterminer le regroupement de différentes variétés.

En effet, à 0.35 de similarité, on a distingué deux clusters, le premier composé de variétés suivantes : Montpellier, Vitron, Guemgoum Rkhem, Capeiti 8.

Le deuxième groupe subdivise en deux sous groupe, le premier sous groupe regroupe les variétés : Boussellem et Waha. Le deuxième sous groupe est constitué de, Beni Mestina, Gloire de Mont Golfier, Sigus, Achouri, GTA/DUR69, Oued Zenati 368, Bidi 17, Tell 76, Beliouni, Mohamed Ben Bachir 8037, Simeto, Hedba-03, Yavaros-79, T.PolonicumxZB, Cocorit C 71, Chen 'S', Djennah-Khetifa, Mexicali.

Les données de la matrice de similarité ont révélé que la similitude génétique varie entre 0.17 et 1 (Tableau.34). On a enregistré certaines relations entre les variétés selon leurs diffusions géographiques (Sigus et Achouri présentant un CS de l'ordre de 1) et entre (Bidi 17 et Oued Zenati 386 avec un coefficient de similarité 0.86) selon leurs pédigrées.

Le dendrogramme obtenu a partir des données RAPD ne concorde pas aux dendrogrammes basés sur les critères phénotypiques ainsi les marqueurs SSRs. Les différences entre les dendrogrammes RAPD et SSR peuvent s'expliquer par les différentes régions du génome ciblées par deux systèmes de marqueurs différents. La relation observée à l'aide de marqueurs moléculaires peut fournir des informations sur l'histoire et la biologie des cultivars, mais elle ne reflète pas nécessairement ce qui peut être observé en ce qui concerne les caractères agronomiques (Métais et *al* ; 2000).

Le réarrangement ou de discordance entre les phylogénies établies par les différents marqueurs moléculaires et phénotypiques est très courant. Il a été constaté par certains auteurs, en particulier chez les crucifères (Thormann et *al* ; 1994), *Sorghumbicolor* L. (Yang et *al* ; 1996), *Triticum urartu* (Castagna et *al* ; 1997), *Oryzasativa* (Nagaraju et *al* ; 2002) et *Lupinus* spp (Talhinhas et *al* ; 2003) (Konat ; 2007).

Le regroupement des variétés avec différentes origines géographiques qui n'ont pas de parents en commun est difficile à expliquer. Certaines études ont indiqué que le regroupement de cultivars de différents endroits ignorait l'influence de l'effet géographique sur la diversité génétique. Il a été signalé que la dérive génétique et la sélection pourraient

entraîner une plus grande diversité génétique que les variations géographiques (Bisht et al ; 1998, Manivannan et al ; 1998). Les programmes d'amélioration qui ont conduit à une homogénéité génétique due à la sélection de certains traits génétiques ne devraient pas non plus être ignorés (Karaca and Zblak ; 2008).

Huang et al ; (2002) expliquent cette situation par le fait qu'une variation génétique similaire a eu lieu indépendamment dans des différentes régions géographiques. Une autre explication pourrait être que les bandes supposées similaires originaires de RAPD dans les différents échantillons n'étaient pas nécessairement homologues, bien qu'il partage la même taille en paires de base (Karp et al ; 1997). Cette situation pourrait entraîner de mauvais résultats lors du calcul des relations génétiques (Cui Hou et al ; 2005).

Des résultats obtenus par (Guasmi et al ; 2012) ont montré que le dendrogramme généré par la matrice ISSR s'accorde mieux avec la généalogie, et le pedigree des cultivars d'orge, or que le dendrogramme généré par les marqueurs RAPD ne montre pas de profils géographiques entre les variétés ; cela s'explique en partie par le nombre de produits PCR informatifs. Ils ont renforcé l'importance du nombre de loci et leurs couvertures des génomes globales pour une estimation fiable de la relation génétique entre les différentes variétés.

L'information sur la similarité génétique aidera à éviter toute chance de germoplasme d'élite de devenir génétiquement uniforme et de mettre en danger les gains de productivité à long terme (Messmer et al ; 1992). Le nombre d'amorces utilisée dans la méthode RAPD ne doit pas être trop faible, car cela pourrait conduire à une analyse non formelle ou biaisée, ni trop élevée, ce qui pourrait entraîner une augmentation du coût. (Nawroz ; 2008).

Des résultats obtenus par (Abdullah et al ; 2013) ont démontré que l'analyse de la technique RAPD par les matrices de similitude avec l'utilisation des coefficients Nei & Li, et/ou Jaccard sont plus informatives que les coefficients de similarité SM pour déterminer les relations génétiques entre les variétés. Ainsi Abouzied et al ; (2013) suggèrent que les coefficients Jaccard et Dice sont très similaires, même si la topologie dendrogramme ne sera pas différente. La seule différence est dans les longueurs de branche. En outre, les données ont confirmé le potentiel de l'utilisation des marqueurs RAPD pour estimer la diversité génétique parmi les variétés de blé et peuvent être utiles dans les programmes de sélection du blé. A l'inverse Kosman et Léonard ; (2005), suggérant que les valeurs de similarité basées sur les marqueurs dominants avec les diploïdes ne doivent être

considérées que comme des estimations approximatives basées sur des informations incomplètes.

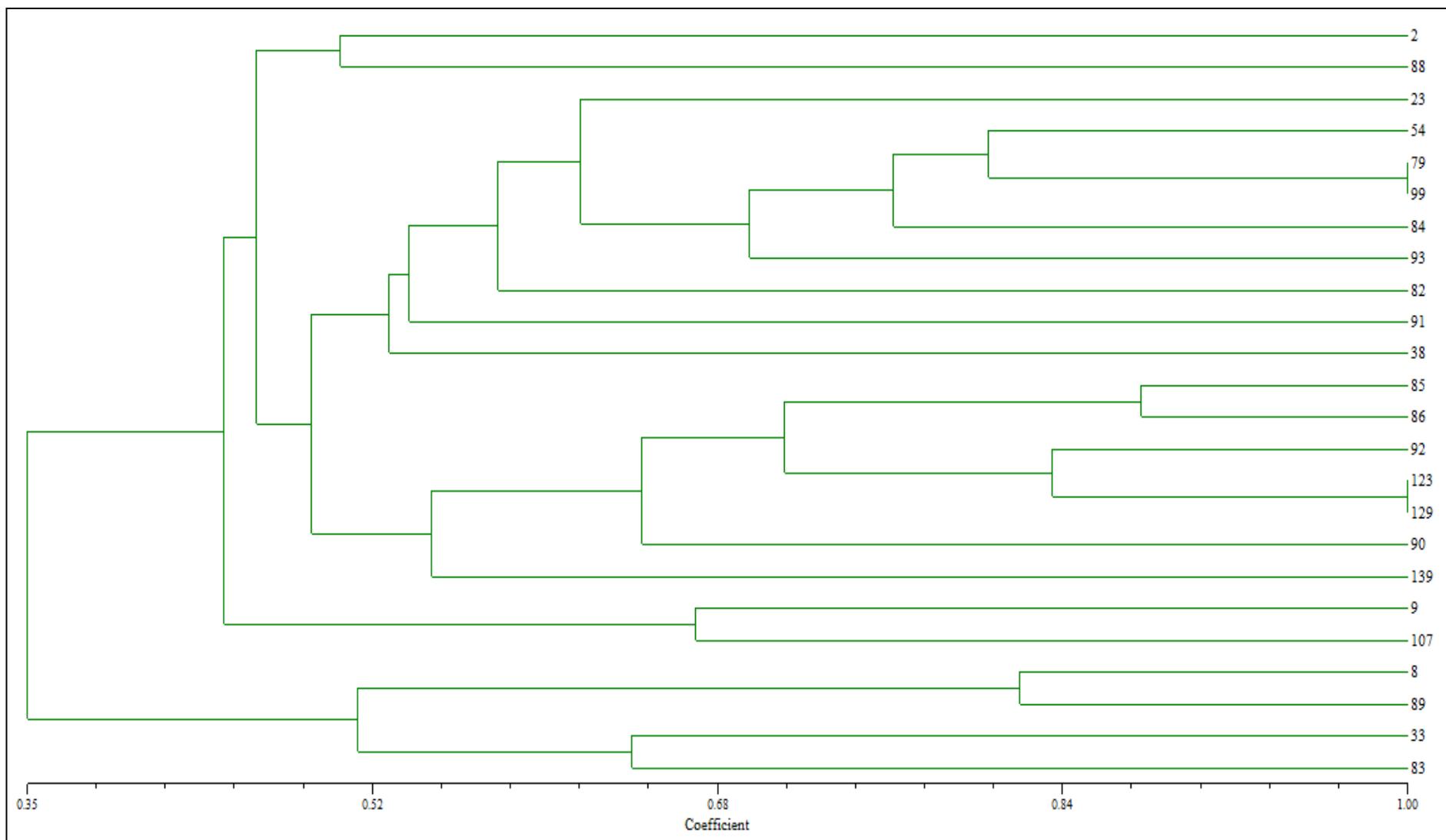
Les RAPD ont été jugés utiles comme marqueurs génétiques dans le cas d'espèces auto pollinisantes présentant un niveau relativement faible de polymorphisme intra spécifique (El-Assal and Gaber ; 2012). Plusieurs auteurs favorisent des analyses à l'aide des marqueurs RAPD sur le plant de polymorphisme, et la reproductibilité. *Atriplex* (Mâalem et al ; 2011), *Verbesina encelioides* (Damini et al ; 2012). *Durum* wheat (Sapna et al ; 2006).

Par conséquent, aucun marqueur ne peut donner toutes les informations nécessaires aux programmes d'adaptation, de reproduction, d'évolution et de conservation des plantes sans l'appui d'une autre technique ( Khoufi et al ;2012).

## Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par les SSR et les RAPD

**Tableau. 34** : Matrice de similarité génétique calculée par le coefficient *Jaccard* à partir de marqueurs RAPD

	2	8	9	23	33	38	54	79	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	99	107	123	129	
2	1,00																							
8	0,38	1,00																						
9	0,44	0,31	1,00																					
23	0,55	0,62	0,45	1,00																				
33	0,36	0,53	0,38	0,47	1,00																			
38	0,50	0,47	0,55	0,50	0,44	1,00																		
54	0,42	0,40	0,45	0,54	0,38	0,62	1,00																	
79	0,50	0,57	0,42	0,75	0,44	0,57	0,75	1,00																
82	0,25	0,36	0,40	0,50	0,33	0,46	0,80	0,58	1,00															
83	0,25	0,55	0,30	0,50	0,64	0,23	0,21	0,38	0,23	1,00														
84	0,40	0,47	0,33	0,60	0,44	0,47	0,71	0,79	0,57	0,36	1,00													
85	0,50	0,27	0,56	0,38	0,33	0,46	0,50	0,58	0,33	0,25	0,47	1,00												
86	0,40	0,29	0,63	0,42	0,36	0,38	0,42	0,50	0,36	0,27	0,40	<b>0,88</b>	1,00											
88	0,50	0,46	0,40	0,50	0,43	0,46	0,50	0,58	0,45	0,15	0,47	0,45	0,50	1,00										
89	0,33	0,82	0,25	0,58	0,50	0,33	0,46	0,67	0,42	0,45	0,53	0,31	0,33	0,55	1,00									
90	0,55	0,40	0,33	0,33	0,38	0,50	0,43	0,50	0,29	0,15	0,50	0,64	0,55	0,50	0,36	1,00								
91	0,40	0,47	0,25	0,50	0,30	0,47	0,50	0,67	0,38	0,29	0,65	0,47	0,40	0,47	0,53	0,50	1,00							
92	0,46	0,35	0,38	0,38	0,33	0,64	0,47	0,53	0,33	0,23	0,53	0,67	0,58	0,43	0,31	0,69	0,63	1,00						
93	0,45	0,33	0,50	0,46	0,40	0,43	0,58	0,67	0,42	0,36	0,64	0,70	0,60	0,42	0,38	0,58	0,44	0,50	1,00					
99	0,71	0,44	0,71	0,71	0,45	0,67	0,86	1,00	0,57	0,38	0,78	1,00	0,86	0,63	0,50	0,67	0,60	0,70	0,88	1,00				
107	0,25	0,22	0,67	0,43	0,40	0,44	0,57	0,50	0,50	<b>0,14</b>	0,56	0,50	0,57	0,38	0,25	0,44	0,27	0,36	0,63	0,50	1,00			
123	0,42	0,31	0,45	0,33	0,29	0,62	0,43	0,50	0,29	0,25	0,41	0,80	0,70	0,38	0,27	0,67	0,50	0,83	0,58	0,78	0,40	1,00		
129	0,42	0,31	0,45	0,33	0,29	0,62	0,43	0,50	0,29	0,25	0,41	0,80	0,70	0,38	0,27	0,67	0,50	0,83	0,58	0,78	0,40	<b>1,00</b>	1,00	
139	0,42	0,17	0,33	0,33	0,22	0,31	0,33	0,40	0,20	0,23	0,41	0,64	0,55	0,29	0,19	0,43	0,50	0,57	0,46	0,60	0,27	0,54	0,54	



**Figure 28 :** Dendrogramme généré par l'analyse des marqueurs RAPD via la méthode UPGMA

#### **IV-2-4-Evaluation de la diversité génétique au sein de la collection de blé dur étudiée**

##### **IV-2-4-1-Nombre d'allèles par locus ( $N_a$ ) et le nombre d'allèles effectifs ( $N_e$ )**

Une autre mesure de la variabilité est la moyenne du nombre d'allèles par locus ( $N_a$ ). De plus, pour déterminer la fréquence de ces allèles, pour un locus et un taux d'hétérozygotie donnés, on définit le nombre d'allèles efficaces ( $N_e$ ), maintenu dans une population d'effectif  $N$ , comme le nombre théorique d'allèles possibles dans une population de même taille et de même hétérozygotie à l'état stationnaire, mais dans laquelle tous ces allèles auraient la même fréquence (Kimura et Crow ; 1964).

Selon le locus, le nombre moyen d'allèles varie de 1.75 à 2.00, tandis que le nombre d'allèles effectifs varie de 1.38 à 1.67 (Tableau .35).

##### **IV-2-4-2- L'indice de diversité de Shannon (I)**

L'indice de Shannon est un indice d'abondance basé sur la diversité spécifique, plus il est grand, moins les populations sont homogènes. Il permet de décrire, avec d'autres, la structure d'une population.

Les variétés impliquées dans cette étude ont montré un indice de diversité varie de 0.35 (OPG 09) à 0.50 (OPC 05) (Tableau .35). Des résultats inférieurs ont été rapportés par Mahjoub et al ; (2012) dans l'étude des populations naturelles d'*Aegilops geniculata* et le blé dur tunisien par l'utilisation de 19 marqueurs RAPD avec un indice de diversité de l'ordre de (I =0.31).

##### **IV-2-4-3-L'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) et l'hétérozygotie attendue ( $H_e$ )**

L'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) varie de 0,24 pour le locus OPG 09 à 0,37 pour le locus OPC 05 (Tableau 35). Pour l'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) on a un minimum de 0,23 pour le locus OPG 09, et un maximum de 0,35 pour le locus OPC 05 (Tableau .35). Il ressort de nos résultats, une concordance entre l'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) et l'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ). Par ailleurs ce niveaux de diversité était moins élevé que les valeurs rapportées par des études antérieures impliquant des collections de blé dur (valeurs  $H_e$  entre 0,55 et 0,68) (Eujayl et al ; 2002, Achar et al ; 2010), et aussi que celles trouvées dans les collections de blé tendre (valeurs  $H_e$  entre 0,54 et 0,63) (Chen et al ; 2012).

**Tableau. 35** : Paramètres de diversité intra-variété

Locus	Band Freq.	N	Na	Ne	I	Ho	He
<b>OPG 09</b>	0,31	13,00	1,75	1,38	0,35	0,23	0,24
<b>OPF 20</b>	0,33	13,00	1,88	1,43	0,42	0,27	0,28
<b>OPA 17</b>	0,37	13,00	2,00	1,39	0,41	0,25	0,27
<b>OPE 13</b>	0,40	12,50	2,00	1,54	0,49	0,32	0,34
<b>OPC 05</b>	0,82	13,00	1,75	1,67	0,50	0,35	0,37

**Na** : nombre d'allèle différents, **Ne** : nombre d'allèles effectifs. **I** : Indices d'information de Shannon. **Ho** : Hétérozygotie observé, **He** : Hétérozygotie espéré

#### IV-2-4-4-Paramètres génétiques estimés selon le type de génotype par GenAlex v.6.5

Le nombre moyen d'allèles par locus et le nombre effectif d'allèles ( $N_e$ ) estimés chez les variétés locales sont plus élevés ( $N_a = 1.93$ ,  $N_e = 1.45$ ) par rapport à ceux des variétés modernes ( $N_a = 1.83$ ,  $N_e = 1.43$ ) (Tableau 36).

Un niveau considérable de diversité génétique entre les deux différents groupes était présent, comme l'indique les valeurs moyennes de l'hétérozygotie espérée ( $H_e = 0,28$ ) et l'indice de diversité de Shannon ( $I = 0,416$ ). Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Abouzied *et al* ; (2013), avec un l'indice de diversité de Shannon ( $I$ ) de ( $0,453 \pm 0,085$ ). Russell *et al* ; (1997) ont constaté que la diversité génétique moyenne basée sur les analyses RAPD de dix-huit accessions en provenance des Pays-Bas, la France, la Grande-Bretagne, l'Allemagne et l'Italie était de 0,521. Les auteurs expliquent ce niveau de diversité par la structure géographique variée et à l'hétérogénéité climatique.

Les variétés algérienne sont les plus diversifiées enregistrent un indice de diversité de ( $I = 0,42$ ), la moyenne d'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) était comprise entre 0,266 dans le cas des variétés modernes, et de 0,273 chez les variétés locales avec une valeur moyenne de  $0,269 \pm 0.02$  (Tableau 36). Ces résultats révèlent que les variétés locales constituent une bonne source de variabilité génétique, exploitable dans les programmes d'amélioration du blé dur.

Par ailleurs, l'absence de réduction significative au niveau du taux d'hétérozygotie espérée ( $H_e$ ) et l'indice de diversité de Shannon ( $I$ ) indique que la diversité génétique globale est maintenue stable au cours de l'évolution. (Mardi *et al* ; (2011) et Ammalah ; 2017).

Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par les SSR et les  
RAPD

**Tableau. 36** : Paramètres génétiques pour les cinq RAPD estimés selon le type de génotype par GenAlex v.6.1

Groupes		N	Na	Ne	I	Ho	He
<b>Groupe de variétés locales algériennes</b>	<b>Mean</b>	15,833	1,933	1,454	0,421	0,273	0,282
	<b>SE</b>	0,069	0,067	0,064	0,040	0,031	0,032
<b>Groupe de variétés modernes</b>	<b>Mean</b>	10,000	1,833	1,434	0,411	0,266	0,280
	<b>SE</b>	0,000	0,097	0,061	0,040	0,030	0,032
<b>Total</b>	<b>Mean</b>	12,917	1,883	1,444	0,416	0,269	0,281
	<b>SE</b>	0,381	0,059	0,044	0,028	0,022	0,023

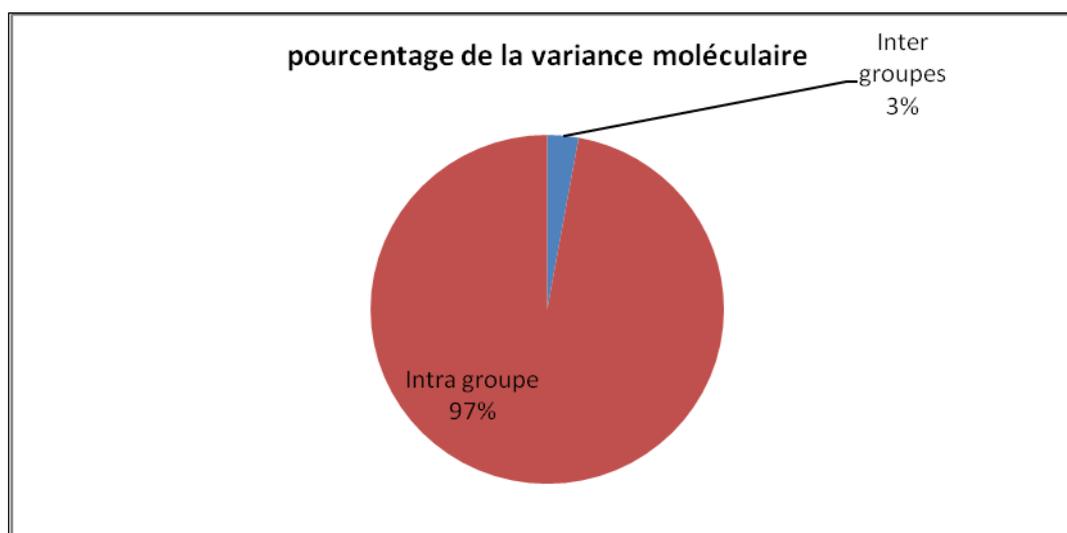
Na = Nombre d'allèles différents. Ne = Nombre d'allèles effectifs .I = indice d'information de Shannon. Ho = hétérozygotie observé. He = Hétérozygotie attendue.

#### IV 2-4-4-Analyse de la variance moléculaire (AMOVA)

L'AMOVA permet de comparer les groupes et de les évaluer. Les groupes de variétés se sont avérés différents au niveau de probabilité de 5%. A l'issue de cette étude, nous avons constaté que la diversité génétique est élevée au sein des groupes (97%), mais relativement faible entre les groupes (3%) (Figure.29). Ces résultats sont conformes à un certain nombre d'études (Dashchi et al ; 2012, Mahjoub et al ; 2012 , Arora et al ; 2014). La valeur  $\Phi_{PT}$ , estimée par l'AMOVA; représente 0,173 ( $p < 0,05$ ), en fonction de la permutation dans l'ensemble de données complet (Tableau.37).

Selon Abouzied et al ; (2013), la faible variabilité entre les populations peut être due au flux de gènes élevé et le niveau de diversité génétique entre les populations est ainsi inversement proportionnel à la valeur du flux de gènes. Ce résultat était conforme aux résultats trouvés par Ehtemam et al ; (2009) dans les espèces de *Triticum*. La variabilité génétique au sein des populations est une mesure très importante de l'adaptation des espèces aux changements environnementaux et à la survie des espèces (Sofia ; 2006).

La technique RAPD est un outil commun et éprouvé dans les études génétiques et un système approprié pour détecter la variation génétique totale et son partitionnement à l'intérieur et parmi les populations (Damini et al ; 2012).



**Figure 29 :** Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) montrant la variabilité entre et au sein de deux groupes de blé dur

**Tableau. 37 :** Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des cultivars de blés durs modernes et traditionnels basée sur les marqueurs RAPD

Source	Df	SS	MS	Est. Var.	Variance %
Inter- groupes	1	6,935	6,935	0,149	3%
Intra- groupes	24	122,450	5,102	5,102	97%
Total	25	129,385		5,251	100%
Stat	value	P (rand>=data)			
PhiPT	0.173	0.028			

Df : degré de liberté .SS : Somme des carrés.MS : Carrés moyens. Est Var : Variation estimé. PhiPT : indicateur de la différenciation génétique intra et intergroupes.

### Conclusion

L'analyse de 26 variétés de blé dur par les marqueurs SSR a permis significativement leur différenciation. Dix amorces utilisées pour amplifier l'ADN de chaque variété, on a enregistré au total, 291 bandes polymorphes, une moyenne de PIC (0.45). Ainsi une moyenne de nombre d'allèles 4,4 par amorce. Les variétés algériennes affichent des valeurs plus élevées de nombre d'allèles que les variétés modernes. Pour cette raison que les variétés anciennes sont très importantes entant que germoplasme pour les sélectionneurs.

La classification des variétés selon la méthode UPGMA a montré une large diversité génétique, peut être utilisée dans le choix de parents dans le programme

d'amélioration, et dans le maintien de la variation génétique. Les cultivars de blé modernes ont divergé du blé dur de l'Algérie et italiens en deux principaux cluster distinct. Cette similitude génétique entre les variétés modernes (CIMMYT et ICARDA) peut être expliquée par l'origine commune des sources alléliques, ainsi que l'imposition d'une sélection similaire pour des traits spécifiques. L'origine géographique était aussi un facteur important dans le regroupement. Ce résultat, qui est en accord avec ceux d'autres auteurs, relie les caractères agronomiques aux moléculaires.

L'utilisation de 05 amorces RAPD a généré 30 allèles. Le dendrogramme construit à l'issue de l'analyse statistique de ces marqueurs par la méthode UPGMA a permis de réaliser quelques discriminations exploitables. Cependant, l'interprétation de quelques cas de séparation et/ou de rapprochement génétique reste fortement discutée. Les marqueurs RAPD utilisés ont permis aussi de faire une bonne estimation de la diversité génétique à travers les différents paramètres étudiés. Les résultats obtenus sont prometteurs, vu le niveau de diversité génétique enregistré.

Six allèles privés ont été révélés par les microsatellites présents chez les variétés (Beliouni et Djennah-khetifa, GTA/DUR69 ainsi Capeiti 8, Beni Mestima), et trois par les marqueurs RAPD chez les variétés (Beni Mestina, Djnnah khetifa et Tassili). Ces variétés constituent un très bon matériel pour entamer un programme d'amélioration. Certaines études associent le nombre élevé d'allèles privés au fort taux de mutations mais aussi à une possible sélection de ces allèles spécifiques associée à la morphologie et l'aire d'adaptation des accessions.

Toutefois, l'analyse moléculaire faite par la technique SSR a été par rapport à celle de RAPD plus éloquente et discriminante. Cette étude a permis la validation des marqueurs SSR et a montré leur utilité dans des analyses visant à déterminer les relations génétiques qui existent entre les variétés. Ce qui permet de conclure que les marqueurs SSR sont les plus appropriés pour distinguer le polymorphisme entre les géotypes selon leur pedigree et selon les caractères agronomiques qui sont, à leur tour, le résultat d'une longue adaptation aux conditions géographiques de chaque variété étudiée.

Par conséquent, nous ne supposons pas que les différences dans les relations génétiques révélées par les marqueurs RAPD et SSR, peuvent être attribuées uniquement aux différences dans le niveau de polymorphisme détecté par chaque système de marqueur; ils reflètent plutôt la complexité dans l'hérédité des caractères d'adaptabilité. La discordance entre différents systèmes de marqueurs peut être très instructive pour

## Etude de polymorphisme moléculaire des variétés de blé dur par les SSR et les RAPD

---

comprendre les relations génétiques au sein du groupe d'étude (Mardi et *al* ; 2011). Les résultats obtenus dans cette étude fourniront des preuves pour la prise de décision dans le choix des marqueurs pour les travaux futurs pour la caractérisation, la sélection et la gestion du germoplasme de blé dur.

# **Conclusion générale et perspectives**

L'identification et la caractérisation de germoplasmes sur le plant phénotypique et moléculaire constitue l'étape majeure dans les programmes d'amélioration. La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques suit plusieurs voies dont entre l'utilisation de la phénologie, la morphologique, la physiologique, le moléculaire, ainsi que le comportement global de la plante vis-à-vis de la variation environnementale. Et c'est dans ce contexte que notre travail s'inscrit.

Lors de la première partie d'étude on s'est fixé l'objectif d'évaluer la variabilité existante entre les variétés étudiées, par l'utilisation des traits physiologiques, morphologiques et agronomiques ; vue leurs importance en tant que critères de sélection et leurs utilisation dans le criblage des génotypes adaptés et performants dans les conditions intrinsèques du milieu. L'analyse de la phénologie et la durée des différents stades de développement dégage une variabilité génotypique hautement significative entre les variétés étudiées, la variété Mexicali montrent la durée d'épiaison la plus précoce, contrairement aux variétés locales qui sont les plus tardives.

L'étude de caractères physiologiques et morphologiques liés à l'adaptation aux contraintes climatiques a permis de montrer la capacité des variétés locales algériennes à maintenir une température du couvert végétal moins élevée que celle de l'air ambiant, et une meilleure hauteur de plante et longueur de barbes élevée, une large surface foliaire accompagnée d'une TRE élevée. Cette aptitude d'adaptation observée entre variétés algériennes constitue une base pour les travaux de sélection qui permettront de continuer d'apporter un soutien à notre agriculture.

Cette première partie d'étude a pour objectif également de comparer la performance de rendement des variétés vis-à-vis les conditions environnementales au cours de deux années d'expériences sur le terrain, qui ont été typiques d'un climat méditerranéen avec une tendance à l'augmentation des températures au printemps ; et à une répartition inégale des pluies.

Les résultats de la présente étude indiquent que les composantes du rendement sont très sensibles aux variations environnementales et présentent souvent un effet compensatoire. Des rendements élevés sont associés à un rapport talles herbacées/talles épis équilibré, NG/E, NEP/m<sup>2</sup> élevés. Constituant des critères de choix pour démarrer un programme de sélection pour une meilleure production. Les variétés Hoggar et Tassili se sont avérées comme les meilleurs génotypes de point de vue rendement en grains, cette performance attribuée à l'effet d'interaction entre différentes caractéristiques. Leurs précocité a permis de minimiser les risques sur la production, relativement à des variétés

plus tardives pour lesquelles les risques de sécheresse et d'échaudage thermique ont toutes chances d'être plus élevés. En effet, La stabilité des performances des cultivars doit être recherchée en combinant, les capacités d'adaptation des variétés locales au potentiel élevé de rendement en grain des variétés améliorées.

L'analyse en composantes principale et la classification hiérarchique ont été utilisées pour évaluer la diversité génétique basée sur des traits phénotypiques. La CAH a révélé que les cultivars de blé modernes divergeaient des cultivars de blé algérien ancien. Cette divergence a probablement été causée d'une part par le biais des programmes d'amélioration de la production des variétés modernes, et d'autre part due à la diversité des climats et des croisements spontanés des populations locales pendant plusieurs années.

Les deux méthodes d'analyse ont montré des résultats similaires, indiquent que les descripteurs morphologiques, physiologiques et agronomiques étudiés font preuve d'un grand pouvoir discriminant, se sont révélés suffisants pour discriminer un nombre important de cultivars de blé dur. Ce résultat souligne l'importance que peut apporter l'utilisation de ces traits pour faire un inventaire et l'identification des cultivars de cette espèce.

Dans le deuxième volet de cette étude, on a analysé la diversité génétique de 26 variétés en utilisant les marqueurs moléculaires. Dix primers SSR ont permis d'identifier un total de 44 allèles. Le nombre d'allèles par locus varie de 1 à 9 ( $x = 4,40$ ), et les valeurs de PIC entre 0.21 et 0.85 ( $x = 0.45$ ). Le dendrogramme construit à l'issue de l'analyse statistique de ces marqueurs par la méthode UPGMA a montré un degré élevé de diversité génétique, et un réarrangement significatif des variétés analogue à celle révélée par les marqueurs phénotypiques. A 63% de similitude, on a obtenu deux groupes de génotypes génétiquement proches, nous avons comparé les degrés de similarités génétiques basées sur les marqueurs SSRs aux relations de parentés à travers les pedigrees et/ou aux origines des génotypes étudiés. Cette comparaison a mis en évidence une certaine correspondance entre la similarité génétique basée sur les marqueurs SSRs et l'origine commune des génotypes étudiés et/ou la présence de parents en commun au niveau de leur pedigree. Cependant le rapprochement surprenant observé entre les variétés italiennes (Simeto, Capeiti 8, Ofonto) et locales algériennes (Bidi 17, Oued Zenati368, T.PolonicumxZB) trouverait son origine par l'agriculture très semblable des deux pays, caractérisées par une tolérance en cours de remplissage des grains, exprimée par un poids de milles grains élevé malgré le stress thermique rencontré à la fin de cycle.

Toutefois, l'utilisation de 05 amorces RAPD a généré 30 allèles polymorphes, Le nombre d'allèles par locus varie de 2 à 8 ( $x = 6$ ), et les valeurs de PIC entre 0.22 à 0.40 ( $x=0.31$ ). L'évaluation de la variabilité a été étudiée à travers divers paramètres tels que le pourcentage de polymorphisme, l'indice  $He$  et l'indice  $Ho$ , le nombre d'allèles par locus ( $Na$ ) et le nombre efficace d'allèles ( $Ne$ ), l'indice de diversité de Shannon ( $I$ ). La variation a été aussi renforcée par une analyse de la variance moléculaire (AMOVA). Cette analyse a permis de mettre en évidence une grande variabilité génétique au sein de notre collection, et montre que la diversité génétique était davantage due à la variabilité intra-groupe qu'à la variabilité intergroupe. Le regroupement des variétés obtenu par la méthode UPGMA révélée par les marqueurs RAPD est en grande partie, en désaccord avec leurs répartitions géographiques.

Finally, our study has demonstrated a robust relationship between the phenotypic expression of traits and the genetic background that supports them. It shows a reliable relationship between genetic population structures and phenotypes, and the connection between the two with geographical origin. The results of the current study demonstrate that, when the appropriate number and distribution of markers are used and the phenotyping is correctly conducted, high similarities can be found between genetic distances and the adaptive response of durum wheat.

Notre étude a permis l'évaluation de la diversité phénotypique et génétique du blé dur, constitue une valeur scientifique prometteuse. Cependant, l'ouverture de nouvelles perspectives, dans le but de rentabiliser davantage nos investigations, reste judicieuse:

- L'élargissement de cette collection du blé dur en y apportant de nouvelles accessions provenant de toutes les régions d'Algérie non étudiées nous permettra de construire une base de données d'empreintes génétiques et phénotypiques du germoplasme. Cette base de données permettra de mieux gérer ce germoplasme et de mieux l'exploiter dans des programmes d'amélioration génétique bien ciblés. Elle nous permettra aussi d'identifier tout génotype inconnu.
- L'utilisation d'un nombre plus élevé de marqueurs moléculaires permettrait aussi de réaliser d'autres applications comme la recherche des gènes candidats pour des traits agronomiques et d'adaptation importants.
- L'étude du rendement et ses composantes sur plusieurs sites et plusieurs années pour confirmer la stabilité des performances des variétés Hoggar et Tassili.

- Approfondir l'étude moléculaire sur l'ensemble des variétés locales algériennes de blé dur, présentant des capacités d'adaptation et constituant un réservoir génétique pour les programmes de sélection.

Ces objectifs exigent de réels efforts de recherche pour exploiter davantage les ressources génétiques de blé dur disponibles et répondre encore aux nouveaux enjeux de l'alimentation humaine en matière d'innovation et de différenciation des produits.

## **Références bibliographiques**

### Références bibliographique

**Abbassenne, F.** Etude génétique de la durée des phases de développement leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). (Thèse de magister), INA Alger. 1997, 70 p.

**Abdelguerfi, A et Laouar, M. (2000).** Les ressources génétiques des blés en Algérie : passé, présent et avenir. In "Blé 2000. Enjeux et Stratégie", Actes du 1er Symposium International sur la Filière Blé, OAIC, Alger, 7-9/02/2000.133-148 p.

**Abdullah, S.K.h ; Sulyman, S. Aldeen, A; Al-Hamdany, G.A.T. (2013).** Evaluation of Genetic Diversity among Eight Tetraploid Wheat Varieties Using Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Markers. College Of Basic Education Researches Journal. 12(4), 960-980 p.

**Abouzied, H.M ; Eldemery, S.M.M; Abdellatif, K.F. (2013).** SSR- Based Genetic Diversity Assessment in Tetraploid and Hexaploid Wheat Populations. British Biotechnology Journal, 3(3), 390-404 p.

**Acevedo, E; Silva, P; Silva, H. (2002).** Growth and wheat physiology, development. In: Bread wheat: improvement and production. Edited by Curtis BC, Rajaram S, Gomez Macpherson H: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 567 p.

**Achtar, S; Moualla, M,Y; Kalhout, A; Roder, M.S; Mir, Ali N. (2010).** Assessment of genetic diversity among Syrian durum (*Triticum ssp. durum*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using SSR markers. Russ J Genet. 46, 1320–1326.

**Adamou, S; Bourennane, N; Haddadi, F; Hamidouche, S; Sadoud, S. (2005).** Quel rôle pour les fermes-pilotes dans la préservation des ressources génétiques en Algérie. Série de Documents de Travail N° 126, 23p.

**Aghaee, M; Mohammadi, R and Nabovati, S. (2010).** Agro-morphological Characterization of Durum Wheat Accessions Using Pattern Analysis . Australian Journal of Crop Science. 4(7), 505-514 p.

**Aidaoui, A., Hartani, T. (2000).** Gestion de l'irrigation du blé par des indicateurs de l'état hydrique. In : Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza : CIHEAM. p. 579-582 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens. n. 40.

**Ait Kaki, Y.** Contribution à l'étude des mécanismes morpho physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister, Université d'Annaba.1993 .113p.

**Al Hakim, A ; Monneveux, P; Deleins, E. (1996).** Selection response for carbon isotope discrimination on a *Triticum polonicum* x *Triticum durum* cross: potential interest for improvement of water efficiency in durum wheat. *Plant Breed.*,115: 122-6.

## Références bibliographiques

---

**Al khanjari, S; Filatenko, A; Hammer, K; Burekert, A. (2008).** Morphological Spike diversity of Omani wheat. *Genet Resour Crop* .Vol 55.1185-1195 p.

**Ali Dib, T ; Monneveux P ; Araus JI. (1992).** Adaptation `à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie, EDP Sciences*.12 (5) .381-393 p.

**Allahverdiyev, T. (2015).** Effect of drought stress on some physiological traits of durum (*Triticum durum* Desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 11(11). 29-38 p.

**Allam, A; Tirichine, A; Madani, H; Benlamoudi, W et Attali, Y. (2015).** Évaluation agro morphologique des cultivars locaux de blé dur: *triticum durum* desf. Cultivés dans les palmeraies de la vallée d'oued Righi (sud-est algérien). *Revue des Bio Ressources* 5 (2). 67- 76 p.

**Altıntaş S ; Toklu, F; Kafkas, S ; Kilian, B, Brandolini, A. and ÖZkan , H. (2008),.** Estimating Genetic Diversity in Durum and Bread Wheat Cultivars from Turkey using AFLP and SAMPL Markers. *Plant Breeding*.127, 9–14 p. Doi:10.1111/j.1439-0523.2007.01424.x.

**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 .Faculté des sciences /Université Mohammed V. Rabat .2017. 143p.

**Amallah, L; Hassikou, R; Rhrib, K; Gaboun, F; Ennadir, J ; Bouazza, F ; Rochdi, A ; Arahou,M ; Diria, G ; Taghouti, M. (2016).** Analyse de la diversité génétique d'une collection de blé dur par les marqueurs agro-morphologiques et biochimiques. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (7), 2435-2444 p.

**Amboulet, A. Masse, J et Triboi, E. (1983).** Colloque International sur les céréales à cambridge. Extrait rev. *Perspective agricole* n° 76.

**Ammar, M.** Organisation de la chaine logistique dans la filière céréales en Algérie. Etat des lieux et perspectives. (Thèse de hautes études du ciheam, Institut Agronomique méditerranéen de Montpellier). 2014. 114 p.

**Anumalla, M; Roychowdhury, R; Kumar, G.C ; Mazid , Mohd and Ashok Kumar, Rathoure .(2015).** Utilization of plant genetic resources and diversity analysis tools for sustainable crop improvement with special emphasis on rice. *International Journal of Advanced Research*. 3(3), 1155-1175 p.

**Aouad, A; Mergoum, M et Baaziz, M.I. (1996).** Etude préliminaire du polymorphisme enzymatique révélé chez quelques céréales aux premiers stades végétatifs .Edi : Al Awamia 95.

**Arora, A., Kundu, S., Dilbaghi, N., Sharma, I and Tiwari, R. (2014).** Population structure and genetic diversity among Indian wheat varieties using microsatellite (SSR) markers. *Aust. J.Crop Sci.* 8, 1281-1289 p.

## Références bibliographiques

---

- Asins, M.J; and Carbonell, E.A. (1989).** Distribution of genetic variability in a durum wheat world collection. *Theor Appl Genet.* 77, 287-294 p.
- Autrique, E; Nachit, M; Monneveux, P; Tanksley, S.D ; and Sorrells, M. E. (1996).** Genetic Diversity in Durum Wheat Based on RFLPs , morphophysiological traits, and coefficient of parentage. *crop sci.* 36:735-742. doi:10.2135/cropsci1996.0011183x003600030036x
- Aydoğan, E.Ç et Köksal, y. (2012).** Study of Genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum*) varieties using random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1):91-95 p.
- Ayed, S ; Karmous, C ; Trifa, Y ; Slama-Ayed, O . (2010).** Phenotypic diversity of tunisian durum wheat landraces. *African Crop Science. Journal.* 18(1), 35– 42 p.
- Babay, E; Hanana, M; Mzid, R; Rodriguez-Quijano, M; Slim-Amara, H. (2014).** Analyse de la Diversité du Blé Dur (*Triticum turgidum* L. subsp.*durum*) Moyennant les Fractions de Gluten. *Journal of New Sciences.* 12(3) : 21-28p.
- Baccini, A. (2010).** Statistiques Descriptives Multidimensionnelles (pour les nuls). Institut de mathématiques de Toulouse, 33 p.
- Bagga, A.K., Ruwali, K.N et Asana, R.D. (1970).** Comparison of responses of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation. *Indien J. Agri.Sci.* 40, 421-42 p.
- Bahlouli, F; Bouzerzour, H; Benmahammed, A. (2004).** Etude des mécanismes de stabilité du rendement grain de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur.* 1 (3).1-11 p.
- Balfourier, F. (2014).** Caractérisation phénotypique et moléculaire de la collection nationale de ressources génétiques de blé tendre. *Innovations Agronomiques.* 35, 181-191 p.
- Bansal, K.C and Simha S.K. (1991).** Assesment of drought resistance in 20 accessions of *triticum aestivum* and related sepecies today dry matter and grain yield stability .*Euphytica.* 56, 7-14 p.
- Barkat, M.** Caractérisations morpho-physiologique et physico-chimique des descendants issus de cinq générations de back-cross et de leurs géniteurs de blé dur (*triticum durum* desf.). Thèse de doctorat d'état .Université Mentouri Constantine .2005. 153 p.
- Barrs, H. (1968).** Determination of water deficit in plant tissues. In: water deficit and plant growth. Koslowski T. (Ed). Academy Press, New York, 235-238 p.
- Bautista-Salas, A. M.** Caractérisation agro-morphologique et moléculaire d'une collection de landraces péruviennes de pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) pour l'analyse de sa diversité. Thèse de doctorat. Faculté universitaire Notre Dame de la paix. Namur, Belgique, 2009. 245p.

## Références bibliographiques

---

- Belhadj, H; Medini, M; Bouhaouel, I; Amara, H. (2015).** Analyse de la diversité phénotypique de quelques accessions autochtones de blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) du sud tunisien. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 24(5), 1115-1125 p.
- Belkherchouche, H., Fellah, S; Bouzerzour, H; Benmahammed, A; Chellal. N. (2009).** Vigueur de la croissance, translocation et rendement en grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. Courrier Savoir Technique & Scientifique. 7, 25-30p.
- Bellatreche, A ; Gaouar , Souheil . (2016).** Diversité et comportement de variétés de blé dans la région de Tlemcen .Editions universitaires européennes. 132p
- Ben Abdallah, N; Ben Salem, M. (1993).** « Paramètres morfo physiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales ». In Monneveux P., Ben Salem M. (éd.) : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Paris, Inra, Les colloques, n° 64 ,275-297p.
- Ben Naceur, M ; Gharbi, M. S et Paul, R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. Sécheresse.10, 27- 33p.
- Ben Salem,M; Deghals,M; Slama,A.(2001).** Stabilité de la production en grains d'une collection de blé tendre-Comparaison de résultats-. Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes.480-492p
- Benbelkacem, A et Kellou, K. (2000).** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza : CIHEAM, (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40). Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, 2000/04/12-14, Zaragoza (Spain). 105-110 p. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a40/00600011.pdf>.
- Benbelkacem, A ; Mekni, M.S et Rasmusson, D.C. (1984).** Breeding for high tiller number and yield in barley. Crop Sci. 24 ,968-972p.
- Benlaribi, M ; Monneveux. P. (1988).** Étude comparée du comportement, en situation de déficit hydrique, de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf) adaptées à la sécheresse. C R Séances Acad Agric Fr .74 (5), 73-83.
- Benmhamed, A.** Heterosis transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum Vulgar L.*) .Thèse de doctorat d'état. Université frère Mentouri Constantine.2005. 123 p.
- Berger, M.** Étude des caractères morfo physiologiques, des composantes du rendement et de leurs corrélations génétiques et environnementales chez le blé tendre. Thèse Docteur Ingénieur, école nationale supérieure d'agriculture (Ensa), Toulouse, 1985.182 p

## Références bibliographiques

---

- Berka, S and Aïd, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. Science et changements planétaires/ Sécheresse. 20(3), 296-302 p.
- Berry, P.M; Spink, J.H; Foulkes, M.J; Wade, A. (2003).** Quantifying the contributions and losses of dry matter from non-surviving shoots in four cultivars of winter wheat. Field Crops Research. 80, 111–121 p.
- Bhouri Khila, S; Douh, B; Mguidiche, A; Boujelben, A. (2015).** Effets de la contrainte hydrique et des changements climatiques sur la productivité du blé dur en conditions climatiques semi arides de Tunisie. Larhyss Journal. N° 23, 69-85 p.
- Bhutta,W. M. (2006).** Biochemical and molecular characterization of wheat genotypes determined by RAPD Analysis. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science. 57(4), 335-341 p.
- Bisht, I.S; Mahajan, R.K and Kawalkar, T.G. (1998).** Diversity in greengram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) germplasm collection and its potential use of crop improvement. Annals of Applied Biology, 132,301-312 p.
- Blum, A and Pnuel, Y. (1990).** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. Aust.J.Agric. Res., 41,799-810 p.
- Blum, A. (1988).** Plant breeding for stress environments. Boca Reaton, Florida ed., C.R.C. Press, I.N.C. 86 p.
- Blum, A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation. 20,135-148 p.
- Bœuf, F. (1932).** Le blé en Tunisie, Ann. Ser. Botanique et Agronomie. Tunisie. Tunis. 1- 454.
- Botstein, D; White, R. L; Skolnick, M and Davis, R. (1980).** Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. Am. J. Hum. Genet. 32, 314-331 p.
- Boudour, L; Gherroucha, H ; Boukaboub, A ; Bouchtab, K ; Baka, M ; Samra, K. (2011).** Evaluation of genetic diversity of Algerian durum wheat (*Triticum durum* Desf.) collection. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 7 (3), 95-107 p.
- Bouffier , L.** Évolution de la variabilité génétique dans les populations d'amélioration du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) et conséquences pour la sélection. Thèse de doctorat (Biologie Cellulaire et Moléculaire). Université Bordeaux 1. 2007 , 320 p.
- Bousba, R .**Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum Durum Desf*).Analyse de la physiologie et de la capacité en production .Thèse de doctorat en science en biologie végétale .Université Mentouri .Constantine.2012.187p.
- Bousba, R ; Baum, M ; Djekoun, A; Labadidi, S; Djighly, A ; Benbelkacem, A; labhilili, M; Gaboun, F and Ykhlef, N. (2012).** Screening for Drought Tolerance

## Références bibliographiques

---

Using Molecular Markers and Phenotypic Diversity in Durum Wheat Genotypes. *W A SJ* 16 (9) , 1219-1226 p.

**Boussard, J.M ; Chabane, M. (2011, Décembre).** La problématique des céréales en Algérie : défis, enjeux et perspectives, Communication dans le cadre des 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon,.

**Bouthiba, A ; Debaeke P. (2009).** Besoin en eau de différentes variétés de blé dur en condition semi -aride .Symposium international agriculture durable en région méditerranéenne (AGDUMED).Rabat, Maroc .188-195p.

**Bouzerzour, H et Benmahammed, A. (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*, 12,11-14 p.

**Bouzerzour, H. (2004).** Stratégies de sélection de céréales en présence d'interaction génotype milieu. Atelier de formation sur l'obtention variétale d'hiver .du 16 au 19 Mai.

**Bretting, P. K and Widrechner, M. P. (1995).** "Genetic markers and plant genetic resource management," *Plant Breeding Review*, 13, 11-86 p.

**Broun, P and Tanksley, S. D. (1996).** Characterization and genetic mapping of simple repeat sequences in the tomato genome, *Molecular Genetics and Genomics*. 250, 39-49 p.

**Castragna, R., Gnocchi, S., Perenzi, M. and Heun H. (1997).** Genetic variability of the wild diploid wheat *Triticum urartu* revealed by RFLP and RAPD markers. *Theor. Appl. Genet*, 94,424-430 p.

**Cenkci, S; Konuk, M; Eren, Y. (2007).** Genetic diversity in some wild (*Triticum* L. and *Aegilops* L.) and cultivated (*Triticum aestivum* L. and *Triticum durum* Desf.) wheat species of Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*. 2, 1-7 p.

**Chaabane, R ; Babay, E ; Ben Salah, H ; Salah Gharbi, M ; Ben Naceur, M. (2011).** Analyse de similarités génétiques de différents génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) moyennant des marqueurs microsatellites (SSRs). *Revue des Régions Arides* n° 25, 55-76 p.

**Chen, X ; Min, D ; Yasir, T.A; Hu, Y.G. (2012).** Genetic Diversity, Population Structure and Linkage Disequilibrium in Elite Chinese Winter Wheat Investigated with SSR Markers. *PLoS ONE* 7(9): e44510. doi:10.1371/journal.pone.0044510.

**Chentoufi, L ; Sahri, A ; Arbaoui, M ; Birouk, A ; Roumet, P ; Muller, M-H ; Belqadi, H. (2014).** Diversité agro-morphologique et gestion variétale par les agriculteurs du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) dans le Pré-Rif marocain. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 2 (2), 30-38p.

**CIC. (2016).** Les statistiques mondiales, calculé par le Conseil international des céréales. <http://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/39367/364581/file/MEP-SMEF-UGC-Donn%C3%A9eBilans%202014-15.pdf>.

## Références bibliographiques

---

- Clark and Mac-Caig. (1982).** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. Canadian Journal of Plant Science. 62, 571-576 p.
- Couvreur, F et Masse, J. (1983).** Formation du rendement et niveau de production. Rev. Perspective 32, 8- 11 p.
- Couvreur, F. (1985).** Formation du rendement du blé et risque climatiques. Perspectives agricoles, N° 95, 12-19 p.
- Cui Hou, Y; Yan, Ze-Hong; W.Y ; Liang Zheng, Y. (2005).** Genetic diversity in barley from west China based on RAPD and ISSR analysis. Barley Genetics Newsletter, 35:9-22 p.
- Dagnélie, P. (1986).** Analyse statistique à plusieurs variables Gembloux, Presses agronomiques. 362 p.
- Damini, S; Malik, C. P. (2012).** Assesment of Genetic diversity in *Verbesina encelioides* populations using randomly amplified polymorphic DNA ( RAPD) markers. International Journal of Scientific & Technology Research. 1(4), 1-8 p.
- Dashchi, S., Babak, A.M., Darvishzade, R., Bernousi, I., (2012).** Molecular similarity relationships among Iranian bread wheat cultivars and breeding lines using ISSR markers. Not. Bot. Horti. Agrobo. 40, 254-260 p.
- Davila, J.A; Loarce, Y ; Ferrer, E. (1999).** Molecular characterization and genetic mapping of random amplified microsatellite polymorphism in barley. Theor Appl Genet 98 , 265–273 p.
- De vienne, D. (1998).** Biotechnologies végétales. Les marqueurs moléculaires et leurs applications. CNED. Paris. 118p.
- Deghaïs, M ; Kouki, M ; Gharbi, M.S et El Felah, M. (2007).** Les variétés de céréales cultivées en Tunisie. Institut National des Recherches Agronomiques de Tunisie.445 p
- Dejene , K; Mengistua ; Afeworki , Y. Kiroso; Mario, E.(2015).** Phenotypic diversity in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) landraces. The Crop Journal. 3, 190 – 199 p.
- Dejonge; K, C; Taghvaeian , S ; Trout, T J and Thomas, L.H. (2015).** "Comparison of canopy temperature-based water stress indices formaize". Agricultural Water Management. 156, 51–62 p.
- Dekkaki, M ; Amssa, M; Qariani, L. (2000).** Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza : CIHEAM, 2000. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40, 245-249p.
- Djekoun, A ; Ykhlef, N ; Bouzerzour, H ; Hafsi, M ; Hamada, Y ; Kahali, L. (2002).** Production du blé dur en zone semi aride : identification des paramètres

## Références bibliographiques

---

d'amélioration du rendement .Journées scientifiques sur le blé 11, 12,13 Février. Université .Mentouri. Constantine.

**Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Nature et Technologie. N° 01 , 45 -53 p.

**Dreisigacker, S; Zhang, P; Warburton, M.L; Skovmand, B; Hoisington, D; Melchinger, A.E (2005).** Genetic diversity among and within CIMMYT wheat landrace accessions investigated with SSRs and implications for plant genetic resources management. Crop Sci. 45, 65-661 p.

**Drikvand, R; Bihamta, M.R ;Najafian, G and Ebrahimi1, A .(2013).** Investigation of Genetic Diversity among Bread Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.) using SSR Markers. Journal of Agricultural Science. 5 (3), 73-97p.

**Ducellier, L. (1930).** Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Direction de l'Agriculture et de la Colonisation. 1-62p.

**Duminil, J.** Etudes Comparatives de la Structure Génétique des Plantes. thèse de Doctorat .l'Université Henri Poincaré, Nancy I. 2006. 145 p.

**Duran, C ; Nikki, A ; Megan, V; Michael, I ; David, E and Jacqueline, B .(2009).** Single nucleotide polymorphism discovery in barley using auto SNP db. Plant Biotechnology Journal 7. 326–333.p. Doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00407.x

**Ebrahimi, S ; Tabatabaei, B ; Ebrahim, S ; Sharifnabi, B. (2010).** Microsatellite isolation and characterization in pomegranate (*Punica granatum* L.). Iranian Journal of Biotechnology. 8(3). 157-163 p.

**Ehtemam, M.H; Rahiminejad, M; Saeidi, R; Sayed, H; Tabatabaei, B.E ; Krattinger; S; Keller, B. (2009).** The relationships among the A genome bearing Triticum species as evidenced by SSRs in Iran Wheat Inf. Serv. 108, 33 p.

**El jaafari S. (2000).**Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance: defining physiological traits and criteria .option Méditerranéenne. N°40, 251-256 p.

**El-Assal, S and Gaber, A . (2012).** Discrimination capacity of RAPD, issr and ssr markers and of their effectiveness in establishing genetic relationship and diversity among egyptian and saudi wheat cultivars. American Journal of Applied Sciences 9 (5), 724-735 p.

**Elhani, S; Martos, V; Rharrabti, Y ; Royo, C ; Garcí'a del Moral L.F .(2007).** Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. Field Crops Research 103, 25–35 p.

**Erchidi, A.E ; Benbella, M et Talouizte, A. (2000)** .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), 40 ,279-82 p.

## Références bibliographiques

---

- Erchidi, A.E ; Talouizte, A ; Benbella, M.(2000).** Croissance du grain chez neuf cultivars de blé dur. **In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed).** Durum wheat improvement in the Mediterranean region . Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, Zaragoza (Spain) CIHEAM (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40, 137-140 p.
- Erroux, J.S.D. (1949).** Les blés des oasis sahariennes. Université d'Alger-Inst.Rech.Saharienne. Mémoire 7, 179 p.
- Eujayl, I; Sorrells, M.E; Baum, M; Wolters, P; Powell, W.(2002).** Isolation of EST-derived microsatellite markers for genotyping the A and B genomes of wheat. *Theor Appl Genet.* 104, 399–407 p.
- Eujayl, I; Sorrells, M; Baum, M; Wolters, P; Powell, W. (2001).** Assessment of genotypic variation among cultivated durum wheat based on EST SSRs and genomic SSRs. *Euphytica*, 119, 39-43 p.
- Fadlaoui, A.** Modélisation bioéconomique de la conservation des ressources génétiques animales. Thèse Doctorat. Biologie Agronomique et Environnementale, Université de Louvain La-Neuve.2006.250 p
- Fahima, T; Roder, M.S; Wendehake, K; Kirzhner, V.M ; Nevo, E. (2002)** .Microsatellite polymorphism in natural populations of wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, in Israel. *Theor Appl Genet.* 104, 17–29 p.
- FAO, (1997)** . The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Rome.(<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPS/Pgrfa/pdf/wrfull.pdf>)
- Febrero, A., Bort, J ;Brown, R .H., Araus, J.L. (1990).** The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In: advanced trends in photosynthetic , Mallorca, Spain.
- Fellah, A ; Bouzerzour, H; Benmahammed, A et Djekoun, A . (2002).** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Acte Inst.Agron.* Vol. 22 (3), 161-168 p.
- Fisher, R. A. (2001).** “Selection Traits for Improving Yield Potential”. In: M. P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio and A. McNab, Eds., *Application of Physiology in Wheat Breeding*, CIMMYT, Mexico City. 148-159 p.
- Ganal, M.W and Röder, M.S. (2007).** Microsatellite and SNP markers in wheat breeding. In *Genomic assisted crop improvement: genomics applications in crops*, R.K. Varshney and R. Tuberosa (eds.), 2, The Netherlands: Springer. 1-24p.
- Gate, P ; Brain, P ; Colnenne, J ; Briffaux, G. (1990).** Pour les céréales à paille à chaque variété son époque de survie - Perspectives agricoles. 148 , 20-27 p.
- Gate, P. (2008).** Le blé et le changement climatique : impacts et perspectives. Journée de l'ASF du 1er février 2007” “Nouveaux objectifs de sélection face aux enjeux

## Références bibliographiques

---

climatiques, énergétiques et environnementaux de demain". "Le Sélectionneur Français" (n° double 58 - 59), 15 – 30 p.

**Gaufichon, Laure ; Prioul, Jean-Louis ; Bachelier, Bernard. (2010).** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ? Fondation FARM. 49 p.

**Ghods, M.** Ecophysiological aspects of water deficit on growth and development of wheat cultivars .Phd thesis .University of Tehran Iran. 2004. 216 p.

**Gill, K. S; Hassawi, D; Raupp, W. J; Fritz, A. K; Gill, B. S. (1992).** An updated genetic linkage map of *Triticum tauschii*, the D-genome progenitor of wheat, pp. 27-29 in Progress in Genome Mapping of Wheat and related Species, edited by B. S. Gill, W. J. Raupp and H. Corke. Proceedings of the 2nd International Triticeae Mapping Initiative, Manhattan, Kansas, Published by Genetic Conservation Program of the University of California.

**Guasmi, F; El falleh, W; Hannachi, H; Feres, K; Touil, L; Marzougui, N; Triki,T and Ferchichi, A (2012).** The Use of ISSR and RAPD markers for genetic diversity among south Tunisian barley. ISRN Agron. 1-9 p. doi:10.5402/2012/952196.

**Guendouz, A; Guessoum, S; Maamri, K; Benidir, M. and Hafsi, M.(2003).** Performance of ten durum wheat (*triticum durum* desf.) cultivars under semi arid conditions (North Africa -Algeria-). Indian J. Agricultural Research Communication Centre . 47 (4) , 317 – 322 p.

**Hailu, F; Merker, A; Johnsson, E. (2010).** Patterns of phenotypic diversity for phenologic and qualitative traits in Ethiopian durum wheat germplasm, Genet. Resour. Crop. Evol. 53, 1089–1098 p.

**Hamdi, Ouahiba. (2011).** Evaluation des ressources phytogénétiques des blés cultivés en Algérie et de leurs apparentés. Analyse de l'expression différentielle de protéines dans le grain selon deux conditions de culture (biologique versus conventionnelle). Thèse de Doctorat en sciences. Université Mentouri Constantine.128p.

**Hanifi-Mekliche, L ; Boukecha, D ; Mekliche, A. (2008).** Analyse agronomique et génétique de quelques variétés de blé dur et de leurs hybrides f1 en conditions pluviales. Sciences & Technologie C – N°27, 9-14 p.

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

**Henkrar, F ; El-Haddoury, J ; Ouabbou, H ; Nsarellah, N; Iraqi, D ; Bendaou N , Udupa S.M. (2016).** Genetic diversity reduction in improved durum wheat cultivars of Morocco as revealed by microsatellite markers. Sci. Agric. 73(2) , 134-141p. doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0054.

## Références bibliographiques

---

- Huang, XQ; Börner, M.S; Goral, M.W .(2002).** Assessing genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 105: 699-707 p.
- Ingoat, G ; Couvreur, F. (1979).** Du nouveau sur la croissance du blé. *Extrait rev. Perspectives agricoles* 32, 3-8p.
- INRAA . (2006).** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture . <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Algeria.pdf>.
- Islam, M.R. (2004).** Genetic diversity in irrigated rice. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2, 226-229 p.
- Islam, S. M ; Haque, S ; Emon, R M ; Islam, M. M and Begum, S.N. (2012).** Molecular characterization of wheat (*triticum aestivum* l.) genotypes through SSR markers. *Bangladesh J. Agril. Res.* 37(3), 389-398p.
- Jaccard, P. (1908).** Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*44, 223–270 p.
- Jackson, R.D., Kustas, W.P. et Choudhury, B.J. (1988).** A reexamination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.*, 9, 309-317 p.
- Jain, S. K ; Qualset, C. O ; Bhatt, G. M and Wu, K. K. (1975).** Geographical patterns of phenotypic diversity in a world collection of durum wheat. *Crop Science* .15, 700-704 p.
- Kabbaj, H., Sall, A. T., Al-Abdallat, A., Geleta, M., Amri, A., Filali-Maltouf, A., ... Bassi, F. M. (2017).** Genetic Diversity within a Global Panel of Durum Wheat (*Triticum durum*) Landraces and Modern Germplasm Reveals the History of Alleles Exchange. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1277. <http://doi.org/10.3389/fpls.2017.01277>.
- Kadi, Z.** Sélection de l'orge (*hordeum vulgare* l.) pour la tolérance aux stress abiotiques. (Thèse de doctorat en science). Université Ferhat Abbas Sétif.2012.143p.
- Kafeel, A. (2014).** RAPD and SSR based genetic diversity analysis of elite-2 set of synthetic hexaploid wheats. *Tradit Complement Altern Med.* 11(4), 9-13p. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v11i4.2>.
- Kara, K.** Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique. Thèse de doctorat en sciences (Option : les bases biologiques de la production végétale). Université frères Mentouri Constantine. 2015, 222 p.
- Kara, Y et Bellkhiri, C. (2011).** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées: intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier du Savoir*, N°11, 119-126p.
- Karaca, M and zblrak, A. (2008).** Comparative analysis of genetic diversity in Turkish durum wheat cultivars using RAPD and ISSR markers. *Journal of Food, Agriculture & Environment* .6 (3&4), 219-225 p.

## Références bibliographiques

---

- Karp, A; Edwards, K; Bruford, M. (1997).** Newer molecular technologies for biodiversity evaluation: opportunities and challenges. *Nature Biotechnol.* 15, 625-628 p.
- Keyvan, S. (2010).** The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences.* 8 (3), 1051- 1060 p.
- Khoufi, S; Khamassi, K; Teixeira da Silva, J.A; Chaabane, R et Ben Naceur, M. (2012).** Morphological and molecular characterization of six of the most frequently cultivated hard wheat varieties in Tunisia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science.* 4 (7), 106-114 p. DOI: 10.5897/JPBCS12.010..
- Kimura, M and Crow, J. (1964).** The number of alleles that can be maintained in a finite population. *Genetics.* 49 (4) , 725-738 p.
- Kirby, E.J.M. (2002).** Botany of the Wheat plant. In Curtic BC Rajam S, Gomez MC, Pherson H(Eds) *Bread Wheat improvement and production* , FAO, Rome,Italy.
- Koebner, R.M.D ; Donini, P ; Reeves, J.C ; Cooke, R.J ; Law, J.R.(2003).** Temporal flux in the morphological and molecular diversity of UK barley, *Theor Appl Genet* 1 (6), 550-558 p.
- Konat, Ibrahim.** Diversité phénotypique et moléculaire du caroubier (*Ceratonia siliqua L*) et des bactéries endophytes qui lui son associées .Thèse de doctorat. Université Mouhamed V -AGDAL, Rabat .2007. 196 p.
- Kosman, E; Leonard ,K. J. (2005).** Similarity coefficients for molecular markers in studies of genetic relationships between individuals for haploid, diploid, and polyploid species. *Molecular Ecology.*14, (2). 415-424p. doi: 10.1111/j.1365-294X.2005.02416.x.
- Kuleung, C ; Baenziger, S , P; Kachman, S. D; Dweikat, I . (2006).** Evaluating the Genetic Diversity of Triticale with Wheat and Rye SSR Markers. *Crop Science.*46. 1692-1700 p. Doi: 10.2135/cropsci2005.09-0338.
- Kumar, M., Choi, J.-Y., Kumari, N., Pareek, A., & Kim, S.-R. (2015).** Molecular breeding in Brassica for salt tolerance: importance of microsatellite (SSR) markers for molecular breeding in Brassica. *Frontiers in Plant Science*, 6, 688. <http://doi.org/10.3389/fpls.2015.00688>.
- Lafiandra, D et Kasarda, D.D. (1985).** One and twodimensional (two pH) polyacrylamide gel electrophoresis in a single gel: separation of wheat proteins. *Cereal Chem*, 62, 314–319 p.
- Lamara, M. (2010).** Analyse comparative de la diversité génétique et de la structure des populations chez l'orge (*hordeum vulgare l.*) à l'aide de marqueurs ssr, DART et du pedigree. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale pour l'obtention du grade de Maître es Sciences (M.Sc.). Université Laval Québec. 62p

## Références bibliographiques

---

- Larbi, A; Mekliche, A. (2004)** . Relative water content ( RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. In: Cantero-Martínez C. (ed.), Gabiña D. (ed.). Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability. Zaragoza : CIHEAM, (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens. n. 60, 193-196p.
- Laumont, P et Erroux, J (1962)**. Les blés tendres cultivés en Algérie. Ann.Ecole Nat.Agric., 3: 1-60. Ruivenkamp G. et P. Richards 1994. La recherche sur la tolérance à la sécheresse : un processus social. Le Monitor de la biotechnologie et du développement. 18 , 3-6p.
- Laumont,P. (1984)**. Culture et production des céréales en Algérie .Bulletin économique et juridique. Alger. 106.269p.
- Lefort-Buson, M ; Hébert, Y; Damerval, C. (1988)**. Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. Agronomie 8 (3) . 173-178 p.
- Loss, S.P; Siddique, K.H.M. (1994)** .Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. Adv Agron 52:229–276 p.
- Mâalem, S; Khoufi, S; Rahmoune, C and Bennaceur, M. (2012)**. Preliminary molecular analysis of the genetic diversity of some *Atriplex* species present in the Northeast of Algerian, African Journal of Biotechnology. 11(43), 10063-10069 p.
- Maccaferri, M ; Tuberosa,R ; Sanguineti,M.C ; Donini ,P ; Tuberosa,R.(2003)**. Microsatellite analysis reveals a progressive widening of the genetic basis in the elite durum wheat germplasm. Theor Appl Genet, 107, 783–797 p. DOI 10.1007/s00122-003-1319-8.
- Maccaferri, M; Sanguineti, M.C; Corneti, S; Ortega, J.L.A; Salem, M.B; Bort, J; et al. (2008)**. Quantitative trait loci for grain yield and adaptation of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) across a wide range of water availability. Ed: the Genetics Society of America. 178, 489-511 p. DOI: 10.1534/genetics.107.077297
- Magali, N. (2005)**. La biodiversité des espèces cultivées : analyse dans le cas de blé .travail réalisé dans le cadre de projets personnels encadrés. ENS Cachant département Biochimie et Génie Biologique .Université Paris XI. 13-14p
- Mahjoub, A.A ;Mguis, Kaled ; Mustapha, Rouaïssi ; Raoudha, Abdellaoui ; Ben Brahim, Nadia ; et al. (2012)**. RAPD analysis of genetic diversity in natural populations of *Aegilops geniculata* Roth and *Triticum durum* Desf. from Tunisia. Agric and Biol J N Am. 3(1), 466-475 p.
- Mahmodi, F; Kadir. J.B; Puteh, A; Pourdad, SS; Nasehi, A; Soleimani, N.(2014)**. Genetic diversity and differentiation of *Colletotrichum* spp. isolates associated with Leguminosae using multigene loci, RAPD and ISSR. Plant Pathol J. 30, 10–24 p. doi: 10.5423/PPJ.OA.05.2013.0054 .
- Manès, Y. (2005)**. L'utilisation des marqueurs moléculaires dans la sélection du blé tendre. Le Sélectionneur Français". (56), 29-36 p.

## Références bibliographiques

---

- Manifesto, M.M., Schlatter. A.R., Hopp .H.E ; Suárez E.Y and Dubcovsky. J. (2001).** Quantitative evaluation of genetic diversity in wheat germplasm using molecular markers. *Crop Sci.* 41, 682-690 p.
- Manivannan, N., Murugan, E., Viswanathan, P.L. and Dhankodi, C.V. (1998).** Genetic divergence in greengram. *Legume Researches* 21 , 131-133 p.
- Mardi, M., Naghavi, M., Pirseyedi, S., Kazemi Alamooti, M., Rashidi Monfared, S., Ahkami, A., Omidbakhsh, M., Alavi, N., Salehi Shanjani, P., Katsiotis, A. (2011).** Comparative Assessment of SSAP, AFLP and SSR Markers for Evaluation of Genetic Diversity of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13 (6), 905-920 p.
- Martosa, V; Royob,C; Rharrabtia,Y. L.F. Garcia Del Morala. (2005).**Using AFLPs to determine phylogenetic relationships and genetic erosion in durum wheat cultivars released in Italy and Spain throughout the 20th century. *Field Crops Research*, 9 (1) . Elsevier B.V. 107-116 p. doi:10.1016/j.fcr.2004.06.003.
- Masse, J. (1981).** La maturation du blé dépend surtout du climat. *Perspectives Agricoles* 51, 7–13 p.
- McCaig, T. N and Depauw, R. M. (1995).** Breeding hard red spring wheat in western Canada: Historical trends in yield and related variables. *Can. J. Plant Sci.* 75,387–393 p.
- Mcintosh, R. (1988).** A Catalogue of gene symbols for wheat. In: Proceedings of the Seventh International Wheat Generics Symposium. T. E. Miller , C.R. and Koebner, R. M. D. (Eds.). Cambridge. 1225-1323 p.
- Mckey, J. (1968).** Species relations in Triticum. Proc.2nd International Wheat Genetic symposium. *Hereditas*2, 237-276p.
- Meberkani, S . (2012).**Caractérisation morphologique de quelques populations locales de blé tendre (*Triticum Aestivum* .L) de la région d Adrar .Thèse magister. Ecole nationale supérieure agronomique .86p.
- Mebrek, N ; Benrachedi, K., Mouhouche, B. (2014).** Etude de l'effet du stress hydrique du blé dur. *Revue scientifique semestrielle et technique. Le journal de l'eau et de l'environnement.*71-85p
- Medini, Hamza.H; Rebai, S; Rebai, Ahmed A; Michael, Baum. (2005).** Analysis of genetic diversity in Tunisian durum wheat cultivars and related wild species by SSR and AFLP markers. *Genet Resour Crop E Vol .* 52, 21 p. Doi:10.1007/s10722-005-02250.
- Megherbi-Benali, A; Mehdadi, Z; Toumi-Benali, F; Hamel, L; Benyahia, M .(2014):** Water supply efficiency of brought for phenological stages on a few morpho-physiological parameters of the durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Edi: Agriculture, Forestry and Fisheries.* 3(6), 439-446 p .Doi: 10.11648/j.aff.20140306.11.
- Mekhlouf, A. ; Dehbi, F ; Hannachi, A. ; Harbi, M. (2012).** Réponses du blé dur (*Triticum durum, Desf.*) aux basses températures en relations avec la capacité de production. *Revue Agriculture N°3*, 13-22p.
- Mekhlouf, A; Bouzerzour, H; Benmahammed A; Hadj Sahraoui A; Harkati N.**

## Références bibliographiques

---

- (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Edi : INRA* . 17 (4), 507-13p.
- Mekhlouf, A.** Etude de la variabilité génétique du blé dur (*Triticum durum*, Desf), pour la tolérance au froid. Thèse de Doctorat es Science en Agronomie. Institut National Agronomique El-Harrach Alger. 2009,81p.
- Melki, M et Dahmane, A. (2008).** Identification de quelques mutants de blé dur performants en conditions de sécheresse naturelle. *Sécheresse*. 19 (1), 47-53 p. Doi: 10.1684/sec.2008.0119.
- Merabet, B.A et Boutiba, A. (2005).** L'irrigation de complément du blé dur. Influence de la nature du matériel végétale et de la variabilité climatique interannuelle dans une plaine semi-aride d'Algérie. *Sciences & Technologies C* . N° 23, 72-79 p.
- Messmer, M.M; Melchinger, A.E; Boppenmaier, J; Herrmann, R.G and Brunklaus-Jung, E.(1992).** RFLP analyses of early-maturing European maize germplasm. *Theor. Appl. Genet.* 83,1003–1112 p.
- Métais, I ; Aubry, C ; Hamon, B ; Jalouzot, R. (2000).** Description and analysis of genetic diversity between commercial bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theor Appl Genet.*, 101, 1207-1214 p.
- Miège, E. (1950).** Les principales espèces et variétés de Blé cultivées en Afrique du Nord. *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*. 30<sup>e</sup> année, bulletin n°327-328. 16-38 p. doi : 10.3406/jatba.1950.6290.
- Mingeot, D et Bernard ,W. (2005).** Authentification variétale par marqueurs moléculaires. Journée d'étude Pomme de terre CRA-W, Gembloux.
- Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires (ONFAA). (2015).** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. [onfaa.inraa.dz/images/doconfaa/bilan.pdf](http://onfaa.inraa.dz/images/doconfaa/bilan.pdf)
- Miralles, D.J ; Rharrabti, Y ; Royo, C; Villegas, D; Garcí'a del Moral, L.F (2002).** Grain setting strategies of Mediterranean durum wheat cultivars released in different periods (1900–2000). In: Association of applied biologists (eds) *Genotype to phenotype: narrowing the gap*. The Royal Agricultural College, Cirencester, UK.
- Moayedi, A.A ; Boyce, A.N ; Barakbah, S.S ; ghodsi, M. (2009).** Tillering behaviors of promising durum wheat genotypes and bread wheat cultivar under different water deficit conditions Middle Eastern and Russian. *Journal of plant Science and Biotechnologies 3 Global Science books (Special issue)*, 15-19 p.
- Monneveux, P et This, D. (1997).** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficultés .*Sécheresse*, 8(1), 29-35 p.
- Monneveux, Ph. (1991)** .Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éd. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. INSA-INRA, 165-186 p.

## Références bibliographiques

---

- Morgante, M; Hanafey, M; Powell, W. (2002).** Microsatellites are preferentially associated with nonrepetitive DNA in plant genomes. *Nature Genet.* 30, 194–200 p.
- Morlon, H; Parsons, T.L and Plotkin, J.B. (2011).** Reconciling molecular phylogenies with the fossil record. *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 108, 16327–16332 p.
- Morris, JB. (2009)** .Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm regenerated in Georgia, USA. *Genet Resour Crop Evol.*, 56, 925–936 p.
- Mossad, M.A ; Brown, J.H and Ferguson, H. (1995).** Leaf water potential relative water content and diffusivity resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. J.*81, 100-105 p.
- Nachit, M ; Baum, M ; Impiglia, A ; Ketata, H. (1995).** Etude sur certains caractères de qualité du grain chez le blé dur planté en milieu méditerranéen. Série A : séminaire de blé dur dans la région méditerranéenne. N°22 Diponzo N., Kaan F., Nachit M., Ed. : CIHEAM. Espagne. 17-19. 271 p.
- Nagarju, J; Kathirvel, M; Kumar, R. R; Siddiq, E. A. and Hasnain, S. E. (2002).** Genetic analysis of traditional and evolved Basmati and non-Basmati rice varieties by using fluorescence-based ISSR-PCR and SSR markers. *PNAS.* 99:5836-5841 p.
- Naghavi, M.R; Mardi, M ; Ramshini, H.A and Fazelinasab, B. (2004).** Comparative analyses of the genetic diversity among bread wheat genotypes based on RAPD and SSR markers. *Iranian Journal of Biotechnology.* 2(3). 195–202 p.
- Najimi, B ; El Jaafari, S ; Jlibène, M ; Jacquemin, J-M. (2003).** Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 7 (1), 17–35 p.
- Nawroz, A. (2008).** Assessment of Genetic Diversity among Wheat Varieties in Sulaimanyah using Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Analysis. *Jordan Journal of Biological Sciences.* 1, 66-73 p.
- Nazeri, M. (2005).** Study on response of triticale genotypes at water limited condition at different developmental stage. Phd thesis, University of Tehran. Iran. 213 pp.
- Negassa, M. (1986).** Estimates of phenotypic diversity and breeding potential of Ethiopian wheats. *Hereditas* 104, 41-48 p.
- Nei, M. (1973).** Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 70, 3321–3. 3321-3323 p.
- Newbury, H. J and Ford-Lloyd, B. V. (1997).** “Estimating genetic diversity,” in *Plant genetic conservation: the in-situ approach*, N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd and J. G. Hawkes, Eds., Chapman and Hall.
- Nguyen, V.C .** Exploration de la cartographie par analyse d'association (« association mapping ») chez l'orge (*hordeum vulgare* l.). (Thèse pour l'obtention de grade de maître es sciences) Université Laval. Québec. 2012. 58 p.

## Références bibliographiques

---

- Oudjani, W.** Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*) : étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de Magister. Université Frères Mentouri Constantine. 2009. 113 p.
- Pacetti, L; Annicchiarico, P and Kashour, G. (1993).** Flag leaf variation in Mediterranean durum wheat landraces and its relationship to frost and drought tolerance and yield response in moderately favorable conditions. *Plant Genetic Resources Newsletter* 93, 25-28.
- Panin, V.M. (1986).** Linkage of gliadin coding loci with genes for hairiness and red coloration of the glumes in winter durum wheat. *Sel. Semenovod. Agrotekh. Zernovskyl Kul't*, 51- 57 p.
- Peakall , R; Smouse P.E. (2006).** Genalex 6 : genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol. Notes.* 6, 288-295 p.
- Pecetti, L and Annicchianico, P. (1995).** Efficacy of a visual assessment for drought tolerance in durum wheat improvement under dry land conditions. *Cereal Research Communication .* 23 (1/2). 95-101 p.
- Peng, J.H., Bai, J.Y., Haley, S.D., Lapitan, N.L.V. (2009).** Microsatellite -based molecular diversity of bread wheat germplasm and association mapping of wheat resistance to the Russian wheat aphid. *Genetica* 135, 95-122 p.
- Pfeiffer, WH; Sayre, K.D; Reynolds, M.P. (2000).**Enhancing genetic gain yield potential and yield stability in durum wheat. In: Royo C, Nachit MM, Di Fonzo N, Araus JL (eds) *Durum wheat improvement in the Mediterranean Region: new challenges.* Zaragoza: IAMZ. *Options me´diterrane´ennes* 40, 88–93.
- Pirseyedi, M.S; Valizadehghan, S; Mardi, M; Ghaffari, M.R; Mahmoodi, P; Zalravi, Me t al ..**The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Mol. Breed.* 2, 225-238 p.
- Plaschke, J; Ganal, M.W; Röder, M.S. (1995).** Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.*, 91, 1001-1007 p.
- Powell, W; Morgante, M ; Andre, C ; Hanafey, J.V.S ; Tingey, A , Rafalski. (1996).** The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Molecular Breeding.* 2 (3), 225 p.
- Quental, T.B. et Marshall, C.R. (2010).** Diversity dynamics: molecular phylogenies need the fossil record. *Trends Ecol. vol.*, 25, 434–441 p.
- Rao, N.K. (2004).** “Plant genetic resources: advancing conservation and use through biotechnology,” *African Journal of Biotechnology .* 3 (2) 136-145 p.
- Rebetzke, G.J; Condon, A.G; Richards, R.A; Farquhar, G.D. (2002).** Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Sci.* 42, 739–745 p.
- Ren, J; Sun, D ; Chen, L ; You, F.M ; Wang, J ; Peng,Y , ... Peng. J. (2013).** Genetic Diversity Revealed by Single Nucleotide Polymorphism Markers in a

## Références bibliographiques

---

Worldwide Germplasm Collection of Durum Wheat. International Journal of Molecular Sciences, 14 (4), 7061–7088 p. <http://doi.org/10.3390/ijms14047061>

**Reynolds, M.P., Mujeeb-Kazi, A; Sawkins, M. (2005).** Prospects for utilizing plant adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity prone environments. *Ann. Appl. Biol.*, 146, 239–259 p.

**Reynolds, M.P; Balota, M; Delgato, M.I.B; Amani, I; and Ficher, R, A. (1994).** Physiological traits associated with spring wheat yield under hot irrigated condition .*Aust .J. Plant .Physiology* .21, 717-730 p.

**Ribot, G.G; Paola, S; Edmundo, A .(2012).** Morphological and Physiological Traits of Assistance in the Selection of High Yielding Varieties of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. spp. Durum) for the Rainfed Mediterranean Environments of Central Chile. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1809-1819 p <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.312A222>.

**Röder, M.S ; Korzun, V ; Wendehake, K ; Plaschke, J ; Tixier. M.H ; Leroy, P and Ganal, M.W. (1998).** A microsatellite map of wheat. *Genet.*, 149, 20-23 p.

**Röder, M.S; Huang, X.Q and Ganal, M.W. (2004).** Wheat microsatellites in plant breeding: potential and implications. In *Molecular markers in plant breeding*, H. Loerz and G. Wenzel (eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 255-266 p

**Roldan-Ruiz, I; Gilliland, T.J ; Calsyn, E ; Gillilad, T.J ; Coll, R ; Van Eijk, M.J.T ; De Loose, M. (2000)** . Estimating genetic conformity between related ryegrass (*Lolium*) varieties. II. AFLP characterization. *Mol. Breed.* 6, 593–602 p.

**Royo, C ; Alvaro, F ; Martos, V ; Ramdani, A ; Isidro, J ; Villegas, D ; Garcí'a del Moral, L.F.(2007).** Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* .155:259–270 p. DOI 10.1007/s10681-006-9327-9.

**Russell, R.J, Fuller, J.D; Macaulay ,M; Hats, B.G; Jahoor, A; Powell, W and Waugh; R. (1997).** Direct comparison of levels of genetic variation among barley accessions detected by RFLPs, AFLPs, SSRs and RAPDs. *Theor Appl Genet* 95, 714-722 p.

**Sadiki, M., Birouk , A., Bouizzgaren, A., Belqadi, L., Rh'rrrib, K., Taghouti, M., KS., Lahbhili, M., Bouhya, H., Douiden, R., Saidi, S. et Jarvis, D. (2002).** La Diversité Génétique in Situ du blé dur, de l'orge, de la Luzerne et de la Fève: Options de Stratégie Pour sa Conservation. In *La Conservation in-Situ de la Biodiversité Agricole: un défi pour une agriculture durable. Acte du Séminaire National Rabat.* (Maroc). International Plant Genetic Resources Institute (Rome, Italy), 37–117.

**Saghai-Marooif, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A; Allard, R.W. (1984).** Ribosomal DAN spacer-length polymorphisms in barley : Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 81, 8014-8018.

**Saghai-Marooif, M.A ; Biyashev, R.M ; Yang, G.P ; Zhang Q and Allard. R.W (1994).** Extraordinarily polymorphic microsatellite DNA in barley: species diversity,

## Références bibliographiques

---

chromosomal locations, and population dynamics. Proc Natl Acad Sci USA 91, 5466–5470 p.

**Sahri, A ; Chentoufi, L ; Arbaoui, M ; Muller, M.H ; Roumet, P, Belqadi, L ; Abirouk, A. (2014).** Impact du relief et des circuits semenciers locaux sur la diversité agro-morphologique du blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) dans la vallée d’Er Rich - Imilchil (Maroc). Rev. Mar. Sci. Agron. Vet. (2), 39-49 p.

**Salem, K.F.M ; El-Zanaty, A.M and Esmail, R.M. (2008).** Assessing Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genetic Diversity Using Morphological Characters and Microsatellite Markers. World J. Agril. Sci. 4 (5), 538-544 p.

**Salmi, M; Haddad, L; Oulmi, A; Benmahammed, A ; Benbelkacem, A .(2015).** Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*triticum durum* desf.) sous conditions semi-arides. European Scientific Journal .11 (21). 99-111

**Sapna, G ; Pushpa, K.B; Rekha, M ; Jain, R.K. (2006).** Assessment of genetic diversity among some Indian wheat cultivars using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. Indian Journal of Biotechnology 6, 18-23 p.

**Sayar, R; Khemira, H; Bcheni, H Bensalem, M; Mosbah, M et Nahdi, H. (2007).** Utilisation des composantes du rendement comme outil d’évaluation de la productivité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en irrigué et en pluvial : une approche ontogénique .INGREF.

**Schut, J.W; Oi, X and Stam, P. (1997).** Association between relationship measures based on AFLP markers, pedigree data and morphological traits in barley. Theor. Appl. Genet. 95, 1161-1168 p.

**Senthil, Kumar N. and G, Gurusubramanian. (2011).** Random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers and its applications. Sci Vis. 11 (3), 116-124 p.

**Shende, S and Walunj, S. (2013).** Molecular characterization of wheat (*Triticum* species) using random amplified polymorphic DNA marker. Recent Research in Science and Technology. 5(2), 29-32 p.

**Shoab, A., and M. I. E. Arabi. (2006).** Genetic diversity among Syrian cultivated and landraces wheat revealed by AFLP markers. Genet. Resour. Crop Evol. 53, 901-906 p.

**Singh, R.K; Mishra, S.K; Singh, S.P; Mishra, N; Sharma, M.L. (2010).** Evaluation of microsatellite markers for genetic diversity analysis among sugarcane species and commercial hybrids. Aust. J. Crop Sci. 4, 116-125 p.

**Sinha, A.K., S. Chowdhury and A.K. Singh. (2006).** Association among yield attributes under different conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian J. Genet. 66(3), 233-234 p.

**Slafer, G. A. et Andrade, F. H. (1990).** Genetic improvement effect on pre- anthesis phenological attributes related to wheat grain yield. Field Crop Research. 23, 255-263 p.

**Slafer, G. A., Araus, J. L. (2007).** Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. In: Scale and Complexity in Plant Systems Research: Gene-

## Références bibliographiques

---

Plant-Crop Relations. Spiertz, J. H. J., Struik, P. C., and van Laar, H. H. Springer, Dordrech. 145–154 p.

**Slama, A ; Ben Salem, M ; Ben Naceur M, Zidi E . (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* ; 16 (3), 225-229 p.

**Smadhi, D ; Mouhouche, B ; Zella, L ; Semiani, M. (2009).** Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro- économique de l'Algérie. *Sciences & Technologie C* –(29) .56-62 p.

**Snoussi, H ; Duval, M.F ; Garcia-Lor, A ; Belfalah, Z ; Froelicher, Y ; Risterucci, A.M , Perrier, X ; Jacquemoud, Collet J.P ; Navarro, L ; Harrabi, M ; Ollitrault, P. (2012).** Assessment of the genetic diversity of the Tunisian citrus rootstock germplasm. *BMC Genet.* 13- 16 p

**Soengas, P; Velasco, P; Padilla, G; Ordás, A; Cartea, M.E . (2006).** Genetic relationships among Brassica napus crops based on SSR Markers. *Hort. Sci.* 41, 1195-1199 p.

**Sofia, S.H ; Silva, C.R.M ; Galindo, B.A ; Almeida, F.S ; Sodre, L.M.K ; Claudia B.R.M. (2006).** Population genetic structure of *Astyanax scabripinis* (Teleostei, Characidae) from an urban stream, *Hydrobiology.* 553, 245-254 p.

**Sokal, R.R ; Michener, C.D. (1958).** A statistical method for evaluating systematic relationships: *Univ. Kansas Sci. Bull.* 38, 1409–1438p.

**Soleimani, V.D ; Baum, B.R., Johnson, D.A. (2002)** AFLP and pedigree-based genetic diversity estimates in modern cultivars of durum wheat [*Triticum turgidum* L. subsp. durum (Desf.) Husn.] *Theor. Appl. Genet.* 104, 350–357p.

**Soltner, D. (2005).** Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées-prairies. 20<sup>ème</sup> Ed, collection sciences techniques agricoles. 464p.

**Soriano, J.M; Villegas, D; Aranzana, M.J; García del Moral, L.F; Royo C. (2016).** Genetic Structure of Modern Durum Wheat Cultivars and Mediterranean Landraces Matches with Their Agronomic Performance. *PLoS ONE.* 11(8) .1-19 p. doi:10.1371/journal.pone.0160983.

**Sorrells, M.E; Diab, A; Nachit, M. (2000).** Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens)* ; 40 ,191-201 p.

**Souza, S.G.H ; Carpentieri-Pípolo, V ; De Fátima Ruas, C ; de Paula Carvalho, Valdemar ; Maurício Ruas, P and Carlos Gerage , A.(2008).** Comparative analysis of genetic diversity among the maize inbred lines (*zea mays* l.) obtained by RAPD and SSR markers. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 51 (1). 183- 192 p.

**Spagnoletti-Zeuli, T. L and Qualset, P. O. (1990)** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breed ing.* 105,189 – 202 p.

## Références bibliographiques

---

- Stachel, M ; Lelly, T; Grausgruber, H and Vollmann, J . (2000).** Application of microstallites in wheat (*Triticum aestivum* L.) for studying genetic differentiation caused by selection for adaptation and use. *Theor Appl Genet* . 100, 242–248 p.
- Strelchenko. P; Street, K; Mitrofanova, O; Mackay, M; Balfourier, F. (2004).** Genetic diversity among hexaploid wheat landraces with different geographical origins revealed by microsatellites: Comparison with AFLP, and RAPD data. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.
- Stuessy, T. E. (1990).** Plant taxonomy, the systematic evolution of comparative data. Columbia Univ. Press, New York, USA.
- Subbiah, B.V; Katyal, J.C ; Narasimham, R.L ; Dakshinamurti, C. (1968).** Preliminary investigation on root distributions of high yielding wheat varieties. *Inst. J. Apple. Radiat. Isot.*, 19, 385-390 p.
- Tagu, D. (1999).** Principes des techniques de biologie moléculaire .Edi: INRAA. 132p.
- Talhinhas, P ; Naves-Martins J and Leitão J. (2003).** AFLP, ISSR and RAPD marker reveal high levels of genetic diversity among *Lupinus* spp. *Plant Breeding*. 122, 507-510p.
- Taris, N.** Conséquences génétiques de la production intensive de larves d'huîtres en éclosérie: Etude des processus de dérive et de sélection liés aux pratiques d'élevage. Thèse de doctorat. Université de la Rochelle: 2005.205 p.
- Thormann, C.E ; Ferreira, M. E ; Camargo, L. E; Tivang, J. G. and Osborn, T. C. (1994).** Comparaison of RFLP and RAPD markers to estimating genetic relationships within and among cruciferous species. *Theor. Appl. Genet*. 88, 973-980 p.
- Thuillet, A.C; Bataillon, T; Sourdille, P; David, J. (2004).** Factors affecting polymorphism at microsatellite loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L. *Thell*): effects of mutation processes and physical distance from the centromere. *Theor Appl Genet* 108, 368-377 p.
- Tinker, N.A; Fortin, M.G; Mather, D.E. (1993).** Random amplified polymorphic DNA and pedigree relationships in spring barley. *Theor Appl Genet* 85, 976—984 p.
- UPOV. (1994).** Principes directeurs pour la conduite de l'examen des caractères distinctifs, de l'homogénéité et de la stabilité. Blé dur (*Triticum durum* De\$.). TG/120/3, Genève. Barley.
- Vavilov, N.I .(1992).** Origin and Geography of Cultivated Plant Cambridge .UK; Cambridge University.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans ,M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters , A., Pot J., Peleman, J., Kuiper, M., Zabeau, M. (1995).** AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucl. Acids Res*. 23 . 4407–4414 p.
- Waddington, S., Osmanzai, M., Yoshida, M., & Ransom, J. (1987).** The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *The Journal of Agricultural Science*, 108(2), 469-477. doi:10.1017/S002185960007951X

## Références bibliographiques

---

- Wietholter, P ; Cruz de Melo, Sereno M. J ; De Freitas Terra. T ; Delmar dos Anjose , Silva .S ; et Barbosa Neto, J. F. (2008)** . Genetic variability in corn landraces from Southern Brazil. *Maydica*. 53, 151-159 p.
- Williams, J.G.K ; Kubelik, A.R ; Livak, K.J ; Rafalski, J A ; Tingey, S.V. (1990)**. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.* 18 (22), 6531–6533 p.
- Xie, Q., Mayes, S., & Sparkes, D. L. (2016)**. Optimizing tiller production and survival for grain yield improvement in a bread wheat × spelt mapping population. *Annals of Botany*, 117(1), 51–66 p. <http://doi.org/10.1093/aob/mcv147>.
- Hu , X ; Ren, J ; Ren , X ; Huang, S ; Sabiel SAI ; Luo M, et al. (2015)**. Association of Agronomic Traits with SNP Markers in Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. *durum* (Desf.)). Wujun Ma, Murdoch University, Australia. *Plos One* 10(6): e0130854. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130854>.
- Yang, W; De Olivera, A. C ; Godwin, I; Schertz, K. and Bennetzen, J. L. (1996)**. Comparison of DANN marker technologies in characterization plant genome diversity: variability in Chinese sorghums. *Crop Sci.* 36,1669-1676 p.
- Yildirim, A; Sönmezoğlu, Ö.A ; Gökmen, S ; Kandemir, N and Aydin, N. (2011)**. Determination of genetic diversity among Turkish durum wheat landraces by microsatellites. *African Journal of Biotechnology*. 10(19) . 3915-3920 p. Doi: 10.5897/AJB10.2240.
- Yousfi, Y.(2009)**. Polymorphism of SSR markers located on chromosome 7A, in several wheat cultivars grown in Algeria. *Romanian Agricultural Research*. 26, 25-28 p.
- Zadoks, J. C; Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974)**. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421 p. Doi:10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.
- Zamanianfard, Z; Etminan, A; Mohammadi, R and Shooshtari, L. (2015)**. Evaluation of molecular diversity of durum wheat genotypes using ISSR markers. *Biological Forum – An International J.*, 7, 214-218 p.
- Zapata, C; Silva, P and Acevedo, E (2004)**, “Comportamiento de Isolíneas de Altura en Relación con el Rendimiento y Distribución de Asimilados en Trigo”, *Agricultura Técnica* . 64(2), 139-155 p.
- Zarkti, H; Ouabbou, H; Hilali, A and Sripada, M; Udupa. (2010)**. Detection of genetic diversity in Moroccan durum wheat accessions using agromorphological traits and microsatellite markers. *African J, Agric Res.* 5, 1837-1844 p.
- Zarkti, H; Ouabbou, H ; Udupa, Sripada M ; Gaboun, F ; Hilali , A . (2012)**. Agromorphological variability in *durum wheat* landraces of Morocco .*Australian journal of crop science*. *AJCS* .6(7), 1172-1178 p.
- Zhang, X., Li, C., Wang, L. et al. Theor Appl Genet (2002)**. An estimation of the minimum number of SSR alleles needed to reveal genetic relationships in wheat varieties. I. Information from large-scale planted varieties and cornerstone breeding

## Références bibliographiques

---

parents in Chinese wheat improvement and production. 106, 112-117p  
<https://doi.org/10.1007/s00122-002-1016-z>.

**Zhu, J. M. D ; Gale, S ; Quarrie, M. T ; Jackson, G. J ; Bryan. (1998).** AFLP markers for the study of rice biodiversity. *Theoretical and Applied Genetics*. 96 (5), 602 p.

**Zimmer, E.A., Roalson, E.H. (2005).** *Molecular Evolution Producing the Biochemical Data. (Part B, Vol, 395)*, Academic Press, Elsevier, USA, 1-896 p.

**Ziza, F. Z. (2007).** L'expérience de l'agriculture de conservation en Algérie. [http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicationatelier\\_algero-francais\\_1e09/04/2013/L'Experience\\_de\\_l'Agriculture\\_de\\_Conservation\\_en\\_Algerie.pdf](http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicationatelier_algero-francais_1e09/04/2013/L'Experience_de_l'Agriculture_de_Conservation_en_Algerie.pdf).

**Zouaoui, A., et Bensaid, R. (2007).** Détermination des exigences climatiques du blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) en zone semi-aride. *Cahier. Agric.*, novembre-décembre, 16 (6), 469- 476 p.

# **Annexes**

## ANNEXES

### ANNEXES 01. Résultats de l'ANOVA pour les paramètres agro-morpho-physiologiques étudiés

**Tableau 01** : Résultats statistiques (ANOVA) des différents paramètres phénologiques et physiologiques chez les variétés étudiées

		Paramètres			
variables	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
<b>Semis-tallage</b>	25	28,513	1,141	0,816	0,705
<b>Semis -montaison</b>	25	70,782	2,831	0,739	0,793
<b>Semis -épiaison</b>	25	1166,872	46,675	41,846	< 0,0001***
<b>Semis maturité</b>	25	3122,051	124,882	74,929	< 0,0001***
<b>TRE</b>	25	0,503	0,020	2,324	0,005**
<b>TC</b>	25	487,592	19,504	27,313	< 0,0001***

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : Effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

**Tableau 02** : Résultats statistiques (ANOVA) des différents paramètres morphologiques chez les variétés étudiées

		Paramètres			
variables	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
<b>HP</b>	25	21148,661	845,946	23,613	< 0,0001***
<b>LEP</b>	25	53,716	2,149	3,667	< 0,0001***
<b>LB</b>	25	239,767	9,99	13,335	< 0,0001***
<b>SF</b>	25	1536,013	61,441	1,507	0,106 <sup>ns</sup>

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : Effet très hautement significatif  $p < 0,001$ .

**Tableau 03** : Résultats statistiques (ANOVA) des différents paramètres agronomiques (NTE ;NTH ; ratio NTE/NTH) chez les variétés étudiées

		Paramètres			
variables	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
<b>NTH</b>	25	80,205	3,208	1,564	0,087 <sup>ns</sup>
<b>NTE</b>	25	30,718	1,229	1,571	0,085 <sup>ns</sup>
<b>NTE/NTH</b>	25	4,366	0,175	6,655	< 0,0001***

ns : effet non significatif, \* : effet significatif  $p < 0,05$ , \*\* : effet hautement significatif  $p < 0,01$ , \*\*\* : effet très hautement significatif  $p < 0,001$

## ANNEXES

### ANNEXE 02. Valeur propre et pourcentages de variation totale expliquée par les cinq premières composantes principales

Paramètres statistiques	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	4,390	1,986	1,429	1,221	1,031
Variabilité (%)	33,772	15,276	10,994	9,393	7,929
% cumulé	33,772	49,048	60,042	69,435	77,363

### ANNEXE 03. Préparation des solutions pour l'extraction d'ADN

#### a) Tampon CTAB 1X (pH 8)

	Concentration finale	PM (g/mol)	1 litre	200 ml	100 ml
CTAB	2% (P/V)	364,45	20g	4g	2g
Tris de base	100 mM	121,14	12,11 g	2.42g	1.21g
Na <sub>2</sub> EDTA	20 mM	372,24	7,44 g	1.49g	0.75g
NaCl	1.4M	58,44	81.8g	16.36g	8.18g
PVP 40	1% (P/V)		10 g	2g	1g
H2O up			Qsp 1litre	Qsp	Qsp
				200ml	100ml

#### b) Chloroforme / Alcool isoamylique (24:1)

Pour 25ml : Ajouter 24ml Chloroforme + 1ml Alcool isoamylique

Pour 100ml : Ajouter 96ml Chloroforme + 4ml Alcool isoamylique

#### c) Solution lavage 1

	Concentration finale	PM (g/mol)	1 litre	200 ml	100 ml
Acétate de Sodium	200 mM	82.03	16.46g	1.6g	0.8g
H2O distillée			240 ml	24 ml	12 ml
Dissoudre l'acétate de sodium avant d'ajouter l'éthanol					
Ethanol 100 % 76%			760 ml	76 ml	38 ml

#### d) Solution lavage 2

	Concentration finale	PM (g/mol)	1 litre	200 ml	100 ml
Acétate d'ammonium	10 mM	77,08	0.8g	0.08g	0.04g
H2O distillée			240 ml	24 ml	12 ml
Dissoudre l'acétate de sodium avant d'ajouter l'éthanol					
Ethanol 100 % 76%			760 ml	76 ml	38 ml

## ANNEXES

### e) TE 1X (pH 8)

	Concentration finale	PM (g/mol)	1 litre	200 ml	100 ml
Tris de base	10 mM	121.14	1.21g	0.6g	0.12g
Na2EDTA	1mM	372.24	0.38g	0.19g	0.04g
H2O up			Qsp	Qsp	Qsp
			1 litre	500 ml	100 ml

### f) TE 0.1X (pH 8)

	Concentration finale	PM (g/mol)	1 litre	200 ml	100 ml
Tris de base	10 mM	121.14	1.21g	0.6g	0.12g
H2O up			1 litre	500 ml	100 ml

### ANNEXE 04. Méthode d'extraction d'ADN génomique :

- Préchauffer le tampon CTAB 2x additionné de Beta-mercaptoéthanol dans un bain marie à 65°C.
- Broyer le matériel végétal (environ 150 mg) dans un mortier avec d'azote liquide.
- Transférer le broyat dans un tube à vis.
- Ajouter 900 µl de Tampon CTAB 2x additionné de Beta-mercaptoéthanol préchauffé à 65°C.
- Homogénéiser au vortex.
- Incuber 60 min dans un bain marie à 65°C avec agitation.
- Centrifuger 15 min à 10000 rpm à 4°C.
- Récupérer le surnageant (~800µl) dans un nouveau tube d'ependorf de 2 ml (stocker le culot à 4°C à l'abri de la lumière).
- Ajouter 800µl (1vol) Chloroforme/Alcool isoamylique (24:1)
- Agiter pendant 45 min à vitesse lente (100 à 150 rpm) sur une table.
- Centrifuger 15 min à 10000 rpm à 4°C.
- Récupérer la phase aqueuse supérieure à l'aide de micropipette P1000 et la mettre dans un nouveau tube d'ependorf. (Éviter de prendre la couche blanche au milieu)
- Ajouter 3 à 5 µl de RNase A (10mg/ml), agiter par inversion et incuber 30 min à 37°C.
- Ajouter 540 µl (2/3Vol) d'Isopropanol froid (-20°C)
- Inverser les tubes doucement jusqu'à l'apparition d'une pelote blanche.
- Laisser précipiter à -20°C pendant 5 à 10 min.
- Centrifuger 10min à 10000 rpm à 4°C.
- Eliminer le surnageant très délicatement.

## ANNEXES

---

- Ajouter 500 µL de solution de lavage 1.
- Incuber pendant 15 min à température ambiante.
- Centrifuger 5 min à 10000 rpm à 4°C.
- Eliminer le surnageant et ajouter 500µL de de solution de lavage 2.
- Ne pas incuber plus de 5 min.
- Centrifuger 5 min à 10000 rpm à 4°C.
- Eliminer le surnageant et sécher l'ADN à l'air libre pendant 10 à 20 min
- Suspendre le culot d'ADN dans 100 µl de TE 0.1X
- Stocker l'ADN pendant une nuit à 4°C avant dosage.

### **ANNEXE 05. Électrophorèse d'ADN sur gel d'agarose 0.8%**

#### **🚦 Préparation du gel**

- Nettoyer les plaques et les peignes à l'éthanol 70% avec un kimwipe puis rincer avec l'eau distillée ultra pure (Eau up).
- Préparer un gel d'agarose à 0.8% (Ph) soit 0.8g d'agarose pour 100 ml de volume final dans un tampon TBE 1X
- Faire fondre l'agarose au four à microonde (2 à 4 min) à puissance maximale, il est nécessaire de bien vérifier le gel d'agarose, qu'il soit complètement dissout (liquide claire, absence de particules en suspension)
- Refroidir le gel d'agarose fondu à une température de 50 à 60 C°. Ajouter 2 gouttes de BET et mélanger en agitant l'erenmnyer.
- Couler l'agarose dans la cuve préparée avec le peigne en évitant la formation de bulles d'air
- Lorsque le gel est refroidi et solidifié 20 à 30 min, retirer les peignes de la plaque
- Placer la plaque dans la cuve d'électrophorèse
- Remplir la cuve de tampon de migration TBE 1X (400ml)

#### **🚦 Préparation des échantillons d'ADN**

- **Préparation de l'ADN** : Ajouter 1/6<sup>eme</sup> de tampon de charge à chaque échantillon d'ADN et bien mélanger, prendre un nouveau cône à chaque fois (le tampon de charge permet d'alourdir les échantillons et de marquer le front de migration)

## ANNEXES

---

- **Dépôt des échantillons :** Déposer 5ul de chaque échantillon d'ADN dans les puits de gel en faisant attention de ne pas déchirer le fond du gel avec la pointe de la pipette  
Après chaque dépôt, effectuer un rinçage des pointes avec des pipetages successifs dans le tampon de migration, puis essayer sur papier absorbant
- Déposer 3 ul de marqueur de taille
- **Migration sur gel :**
  - Fermer la cuve, brancher les fils et mettre sous tension, laisser migrer jusqu'à ce que le colorant de charge arrive à proximité du bord du gel (environ 20 à 25min à 100V)
  - Couper l'alimentation et récupérer le gel dans son support.
  - Visualiser les fragments d'ADN amplifiés sous UV
  - Prendre une photo.

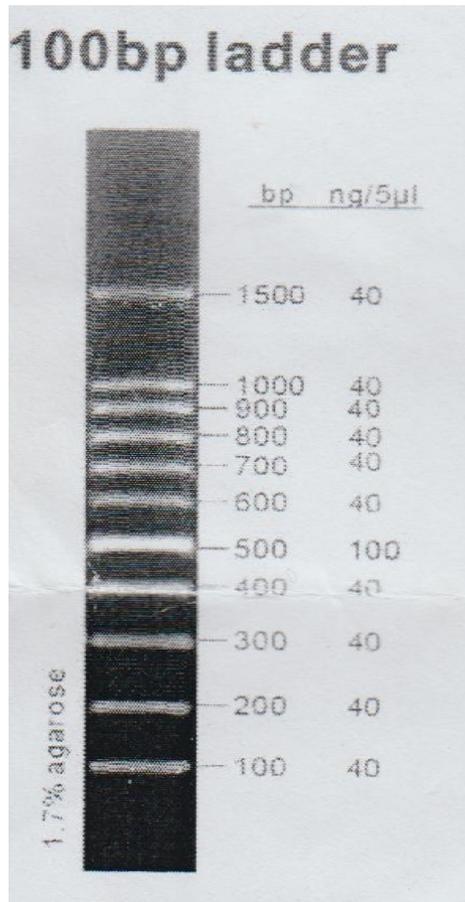
### **ANNEXE 06. Electrophorèse sur gel d'agarose 3%**

Le gel est préparé dans une grande cuve.

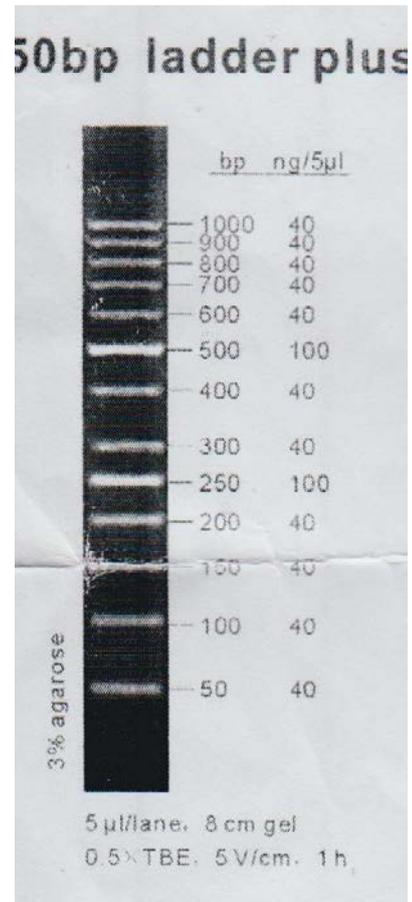
- Pour la grande cuve on aura besoin de 8.1g d'agar pour 270ml TBE1x
- Avant de couler les gels on rajoute 12ul BET, qui permet de visualiser les bandes avec les infrarouges et les photographier
- Le tampon de charge est ajouté aux ADNs, qui permettent pour visualiser le trait de migration, en prend 12ul d'ADN
- On a 6 parts, 1 part pour le tampon de charge 1/6, ce qui fait 4 ul de tampon

# ANNEXES

## ANNEXE 07. Marqueurs de taille utilisés



Marqueur de taille 100 pb  
(Biomatik DNA ladder, Quantitative,  
ready to use)



Marqueur de taille 50pb (Biomatik  
DNA ladder plus. Quantitative, ready  
to use).

## ANNEXES

### ANNEXE 08. GrainGenes rapport des marqueurs microsatellites utilisés

Probe for Locus	WMC500
Locus	Xwmc500-3B [ <a href="#">Show all 13</a> ]
Reference	 Somers DJ and Isaac P (2004) SSRs from the Wheat Microsatellite Consortium.
General Remarks	Wheat Microsatellite Consortium Project 1, Plate reference 25b12 Donor: Serasem Location from nullisomic/tetrasomic (Daryl Somers, AgCanada, Feb 2001) : 155 bases located on 2B, 165 bases located on 7B, 180 bases located on 1B, 188 bases located on 3B, 204 bases located on 4A Trimmed to insert at both ends. (CA)13 38 to 63, (CA)10 66 to 85.
Type	PCR SSR
PCR primers	Forward ATAgcATgTTggAAcAgAgcAc at 15 length 22 bases, Tm 61 Reverse cTTAgATgcAAcTcTATgCGgT at 178 length 22 bases, Tm 60
SSR size	185 bases expected, Chinese Spring
Amplification Conditions	51C anneal, polymorphic on acrylamide (polymorphism is superimposed on smear, 150-190 bases, complex).
Sequence	WMC500
Source Species	Triticum aestivum
Data Source	Somers, Daryl J. 2004.06 Isaac, Peter G. 2004.06

Probe for Locus	BARC119
Locus	Xbarc119-1B Xbarc119-1A Xbarc119-1D Xbarc119 XbarcM119-3D
General Remarks	Contains motif : (CT)17 BARC primer pairs are developed by P. Cregan, Q. Song and associates at the USDA-ARS Beltsville Agriculture Research Station. Meiotic map information was developed by J.R. Shi, R. Ward and associates at Michigan State University. Deletion map information was developed by B.Gill, S. Singh and associates at Kansas State University. Funding for this research is provided by USDA-ARS in conjunction with the U.S. Wheat and Barley Scab Initiative.
Type	PCR SSR
PCR primers	5' CACCCGATGATGAAAAT 3' 5' GATGGCACAGAAATGAT 3'
Amplification Conditions	Annealing temperature = 55
Sequence	BV211749
Source Species	Triticum aestivum
Data Source	Ward, Rick

## ANNEXES

Probe for Locus	WMS368
Locus	Xgwm368-4B Xgwm368
Reference	 Roder MS et al. (1998) A microsatellite map of wheat <i>Genetics</i> 149:2007-2023.
General Remarks	Insert contains repeat (AT) <sup>25</sup> PRIMER SEQUENCE IS AVAILABLE FOR PUBLIC RESEARCH ONLY. REQUESTS FOR COMMERCIAL USE SHOULD BE DIRECTED TO M. ROEDER.
Type	PCR SSR
PCR primers	5' CCATTTACCTAATGCCTGC 3' 5' AATAAAACCATGAGCTCACTTGC 3'
Amplification Conditions	3 min at 94 deg C; 45 cycles with 1 min at 94 deg C, 1 min at 60 deg C, and 2 min at 72 deg C; and a final extension step of 10 min at 72 deg C
Polymorphism	WMS368
Source Species	<i>Triticum aestivum</i>
Source Germplasm	Chinese Spring
Data Source	Roeder, Marion S. 98.09.15

[ Printable Version ] [ Submit comment/correction ]

Probe	BARC142
Locus	Xbarc142-2D Xbarc142-5A Xbarc142-6A Xbarc142-5B Xbarc142
Remarks	Contains motif : (CT) <sup>13</sup> BARC primer pairs are developed by P. Cregan, Q. Song and associates at the USDA-ARS Beltsville Agriculture Research Station. Meiotic map information was developed by J.R. Shi, R. Ward and associates at Michigan State University. Deletion map information was developed by B.Gill, S. Singh and associates at Kansas State University. Funding for this research is provided by USDA-ARS in conjunction with the U.S. Wheat and Barley Scab Initiative.
Type	PCR SSR
PCR primers	5' CCGGTGAGAGGACTAAAA 3' 5' GGCCTGCAATTATGAGC 3'
Amplification Conditions	Annealing temperature = 52
Sequence	BV211626
Source Species	<i>Triticum aestivum</i>
Data Source	Ward, Rick

# ANNEXES

Probe for Locus	BARC100
Locus	Xbarc100-2A Xbarc100-5A Xbarc100
General Remarks	Contains motif : (TAA) <sup>19</sup> BARC primer pairs are developed by P. Cregan, Q. Song and associates at the USDA-ARS Beltsville Agriculture Research Station. Meiotic map information was developed by J.R. Shi, R. Ward and associates at Michigan State University. Deletion map information was developed by B.Gill, S. Singh and associates at Kansas State University. Funding for this research is provided by USDA-ARS in conjunction with the U.S. Wheat and Barley Scab Initiative.
Type	PCR SSR
PCR primers	5' CCGTTAAGCCGCCTACCACAGAGTTGC 3' 5' GGCTTAAACGGATCCTCCAGGTCAT 3'
Amplification Conditions	Annealing temperature = 52
Sequence	BV211582
Source Species	Triticum aestivum
Data Source	Ward, Rick

Probe for Locus	WMC307
Locus	Xwmc307-3B wmc307-3B
Reference	 Somers DJ and Isaac P (2004) SSRs from the Wheat Microsatellite Consortium.
General Remarks	Wheat Microsatellite Consortium Project 1, Plate reference 8c5 Donor: Rouse, Novartis Location from nullisomic/tetrasomic (Daryl Somers, AgCanada, Feb 2001) : 146 bases located on 3B Contains (GT) <sup>8</sup> (GA) <sup>13</sup> . Trimed to Rsa1 at 5' end and to insert at 3' end. (GA) <sup>13</sup> 171 to 196, (GT) <sup>8</sup> 155 to 170.
Type	PCR SSR
PCR primers	Forward gTTTgAAgAccAAgcTccTccT at 81 length 22 bases, Tm 63 Reverse AccATAAccTcTcAAgAAccca at 204 length 22 bases, Tm 62
SSR size	145 bases expected, Chinese Spring
Amplification Conditions	61C anneal, polymorphic product on agarose; 61C anneal, polymorphic on acrylamide.
Sequence	WMC307
Source Species	Triticum aestivum
Data Source	Somers, Daryl J. 2004.06 Isaac, Peter G. 2004.06

## ANNEXES

### ANNEXE 09. Quantité et qualité d'ADN des 26 variétés de blé dur

#	Sample	Date and Time	Nucleic Acid Cc	Unit	A260	A280	260/280	260/230	Sample Type	Factor	Qté ADN 10ng/100µl	Qté H2O
1	54	11/01/2015 10:11:35	32,6	ng/µl	0,653	0,372	1,75	1,03	DNA	50	30,67	69,33
2	39	11/01/2015 10:12:31	95,6	ng/µl	1,913	1,045	1,83	1,66	DNA	50	10,46	89,54
3	84	11/01/2015 10:13:20	34,4	ng/µl	0,688	0,389	1,77	1,27	DNA	50	29,07	70,93
4	33	11/01/2015 10:13:57	29,5	ng/µl	0,59	0,337	1,75	0,81	DNA	50	33,90	66,10
5	9	11/01/2015 10:14:35	19,2	ng/µl	0,383	0,212	1,81	0,71	DNA	50	52,08	47,92
6	90	11/01/2015 10:15:16	65,3	ng/µl	1,306	0,726	1,8	1,35	DNA	50	15,31	84,69
7	129	11/01/2015 10:15:52	36,7	ng/µl	0,735	0,411	1,79	1,16	DNA	50	27,25	72,75
8	139	11/01/2015 10:16:25	50	ng/µl	1	0,549	1,82	1,57	DNA	50	20,00	80,00
9	91	11/01/2015 10:16:59	64,6	ng/µl	1,292	0,71	1,82	1,4	DNA	50	15,48	84,52
10	92	11/01/2015 10:17:33	59	ng/µl	1,18	0,666	1,77	1,31	DNA	50	16,95	83,05
11	82	11/01/2015 10:18:27	47,2	ng/µl	0,944	0,544	1,73	0,79	DNA	50	21,19	78,81
12	8	11/01/2015 10:19:02	41,9	ng/µl	0,838	0,461	1,82	0,91	DNA	50	23,87	76,13
13	2	11/01/2015 10:19:37	46,3	ng/µl	0,926	0,527	1,76	0,92	DNA	50	21,60	78,40
14	79	11/01/2015 10:20:09	56,1	ng/µl	1,122	0,624	1,8	0,62	DNA	50	17,83	82,17
15	93	11/01/2015 10:20:44	47,3	ng/µl	0,947	0,525	1,8	0,98	DNA	50	21,14	78,86
16	99	11/01/2015 10:21:23	94,6	ng/µl	1,892	1,046	1,81	1,53	DNA	50	10,57	89,43
17	107	11/01/2015 10:22:03	58,1	ng/µl	1,162	0,641	1,81	1,58	DNA	50	17,21	82,79
18	115	11/01/2015 10:22:45	50,6	ng/µl	1,012	0,561	1,8	1,14	DNA	50	19,76	80,24
19	83	11/01/2015 10:23:21	77,5	ng/µl	1,55	0,856	1,81	1,24	DNA	50	12,90	87,10
20	85	11/01/2015 10:23:53	47,6	ng/µl	0,952	0,537	1,77	1,24	DNA	50	21,01	78,99
21	86	11/01/2015 10:24:27	77	ng/µl	1,541	0,861	1,79	1,45	DNA	50	12,99	87,01
22	123	11/01/2015 10:25:18	75	ng/µl	1,501	0,818	1,84	1,4	DNA	50	13,33	86,67
23	88	11/01/2015 10:25:54	65,6	ng/µl	1,312	0,738	1,78	1,29	DNA	50	15,24	84,76
24	38	11/01/2015 10:26:30	41,7	ng/µl	0,834	0,472	1,77	1,24	DNA	50	23,98	76,02
25	23	11/01/2015 10:27:22	33,1	ng/µl	0,662	0,371	1,78	1,51	DNA	50	30,21	69,79
26	89	11/01/2015 10:28:06	69,8	ng/µl	1,395	0,77	1,81	1,5	DNA	50	14,33	85,67

**Article et communications  
scientifiques**



ISSN NO. 2320-5407

Journal Homepage: - [www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/2185  
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/2185>



INTERNATIONAL JOURNAL OF  
ADVANCED RESEARCH (IJAR)  
ISSN 2320-5407  
Journal homepage: <http://www.journalijar.com>  
Journal DOI: 10.21474/IJAR01

### RESEARCH ARTICLE

#### AGRO MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND STUDY OF GRAIN YIELD OF ALGERIAN DURUM WHEAT (*TRITICUM DURUM*.DESF.

Amina Khennaoui<sup>1</sup>, Abdelhamid Djekoun<sup>1</sup>, Abdelkader Benbelkacem<sup>2</sup> and Nadia Ykhlef<sup>1</sup>.

1. Genetics, Biochemistry and Plant Biotechnology Laboratory 'Team II Biotechnology and Plant Amelioration, Faculty of Nature and Life Science, Frère Mentouri University, Constantine, Algeria.
2. INRAA, Constantine, Algeria.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 27 September 2016  
Final Accepted: 30 October 2016  
Published: November 2016

##### Key words:-

agro-morphological traits, *Triticum durum*, grain yield, CPA, HCA, Algeria.

#### Abstract

Improvement and rehabilitation passes necessarily by a characterization step and a performance evaluation in view of future use. In this context, a collection of 26 accessions of durum wheat (*Triticum durum*.desf) was studied based on an assortment of agro morphological and physiological traits. This study took place during the campaign of 2011/2012 on the ITGC site of el khroub station. This site represents the highest Algerian eastern plains. The results showed highly significant varietal differences for all measured parameters. Highly positive significant links have been found between grain yield and the number of grains produced per unit area, and the number of grain per spike. The principal component analysis, described a total variation of 77.36 %, and the hierarchical classification has divided the genotypes according to their phenotypic variation into three distinct groups. The first one includes old varieties showing adaptability to climatic conditions to the studied area. They are late and large. In contrast, the two groups left are formed by improved genotypes and other newly introduced ones. They are characterized by a small, early maturity at heading, and show higher values for all performance components.

Copy Right, IJAR, 2016., All rights reserved.

#### Introduction:-

In Algeria, cereal products occupy a strategic place in food system and national economy (Djermoun, 2009). Among them, durum wheat (*Triticum durum* .Desf) is one of the most cultivated species, and takes a big part in our diet. However, the current cereal production can only cover partially the population need's (Chennafi et al; 2011). Unfortunately, the area occupied by this crop has not evolved for a long time (Smadhi et al; 2009). They are also subjected to high climatic variability (Hanifi et al; 2008). The rainfall is low, erratic and unpredictable, which is the main limiting factor (Makhlouf et al; 2012). In order to face this situation, various improvement strategies can be applied. As a first step of any strategy the germoplasm needs to be well known, to be able to use its potentials. To do so, the study and the characterization of genetic resources is critical and can be useful to create new varieties with good quality, high efficiency, highly adapted to climatic variations and resistant to diseases ( Amallah et al ; 2016). Several collecting missions have been conducted to characterize the diversity and genetic structure of local populations of durum wheat in the Mediterranean countries and North Africa since 1925 (Vavilov; 1992). For this purpose, a set of agro- morphological parameters have been used (Sahri et al; 2014, Belhadj et al; 2015 Zarkti et al;

**Corresponding Author:- Amina Khennaoui.**

Address:- Genetics, Biochemistry and Plant Biotechnology Laboratory 'Team II Biotechnology and Plant Amelioration, Faculty of Nature and Life Science, Frère Mentouri University, Constantine,

2012). The characterization and the evaluation of crop varieties allow us to protect and restore this genetic heritage. To be used at the end in breeding programs (Chentoufi et al; 2014). Cereal improvement has long been and still is strongly oriented towards increasing productivity (Boubaker et al ; 1999). The Knowledge of any existent link between the grain yield and its component can be useful to identify interesting traits for selection. This information is used to guide the selection process to promote the features able of generating improved performance (Mekhlouf and Bouzerzour; 2000).

In this context our study aimed to evaluate Twenty Six accessions of durum wheat grown in Algeria, based on agromorphological characters. Also to analyze and compare the grain yield and its component to be able to improve our knowledge and so to identify the most relevant characteristics for choosing the more efficient and adapted genotypes.

### **Material and methods:-**

Plant material used for our study consists of 26 durum wheat varieties (*Triticum durum*.Desf). With various origins (Table 1). The assay was conducted during the 2011-2012 season at the experimental station of the Crops Technical Institute (ITGC) of El Khroub , located at 14Km south east of Constantine, with an altitude of 640m , a latitude of 6.67 East and longitude 36.67 North . According to an experimental randomized block with 5 repetitions. The plant material is sown by hand on a basic plot in a line of 1m long by spacing each line 20 cm. sowing was carried out on 22/12/2012 in approximately 2 to 3cm depth.

### **Measured parameters:-**

Phonological observations were held throughout the vegetative cycle of the wheat (seedling to maturity). The heading stage (DHE) : number of days from emergence to the release date of 50% of ears per variety ; the plant height (PH in cm), is made at maturity, ground level at the top of the ears, not included beards; flag leaf area is derived by the formula:  $SF (cm^2) = 0.606 (L \times I)$  where L= total length of 5 sheets, I = average width of 5 leaves and 0.606 = regression coefficient between the surface of photocopied sheets of paper weight on that deduced by the product (I x L) (Spagnoletti Zeuli and Qualset, 1990) ; the spike length (SL in cm) measured from the base of the ear to the tip, not included beards; the length of beards (LB in cm); the relative water content is determined at heading stage on a sample of three leaves, according to the protocol of Barrs (1968). It is calculated by the following formula (RWC %) = (fresh weight- dry weight)/ (rehydrated weight- dry weight) x100. The physiological status of plants was monitored by RWC.

The number of grass tillers: is determined by direct counting of the number of grass tillers (except main shoot) of all plants / genotype, from the 4-leaf stage until end of tillering. The number of fertile tillers: is the direct counting the number of fertile tillers (except main shoot) of all plants / genotype, maturity stage and then deducted the report tillering ear / tillering grass (NTF/NTG).

The temperature of crop canopy (TC) is measured by a hand-held infrared thermometer. The measurements were carried out during the heading stage of good weather around solar noon, back to the sun. the data for each varieties is the mean of four or five readings .The measures also focused on the thousand kernel weight in grams (TKW) , the number of spike per square meter (spike / m<sup>2</sup>) and the average number of grains / spike , grain yield (g / m<sup>2</sup>) .

### **Data analysis:-**

An analysis of variance (ANOVA) is performed for each variable at the P<0.05 significance level .And a principal component analysis (PCA). A correlation matrix is calculated to study the different expressions between variables.

The hierarchical cluster CAH, is performed to study the structure of our collection on different quantitative traits. All statistical analyzes were performed with XLSTAT 2014 software.

**Table 1:-** Name and pedigree, origin of the genotypes used in the study.

N° Accession	Varieties or Lines	Pedigree	Origin
2	Mexicali75		CIMMYT (Mexico)
8	Aribs (ex Capeiti)		Algeria (Italy)
9	Waha	Plc/Ruff//Gta/3/ Rtte	Algeria
23	Chen "S"		CIMMYT (Mexico)
33	Hoggar	Vitron	Algeria
38	Tell76		Algeria
39	Tassili		Algeria
54	Righa	Cocorit71	CIMMYT (Mexico)
79	T.PolonicumxZ.Bouteille	Var.Population	Algeria
82	Mohamed Ben Bachir	Var.Population	Algeria
83	Montpellier	Var.Population	Algeria
84	Hedba3	Var.Population	Algeria
85	Bidi17	Var.Population	Algeria
86	O.Zenati 368	Var.Population	Algeria
88	Djennah Khetifa	Var.Population	Algeria/Tunisia
89	Guemgoum Rkhem	Var.Population	Algeria
90	Rahouia 80 (ex Gloire de Montgolfier)	Var.Population	Algeria
91	Beliouni	Var.Population	Algeria
92	Gta/Dur69...		Algeria
93	Simeto		Algeria (Italy)
99	Sooty-3/Rascon-37		Mexico
107	Boussellem		Algeria
115	Ofonto		Algeria (Italy)
123	Mrf1/Stj2//Gdr2/Mgnl1		ICARDA (Syria)
129	Sigus	Ter-1/3/Stj3// Bcr /Lks4	Algeria (ICARDA)
139	Beni Mestina	Lahn/Ch1.2003	Algeria (ICARDA)

**Results:-****Table 2:-** Means values of thirteen traits agro morpho-physiological of the genotypes tested.

variety	DHE	DM	NTF/NT	RW	SL	BL	PH	SF	TC	Spike/ m <sup>2</sup>	TK W	Grs /spike	GY
2	135,67	161,00	0,50	0,67	8,70	8,87	88,00	32,00	26,87	140,00	40,03	45,00	255,23
8	135,67	162,00	0,56	0,94	6,67	5,60	85,33	25,33	26,13	168,67	41,93	38,33	270,61
9	139,67	161,00	0,47	0,89	7,50	9,80	74,00	26,00	26,44	95,33	30,70	52,67	154,88
23	140,33	162,00	0,51	0,80	8,23	7,60	65,00	26,67	29,46	96,00	38,00	43,33	156,80
33	140,33	161,00	0,48	0,74	7,23	7,40	77,33	22,00	26,78	182,00	34,03	48,33	299,85
38	140,67	162,00	0,36	0,86	8,07	10,90	76,50	28,67	28,66	121,33	36,07	48,00	209,23
39	140,33	161,00	0,61	0,76	8,33	11,33	81,00	23,67	28,48	161,33	39,03	52,33	331,90
54	141,67	163,00	0,44	0,81	7,00	10,93	85,00	29,33	28,18	203,33	32,67	32,67	216,27
79	147,33	174,33	0,50	0,86	6,90	11,00	112,00	29,33	29,15	140,00	42,00	47,33	282,54
82	147,00	173,00	0,41	0,93	6,00	11,70	104,60	21,00	30,90	116,67	38,90	35,67	165,30

	0	0			0	7	7	0	2		7		5
83	147,0 0	176,0 0	0,36	0,87	6,0 0	7,47	79,00	28,6 7	29,7 4	109,33	40,0 0	34,00	149,5 1
84	148,0 0	174,3 3	0,19	0,84	8,6 7	11,6 0	118,0 0	31,6 7	30,9 4	91,33	40,0 0	51,33	186,5 5
85	147,0 0	175,0 0	0,23	0,92	6,1 0	11,6 7	103,0 0	30,3 3	29,5 3	74,67	44,0 0	33,67	110,2 8
86	147,3 3	176,3 3	0,25	0,95	6,1 3	10,4 3	105,6 7	37,6 7	28,1 8	100,00	47,3 3	38,00	176,5 8
88	149,0 0	177,0 0	0,44	0,93	7,6 7	9,83	109,6 7	29,6 7	29,0 8	92,00	37,0 0	36,00	120,1 8
89	147,0 0	176,6 7	0,36	0,88	8,8 3	9,53	112,3 3	30,3 3	30,8 0	88,67	56,0 0	33,67	163,1 5
90	147,3 3	178,0 0	0,22	0,65	7,2 3	12,6 7	111,6 7	36,0 0	30,6 5	138,67	40,0 0	40,67	224,6 9
91	147,0 0	178,0 0	0,39	0,74	6,4 3	11,3 0	104,1 7	29,6 7	33,0 2	137,33	43,6 7	42,33	262,1 0
92	144,6 7	174,0 0	0,47	0,76	7,4 3	8,50	72,00	33,6 7	34,0 0	122,00	37,0 3	62,33	280,6 2
93	139,0 0	169,0 0	0,28	0,80	7,1 7	8,50	71,33	27,6 7	32,5 3	116,67	39,9 0	40,33	190,8 9
99	141,0 0	166,0 0	0,37	0,80	6,9 7	9,37	69,00	36,3 3	32,7 0	110,00	38,0 7	33,33	138,3 7
107	145,0 0	171,0 0	0,46	0,89	6,7 0	11,9 7	80,50	34,3 3	34,7 5	122,67	40,0 0	55,33	272,8 2
115	140,3 3	178,0 0	0,56	0,81	6,7 0	11,7 0	71,00	35,3 3	32,9 7	96,00	54,0 0	39,67	214,0 1
123	142,6 7	168,0 0	0,31	0,74	6,6 0	10,8 7	79,33	30,0 0	34,3 7	113,33	42,0 0	40,00	189,2 1
129	139,6 7	168,0 0	0,28	0,82	7,0 3	9,37	82,80	22,0 0	32,4 0	152,00	41,9 0	40,00	250,6 5
139	144,0 0	171,0 0	0,36	0,75	7,6 7	7,23	67,53	32,3 3	32,7 3	123,33	40,0 3	49,00	247,8 5

**Descriptive statistical analysis:-****Table 3:-** Means values, maximum and minimum and statistical significance of the measured characters.

Variable	Minimum	Maximum	Means	Standard deviation	Significance (Pr > F)
Number of days to heading	135,667	149,000	143,256	3,944	< 0,0001
Number of days to maturity	161,000	178,000	169,872	6,452	< 0,0001
NTF/NTG	0,193	0,613	0,398	0,113	< 0,0001
RWC	0,650	0,953	0,824	0,082	0,005
SL	6,000	8,833	7,229	0,846	< 0,0001
BL	5,600	12,667	9,892	1,810	< 0,0001
PH	65,000	118,000	87,917	16,795	< 0,0001
SF	21,000	37,667	29,603	4,526	0,106
TC	26,133	34,750	30,364	2,550	< 0,0001
Spike/m <sup>2</sup>	74,667	203,333	123,564	31,058	0,01
TKW	30,700	56,000	40,553	5,519	< 0,0001
Grs /spike	32,667	62,333	42,821	7,835	< 0,0001
GY	110,277	331,897	212,312	59,364	0,01

The means values of quantitative characteristics measured on the 26 genotypes are listed in Table 2. The variety Mexicali presents the shortest development cycle to 161 days and a heading period of 135.66 days. The genotypes formed by old varieties are considered as late and have a quite significant delay in relation to the variety Mexicali, with a period of heading of 149 days, a difference of 17 days to the end of the cycle. Boussalem has the best ability the transformation into tillers ears (0.61%). The stubble height is in the advantage of Hedba3 (118 cm), Chen "S" is the shortest (65cm). At the heading stage, O.Zenati 368 develops a large area of flag leaf with an average of 37.667 cm<sup>2</sup>, while Mohamed Ben Bachir with 21 cm<sup>2</sup> has a low surface sheet. The differences between genotypes are too marked for the number of spike per unit area with an average of 123.56 spike / m<sup>2</sup>. The highest value was noted in Righa. The best TKW is presented by the variety Guengoum Rkhem 65.00 g unlike the variety Waha which had a weight of 30.7 g. The variety with the most fertile spike is Gta / Dur69 (Grs /spike = 62.33). The grain yield shows values varies between 331.9 and 110.3 g/m<sup>2</sup>; it is the varieties Hoggar and Tassili that shown the best performance. The genotype Bidi 17 showed the lowest grain yield.

The analysis of correlations between the measured parameters shows that there are positive and negative relations between these parameters ranging from a low to a high correlation (Table 4).

**Table 4:-** Correlation coefficients between yield and other traits in durum wheat.

Variables	DHE	DMA	NTF/NTH G	RWC	SL	BL	PH	SF	TC	spike/m <sup>2</sup>	TKW	Grs/spike
DMA	<b>0,81***</b>											
NTF/NT G	<b>-0,459*</b>	<b>-0,436</b>										
RWC	0,263	0,165	-0,021									
SL	-0,234	-0,340	0,159	-0,328								
BL	0,267	<b>0,390</b>	-0,262	-0,008	-	0,119						
PH	<b>0,682**</b> *	<b>0,570</b>	-0,379	0,255	-	0,010	<b>0,488*</b> *					
SF	<b>0,475*</b>	0,304	-0,281	-0,129	-	0,031	0,271	0,103				
TC	0,290	0,284	-0,294	-0,227	-	0,198	0,272	-	0,150	0,357		
Spike/m <sup>2</sup>	<b>-0,481*</b>	<b>-0,426</b>	0,361	-0,358	-	0,031	-0,179	-	0,156	0,364	0,278	
TKW	0,227	<b>0,582*</b> *	-0,132	0,132	-	0,068	0,166	0,317	0,339	0,304	-0,378	
Grs/spike	-0,120	-0,224	0,280	-0,268	0,371	-0,003	0,255	0,006	0,115	0,094	0,339	-
GY	<b>-0,424*</b>	-0,274	<b>0,459*</b>	<b>0,446*</b>	0,145	-0,080	0,157	0,174	0,003	<b>0,721**</b> *	-	<b>0,597**</b> *

\* (P<0.05); \*\* (P<0.01); \*\*\* (P<0.0001)

#### Principal component analysis:-

**Table 5:-** Projection of the different traits studied on the five axes of the principal components analysis.

Traits	F1	F2	F3	F4	F5
DHE	<b>0,813</b>	-0,113	0,330	0,080	-0,155
DMA	<b>0,883</b>	-0,235	0,084	-0,155	0,138
NTF/NTG	<b>-0,633</b>	0,011	0,076	-0,092	0,462
RWC	0,344	<b>0,674</b>	0,083	0,005	0,125
SL	-0,331	-0,240	-0,032	<b>0,807</b>	0,244
BL	<b>0,511</b>	-0,337	0,399	0,060	-0,196
PH	0,621	0,061	<b>0,689</b>	0,219	0,133
SF	<b>0,497</b>	-0,442	-0,324	0,081	0,094

TC	0,403	<b>-0,603</b>	-0,400	-0,319	-0,152
SPIKE/m <sup>2</sup>	<b>-0,668</b>	-0,113	0,477	-0,417	-0,051
TKW	0,550	-0,132	-0,127	-0,164	<b>0,740</b>
Grs/Spike	-0,413	<b>-0,606</b>	0,060	0,328	-0,125
GY	<b>-0,589</b>	-0,507	0,392	-0,251	0,215

A principal component analysis was performed from 13 variables. We notice the first axis alone explains 33.772% of the information, the first two axes develop 49, 048%, the three axes explain 60.042%, and the first four axes have 69.435% and the first five axes explain 77 363% of the total variation. Therefore, these five axes had better summarize information provided by all the initial variables. On the positive side, the first components (axis) integrate information relating to the variation of the variables: duration of heading and maturity, SF, the BL. On the negative side, the ratio NTF/NTG, Spike/m<sup>2</sup> and grain yield. Along this axis 1 oppose phenology and morphological characteristics to production capacities. The RWC is positively correlated with the axis 2 on the positive side, and canopy temperature and the number of grains per spike on the negative side. As for axis 3, is formed by the plant height on the positive side. Axis 4 and 5 are positively correlated with spike length and thousand kernel weight respectively (Table 5). Considering the significance of axes, we analyzed the distribution of varieties. Along axis 1 oppose the genotype Hedba3, Bidi17, O.Zenati 368, DjennahKhetifa to Mexicali, Aribis, Waha, Chen "S", Hoggar, Tell, Tassili, Righa. On the negative side of the axis 2, the varieties Rahouia 80, Beliouni, Gta / Dur69, Boussellem characterized by high grains number per spike also a canopy temperature. The same axis but on the positive side, varieties Mohamed Ben Bachir, Montpellier, characterized by high RWC (Fig.). In the plane 1- 3 (Fig.), the dispersion of individuals shows that varieties Simeto, Sooty-3/37-Rascon, Mrf1 / Stj2 // GDR2 / Mgn11, Beni Mestina characterized by low plant height. On the positive side of the axis 05; varieties Guemgoum Rkhem, Ofonto ,O.Zenati 368, T.PolonicumxZ.Bouteille, is distinguished by a very high TKW (Fig.).

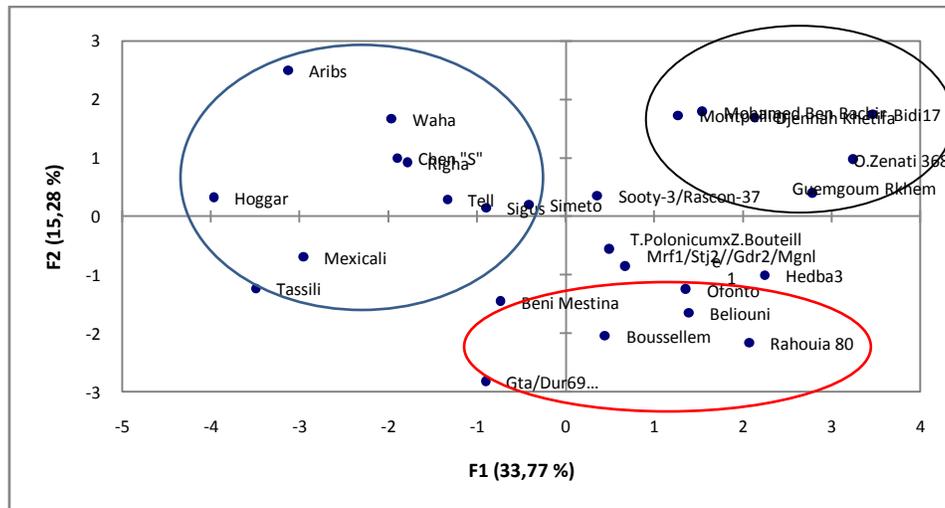


Fig 1:- Distribution of the 26 durum wheat accessions for the agro morphological and physiological traits in the plan of axes 1 and 2.

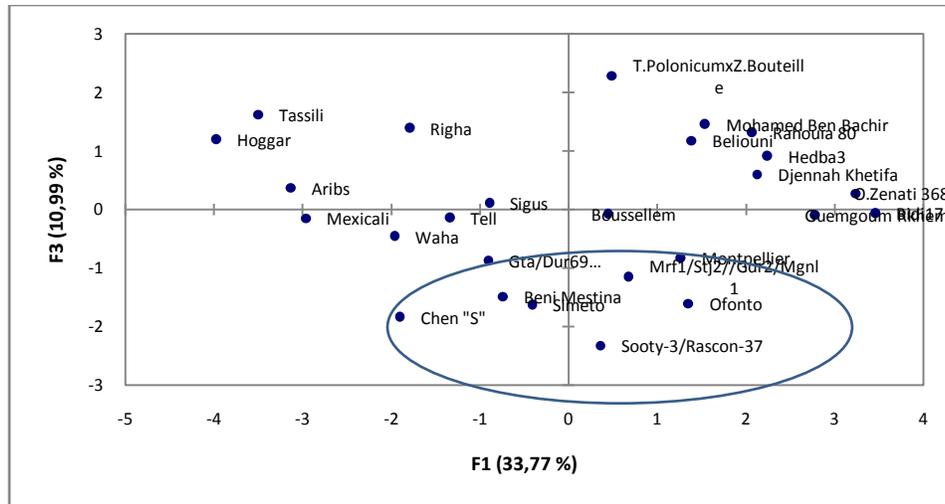


Fig 2:- Distribution of the 26 durum wheat accessions for the agro morphological and physiological traits in the plan of axes 1 and 3.

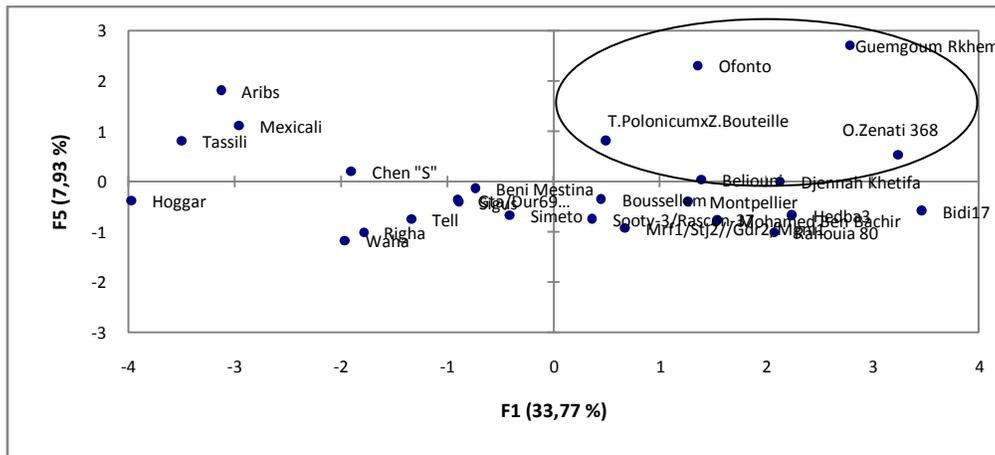


Fig 3:- Distribution of the 26 durum wheat accessions for the agro morphological and physiological traits in the plan of axes 1 and 5.

The hierarchical classification:-

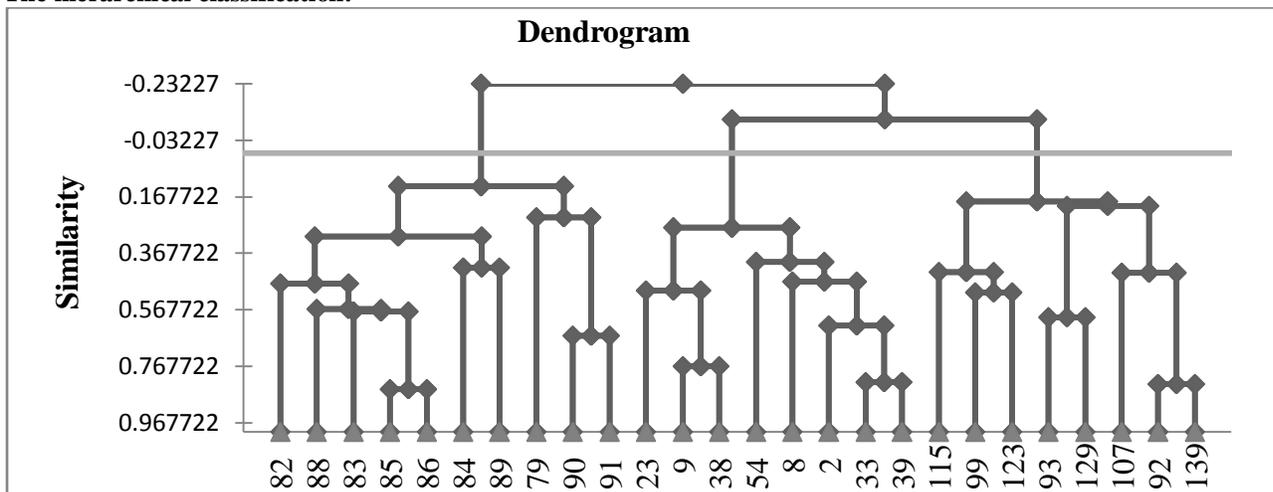


Fig 4:- hierarchical clustering based on phenotypic and agro physiological variables considered in our study.

The results of the hierarchical cluster analysis are presented in Fig. 04. The grouping according to the degree of resemblance between the different genotypes on the basis of the measured variables reveals three distinct groups. Group I consists of T.PolonicumxZ.Bouteille Mohamed Ben Bachir, Montpellier, Hedba3, Bidi17, O.Zenati 368, Djennah Khetifa, Guemgoum Rkhem, Rahouia 80, Beliouni. Group II consists of the genotypes Mexicali, Aribis, Chen "S", Viton, Tell, Tassili, Righa, Waha. And group III is represented by Gta / Dur69, Simeto, Sooty-3/37-Rascon, Bousselem, Ofonto, Mrf1 / Stj2 // GDR2 / Mgn11, Sigus, Beni Mestina. Analysis of this dendrogram shows that the old varieties are located in the same group I and constitute a separate cluster of improved varieties.

### Discussion:-

Our study aimed to characterize an Algerian durum wheat collection by using thirteen physiological and agromorphological traits. The analysis of variance ANOVA revealed highly significant differences between varieties (Table 03). The existence of variability between accessions is probably due to both genetic differences and the environment in which they have been cultivated. It has been observed that, as well as for the lowest and the highest values of quantitative characters, the latest varieties to heading are the latest ones to maturity. Nevertheless, late varieties, such as local populations, are more adapted to cold spring (Amallah *et al*; 2016). Understanding the existent relationship between different traits can be really valuable to identify the most interesting criteria's for selection. In the other hand, correlation study, showed a significant and negative relation between the number of days to heading, spikes number per square meter ( $r=-0.481$ ) and grain yield ( $r=-0.424$ ). Those results suggest that precocity may improve durum wheat yield. Improved varieties and those from CIMMYT and ICARDA (with short development cycle) have the ability to use more properly, nutritive resources at the end of the cycle. Precocity insures a better efficiency of water use by producing a higher amount of biomass. They are also less exposed to environmental stress than late ones (Slama *et al*; 2005). The parameter, number of days to heading, presents a highly significant correlation with plant height ( $r=0.682$ ), and a significant one with leaf temperature ( $r= 0.475$ ). Under changing environment, morphological characters can play an important role. According to Blum (1988), the existence of a relationship between plant height and drought tolerance can be explained by the ability of large genotype to grain filling under terminal drought stress, using the amount of assimilate stocked within the stem and their ability to remobilize their supplies. The surface of flag leaf is also an important trait. In fact it represents the last active organ that remains, in addition to spikes and beards, in order to produce assimilate needed for grain filling. Flag leaf with large dimensions is highly recommended in favorable environment (Slama *et al*; 2005). Maturation date appears to be significantly correlated to the thousand kernel weight in grams, such relationship can be explained by an important accumulation of supplies, in consequence of which, grains are highly fulfilled (Sayar *et al*, 2007). According to Benbelkacem and Kellou (2000), the TKW, is not quiet controllable, because this trait is highly affected by environment during grain filling. The lack of water after flowering, combined at elevated temperature (usually observed in Algeria) results in a decrease of TKW by alteration of the rate of grain filling and / or the filling time. During this phase, the lack of water results in a reduction of the grain size (scalding) thus is reducing the yield (Megherbi *et al*; 2014). That diminution is due to an alteration in grain filling rate and/or duration. Grain yield showed a highly significant correlation with the following variables: spikes number per square meter ( $r=0.721$ ), grains number per spike ( $r=0.597$ ), and a significant one with the ratio NTF/NTG ( $r=0.459$ ). Our results are in agreement with several researches, which indicate that yield is formed by different component that take place in successive or in a simultaneous way during developmental stages (Masse, 1981). Yield improvement is necessarily connected to grains number per spike, which can explain 75% of yield variability. Our results are also in agreement with those mentioned by Blum and Pnuel (1990) and by Erchidi *et al*, (2000), in fact wheat yield is more related to spike fertility than to the average grain weight (Belkarchouche *et al*, 2009). Grain yield is negatively correlated to the RWC this indicates that local tolerant genotypes are less productive. According to Fellah *et al*, (2002); the most tolerant genotypes to water stress minimize a decrease in grain yield under constraining conditions. In the opposite, sensitive ones show a good expression and a high amount of grain yield under favorable conditions. The multifarious analysis highlighted an important variability within this durum wheat collection. Among those varieties some of them seemed to be more vigorous for phenological and morph physiological parameters as well as for yield component. In fact the studied varieties appeared to react in the same way toward climatic conditions during 2011/2012. Those conditions were relatively favorable to a good agriculture (sufficient precipitation unfortunately with freeze and high temperature). The principal component analysis led us to group them according to the chosen parameters. Number of grain per spike, number of spike per square meter, grain yield, thousand kernel weight, heading date and plant height, are the most discriminate characters. In addition, the hierarchical classification is in agreement with the emerged conclusion from the CPA analysis, and divides the accession in tree groups. The first one includes ancient varieties (late ones) with low yield; they exhibit the highest RWC, SF, PH values, characterized by a lower canopy temperature. This group includes the most tolerant varieties to abiotic

stresses. Our results are supported by those mentioned by Fellah *et al.*, (2002); indicating that tolerant genotypes are less productive. They are large and late to heading. They lose less leaf water per time unit too. Renolds *et al.*, (1994) also suggested that leaf temperature can be a good tool to select adapted genotypes to thermal stress (Benmahamed, 2005). The physiological aspect of those genotypes needs to be studied in a deeper way in order to be used as parents. The second group contains improved varieties and those introduced by international centers; they are characterized by: a good grain yield, an early heading and maturity, an important number of spikes per square meter and a high NTF/NTG ratio. Those genotypes can be used as parents in durum wheat breeding programs. Hazmoune (2000) suggested that even after introducing new durum wheat varieties with high yield, the less productive local genotypes (Hedba 3, Bidi 17, O.Zenati 368, Mouhamed Ben Bachir) still remain more adapted to water stress affecting our regions. The introduced ones are instable under constraining conditions. The last group appears to be closer to the second one and is characterized by: a high number of grains per spike, a high level of grain yield, an intermediate TKW, Spikes / m<sup>2</sup>, and NTF/NTG ratio. As well as an average cycle to heading, a height stubble and relative water content.

### Conclusion:-

The measured parameters enabled us to highlight the existence of diversity between varieties. This study revealed that the grain yield is positively correlated with the ratio NTF/NTG and the grains number per spike, spike/m<sup>2</sup>, it suggests putting more emphasis on these elements to increase productivity. The variety Mexicali has the shorter development cycle which should be exploited in breeding programs. Multivariate analyzes allowed us to identify and regroup the varieties in three divergent groups, it would be interesting to combine the advantageous adaptive traits of local and traditional populations, combined with production of the introduced varieties for the development of efficient and tolerant varieties.

### Acknowledgements:-

This work was supported by the Ministry of Higher Education and Scientific Research of Algeria. Authors are grateful to Mr. Belbekri .N and Bouldjaj .R for their technical assistance. Authors thank also Ms Hamla Chourouk for her help in the translation.

### References bibliographiques:-

1. **Amallah L , Hassikoul R, Rhrif K, Gaboun F, Ennadir J , Bouazza F , Rochdi A ; Arahou M , Diria G , Taghouti M. (2016) :** Analyse de la diversité génétique d'une collection de blé dur par les marqueurs agro-morphologiques et biochimiques. J. Mater. Environ. Sci.7 (7). 2435-2444. ISSN: 2028-2508.
2. **Ayed S, Karmous C, Trifa Y, Slama-Ayed O. (2010):** Phenotypic diversity of Tunisian durum wheat landraces. African Crop Science Journal, Vol. 18, No. 1, pp. 35 - 42 ISSN 1021-9730.
3. **Bahlouli F, Bouzerzour H, Benmahammed A. (2004):** Etude des mécanismes de stabilité du rendement grain de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur Vol. 1 N° 3.
4. **Barkat .M. (2005) :** Caractérisations morpho-physiologique et physico-chimique des descendants issus de cinq générations de back-cross et de leurs géniteurs de blé dur (*triticum durum* desf.) .Université Mentouri Constantine. pp.153.
5. **Barrs H. (1968):** Determination of water deficit in plant tissues. In: water deficit and plant growth. Koslowski T. Ed. Academy Press, New York, pp: 235-238.
6. **Belhadj H, Medini M, Bouhaouel I , Amara H. (2015):** Analyse de la diversité phénotypique de quelques accessions autochtones de blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) du sud tunisien .Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 24(5), 1115-1125. E-ISSN 2286-531.
7. **Belkherchouche H, Fellah S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Chellal N. (2009)** Vigueur de la croissance, translocation et rendement en grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. Courrier Savoir Technique & Scientifique. 7 : 25-30.
8. **Benbelkacem A, Kellou K. (2000) :** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie the Mediterranean region. CIHEAM –IAMZ, pp: 105-110.
9. **Benmhamed A. (2005) :** Heterosis transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum Vulgar L.*) .Thèse de doctorat d'état . Université Mentouri .Constantine. pp: 123.

10. **Blum A. and Pnuel Y. (1990)** : Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust.J.Agric. Res.*, 41:799-810.
11. **Boubaker M , Ben-hamouda M, Skouhi L. (1999)**: Adaptation et stabilité du rendement de trois espèces céréalières dans des régions semi-arides et sub- humide de la Tunisie .*Sécheresse* n4, vol.10 :273.9.
12. **Chennafi H, Makhlof M , Ayadi A L. (2011)** :Réponse des variétés contrastées de blé dur ( *Triticum durum* Desf. ) à la date d' implantation sous semis direct en milieu semi -aride. In : Bouzerzour H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4. Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 96). Pp 63-70.
13. **Chentoufi L , Sahri A , Arbaoui M , Birouk A , Roumet P , Muller M-H ; Belqadi H. (2014)** : Diversité agro-morphologique et gestion variétale par les agriculteurs du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) dans le Pré-Rif marocain. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 2 (2):30-38.
14. **Djermoun A . (2009)** : La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie.* N° 01. Pp 45 à 53.
15. **Erchidi A.E, Benbella M et Talouizte A. (2000)** :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)*, 40 : 279-82.
16. **Fellah A , Bouzerzour H , Benmahammed A & Djekoun A . (2002)** : Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Acte Inst.Agron.* Vol.22 (3):161-168.
17. **Hadjichristodoulou A .(1989)** :Environmental correlations among grain yield and other important traits of wheat in dry lands. *Euphytica*, 44: 143-150.
18. **Hanifi-Mekliche L , Boukecha D , Mekliche .A. (2008)** :Analyse agronomique et génétique de quelques variétés de blé dur et de leurs hybrides fl en conditions pluviales. *Sciences & Technologie C – N°27.* Pp.9-14.
19. **Hazmoune T. (2000)** : Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie : perspectives. In : Royo C. (ed.), Nach it M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges.* Zaragoza : CIHEAM, 2000. p. 291 -294 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40).
20. **Mekhlouf A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hadj Sahraoui A, Harkati .N. (2006)** : Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Edi : INRA.* Vol. 17, n° 4.
21. **Mekhlouf A & Bouzerzour H. (2000)** : Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères a variation continue chez le blé dur (*triticum durum*, Desf). *Rcçherche Agronomique.* 7, 37-49.
22. **Megherbi-Benali A , Mehdadi Z , Toumi-Benali F, Hamel L , Benyahia .M.(2014)**: Water supply efficiency of brought for phenological stages on a few morpho-physiological parameters of the durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Edi: Agriculture, Forestry and Fisheries.* Vol. 3, No. 6, 2014, pp. 439-446. doi: 10.11648/j.aff.20140306.11.
23. **Reynolds M.P, Balota M, Delgato M.I.B, Amani I, and Ficher R.A. (1994)**: Physiological traits associated with spring wheat yield under hot irrigated condition .*Aust .J. Plant .Physiology* .21:717-730.
24. **Sahri A L , Chentoufi M , Arbaoui M.H , Muller P ,Roumet L , Belqadi A , Birouk. (2014)** : Impact du relief et des circuits semenciers locaux sur la diversité agro-morphologique du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) dans la vallée d'Er Rich - Imilchil (Maroc). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2):39-49.
25. **Salmi M, Haddad L, Oulmi A, Benmahammed A, Benbelkacem A. (2015)**: Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*triticum durum* desf.) sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal* vol.11, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
26. **Sayar R, Khemira H ,Bcheni H ,Bensalem M, Mosbah M et Nahdi H. (2007)**: Utilisation des composantes du rendement comme outil d'évaluation de la productivité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en irrigué et en pluvial : une approche ontogénique .*INGREF.*
27. **Slama A , Ben Salem M , Ben Naceur M , Zidi E. (2005)** : Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse ;* 16 (3) : 225-9.
28. **Smadhi D , Mouhouche B , Zella L , Semiani M. (2009)** : Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro-économique de l'Algérie. *Sciences & Technologie C – N°29.* Pp.56-62.
29. **Spagnoletti-Zeuli TL and Qualset PO. (1990)**: Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat .*Plant Breeding.* 105: 189 - 202.
30. **Vavilov NI. (1992)**: *Origin and Geography of Cultivated Plant* Cambridge .UK ; Cambridge University.
31. **Zarkti H, Ouabbou H, Udupa Sripada M, Gaboun F ; Hilali A. (2012)** : Agro-morphological variability in *durum wheat* landraces of Morocco .*Australian journal of crop science.* AJCS 6(7):1172-1178. ISSN:1835-2707.

## **Communications nationales et internationales**

**KHENNAOUI, A ; YKHLEF, N** . Etude de la diversité phénotypique et moléculaire de blé dur cultivé en Algérie. Les premiers doctoriales. 2-3 Mars 2013. Filière : Biologie Végétale et Ecologie, Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie (Communication orale et affichée)

**KHENNAOUI, A; DJEKOUN, A; BENBELKACEM,A; YKHLE,N.** Diversité phénotypique et moléculaire du blé dur cultivé en Algérie. Les “Journées Scientifiques 2013 “ Biotechnologie Végétale maîtrise et applications. Le 14 et 15 mai 2013 Constantine, Algérie. (Communication affichée)

**KHENNAOUI, A; BENBELKACEM, A ; YKHLEF, N.** Analyse de la variation morpho-physiologique et agronomique de vingt six variétés du blé dur algérien (*triticum durum* desf.). Les deuxième doctoriales, 21 avril 2014. Filière : Biologie Végétale et Ecologie. Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie. (Communication orale et affichée).

**KHENNAOUI, A; BENBELKACEM, A; DJEKOUNE , A; YKHLEF, N.** Utilisation des marqueurs phénotypiques et moléculaires « SSRs, RAPD» pour l'étude de la diversité génétique de quelques variétés algériennes de blé dur. Les troisièmes doctoriales, 21 avril 2015. Filière : Biologie Végétale et Ecologie. Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie. (Communication orale et affichée).

**KHENNAOUI, A ; DJEKOUN, A; BENBELKACEM,A; YKHLEF,N.** Diversité phénotypique et moléculaire du blé dur cultivé en Algérie : identification et caractérisation des accessions. Séminaire international sur la valorisation des ressources naturelles dans les zones semi-arides « potentialités et perspectives d'amélioration ». 22-23 Novembre 2016-M'sila, Algérie. (Communication affichée)

**KHENNAOUI, A; BELBEKRI, N; BENBELKACEM, A ; YKHLEF,N.** Contribution a la caractérisation et a l'identification d'une collection de blé dur (*triticum durum*.desf) dans la région de Constantine. 3ème congrès international CI SAN. 28-30 novembre 2017 – Constantine, Algérie. (Communication affichée)

**KHENNAOUI, A; Belbekri, N; YKHLEF, N.** Caractérisation moléculaire du blé dur (*triticum durum* desf.) à travers les marqueurs SSR. Le 1<sup>er</sup> congrès international sur les biotechnologies au service du développement durable. Le 24-25 Octobre 2017. Université Boumerdes, Algérie. (Communication affichée)

<b>Nom et prénom : KHENNAOUI Amina</b>		<b>Date de soutenance : 05/03/2018</b>	
<b>Thème : Diversité phénotypique et moléculaire du blé dur cultivé en Algérie : identification et caractérisation des accessions.</b>			
<b>Nature du diplôme : Doctorat 3ème cycle en Biotechnologie, Biologie et Environnement, option « Biologie et Génomique Végétales »</b>			
<b>Résumé</b>			
<p>L'amélioration génétique des traits agronomiques liés à la performance et à l'adaptation aux environnements est conditionnée par la présence d'une variabilité génétique et phénotypique des caractères ciblés dans le matériel végétal soumis à la sélection. Dans ce travail trois essais ont été réalisés sur une collection de 26 variétés de blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.) de diverses origines. Le premier essai a été réalisé durant la campagne 2011/2012 sur le site de la station ITGC el Khroub représentant les hautes plaines orientales algérienne, en condition pluviales. Pour évaluer l'ampleur de la variabilité phénotypique en vue d'une future utilisation. Divers paramètres phénologiques et physiologiques (précocité à l'épiaison et date de maturité, température du couvert végétal, teneur relative en eau), agronomiques (NTE ; NTH ; NTE/NTH), ainsi des caractères morphologiques quantitatifs (hauteur de la plante, la surface foliaire, longueur de barbes, longueur de l'épi) et qualitatifs (couleur de l'épi et barbes et pilosité des glumes) ont été étudiés chez les variétés de blé dur. Les résultats obtenus révèlent des différences variétales hautement significatives pour l'ensemble des paramètres mesurés.</p> <p>Le deuxième essai a été conduit durant la campagne 2012/2013 sur le même site d'expérimentation précédente ; afin de comparer la production et la performance de variétés étudiées dans des conditions climatiques différentes. Un effet significatif années et variétés a été révélé pour l'ensemble de paramètres, nos résultats montrent que le stress thermique de fin de cycle induit une diminution du PMG. Le manque d'eau provoque une diminution du nombre d'épi par m<sup>2</sup>, et le nombre de grains par épi de toutes les variétés. Les variétés Hoggar et Tassili présentent de bonne capacité de production durant les deux essais comparés aux autres variétés. Des liaisons positives très hautement significatives sont notées entre le rendement en grains et le nombre de grains produit par unité de surface, et le nombre de grain par épi. L'analyse en composante principale, décrivant 77.36% de variation totale, ainsi qu'une classification hiérarchique présentant la répartition des génotypes selon leurs variations phénotypiques ont montré l'existence de trois groupes distincts. Le premier constitué de variétés anciennes renfermant des capacités d'adaptation aux conditions climatiques de la région d'étude, tardifs et de grande taille. En opposition avec les deux groupes formés par des variétés du (CIMMYT et ICARDA, Italie), caractérisées par une taille réduite, une précocité à l'épiaison, et dotés de valeurs plus élevées de l'ensemble des composantes du rendement.</p> <p>Le troisième essai a été mené dans cette étude afin d'évaluer la diversité génétique des variétés blé dur en utilisant deux types de marqueurs moléculaires (SSR et RAPD). Au total, 44 et 30 allèles ont été générés par 10 amorces SSR et 05 amorces RAPD respectivement. Les résultats obtenus par l'utilisation des microsatellites, met en évidence une variabilité au sein des 26 variétés. Révèlent une diversité allélique importante se caractérisant par des valeurs du contenu informatif du polymorphisme (PIC) assez élevées, les plus hautes sont obtenues par les amorces <i>WMC 307</i> et <i>BARC 142</i> avec (0.85 et 0.73) respectivement, et en accord avec le nombre important d'allèles polymorphes détectés chez les variétés avec une moyenne de 11.8 allèles, ceci consolide et justifie le choix d'utiliser ces amorces pour analyser nos variétés de blé dur. La classification des variétés selon la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic averaging) a montré une large diversité génétique, peuvent être utilisées dans le choix de parents dans le programme d'amélioration. Les variétés de blé modernes ont divergé du blé dur algérien et italien en deux principaux clusters distincts. Les résultats estimés par les marqueurs RAPD révèlent également un polymorphisme génétique exprimé par un PIC (0.31) et index de diversité de Shannon (0.410). De plus l'AMOVA (Analyse de la variance moléculaire) a montré que la variation génétique au sein des groupes représente 97% (<math>\Phi_{PT} = 0,173</math> p &lt; 0,05).</p> <p><b>Mots clés :</b> traits agro- morphologiques, <i>Triticum durum</i>, rendement, diversité génétique, SSR, RAPD.</p>			
<b>Laboratoire de recherche : Génétique, Biochimie et Biotechnologie Végétale- UFM.</b>			
<b>Membre du jury :</b>			
<b>Encadreur : Pr. N. YKHLEF</b>	<b>Université des Frères Mentouri</b>	<b>Constantine</b>	
<b>Président : Pr. A. DJEKOUN</b>	<b>Université des Frères Mentouri</b>	<b>Constantine</b>	
<b>Examineurs : Pr. M. HAFSI</b>	<b>Université Ferhat Abbas</b>	<b>Sétif</b>	
<b>MCA. R. BOUSBA</b>	<b>Université des frères Mentouri</b>	<b>Constantine</b>	
<b>Dr. A. BENBELKACEM</b>	<b>Directeur de recherche INRA</b>	<b>Constantine</b>	