



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Frères Mentouri Constantine -1-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie et Ecologie Végétale



N° d'ordre :

N° de série :

## Thèse

*En vue de l'obtention du*

DIPLOME DE DOCTORAT 3<sup>ème</sup> CYCLE

**Filière** : Sciences Biologiques

**Spécialité** : Biodiversité et Amélioration génétique des plantes

Présentée par :

**BOUDERSA Nabil**

## Thème

**Diversité biologique, biochimique, phytochimique  
et génétique chez deux genres de céréales  
(*Triticum* et *Hordeum*)**

Soutenue le : 12/ 05 / 2022

Devant le jury

**Président** : BAKA Mebarek

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

**Directrice de thèse** : CHAIB Ghania

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

**Examineurs** : BOUDOUR Leila

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

HAMIDECHI M<sup>ed</sup>A.EL Hafid

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

HAZMOUNE Tahar

**Prof.** Université 20 Aout 1955, Skikda.

Année universitaire : 2021/2022



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Frères Mentouri Constantine -1-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie et Ecologie Végétale



N° d'ordre :

N° de série :

## Thèse

*En vue de l'obtention du*

DIPLOME DE DOCTORAT 3<sup>ème</sup> CYCLE

**Filière** : Sciences Biologiques

**Spécialité** : Biodiversité et Amélioration génétique des plantes

Présentée par :

**BOUDERSA Nabil**

## Thème

**Diversité biologique, biochimique, phytochimique  
et génétique chez deux genres de céréales  
(*Triticum* et *Hordeum*)**

Soutenue le : 12/ 05 / 2022

Devant le jury

**Président** : BAKA Mebarek

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

**Directrice de thèse** : CHAIB Ghania

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

**Examineurs** : BOUDOUR Leila

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

HAMIDECHI M<sup>ed</sup>A.EL Hafid

**Prof.** Université Frère Mentouri, Constantine 1.

HAZMOUNE Tahar

**Prof.** Université 20 Aout 1955, Skikda.

Année universitaire : 2021/2022

## Remerciements

*La louange est à Allah, à qui j'adresse mes amples remerciements, sans sa miséricorde ce travail n'aura pas abouti.*

*Au terme de ce travail, mes profonds remerciements vont à mon directeur de thèse le professeur **CHAIB Ghania** de l'université Frère Mentouri Constantine 1, pour avoir suivi et dirigé en toute modestie ce travail, son encadrement était le plus exemplaire. Qu'elle trouve ici le témoignage d'une profonde gratitude pour sa disponibilité, sa patience, sa gentillesse et ses précieux conseils.*

*Mes vifs remerciements vont au professeur **BAKA Mebarek** qui m'a fait l'honneur de présider le jury.*

*J'adresse mes sincères remerciements au professeur **BOUDOUR Leila** pour tous ses efforts, ses idées, ses orientations, ses remarques, ses conseils précieux et pour avoir bien voulu participer à ce jury.*

*Mon immense gratitude et mon grand respect au Professeur **HAMIDECHI M<sup>ed</sup> A. EL HAFID** pour l'aide et le temps qu'il m'a apporté tout au long de ce travail, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements ainsi que sa gentillesse et ses qualités humaines et pour son consentement à examiner ce travail comme un membre de jury.*

*J'exprime ma reconnaissance au professeur **HAZMMOUNE Tahar** d'avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie de mon jury.*

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur le professeur **DEHIMAT Laid**, Doyen de la faculté des sciences de la Nature et de la Vie que pour leur soutien, leur conseils précieux et encouragements.*

*Mes remerciements vont aussi au Pr. **HAMMOUDA Dounia**, Dr. **BOUCHIBI-BAAZIZ Nacera**, Dr. **MOKRANI EL Hassen**, Dr. **TENIOU Soumia**, Dr. **KLIBET Fahima** et Dr. **BOUCHLOUKH Warda** pour leurs aides et leurs conseils, J'adresse Particulièrement mes remerciements à Mr. **Rouabah Abd elKader**, Mr. **MERAIHIA Djamel**, Dr. **MEDJROUBI Mohamed Larbi**, Dr. **CHORFIA Radia**, M<sup>elle</sup> **DGEGHIM Hanène** et M<sup>elle</sup> **ZEGHAD Madiha**.*

*Je tiens également à remercier très spécialement tout le personnel technique et administratif de la faculté des sciences de la Nature et de la Vie, pour leur aide précieuse afin de réaliser ce travail, un grand merci à vous tous.*

*Mes plus sincères remerciements sont aussi dressés au personnel de CRBt et en particulier Mr. **SMAALI Med El Amine** et Dr. **KERROUME Fatima**.*

*J'exprime également mes remerciements à tout le personnel de l'**ITGC** de Constantine et toutes les personnes qui m'ont aidé et qui m'ont encouragé afin de finaliser ce travail.*

*Enfin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.*

## Dédicaces

*Je dédie ce travail en premier lieu à la mémoire de ma très  
chère mère*

*A mon très cher père*

*A mon épouse,*

*Sans ton aide et tes encouragements, ce travail n'aurait vu le  
jour. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein  
et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance.*

*A ma petite princesse **ZAHRA QUATRE EL NADA***

*A mes Chères frères et mes sœurs*

*A ma belle-famille*

*A tous mes amis et collègues*

*Ayoub, Halima, Aicha, Hanane, Fatima, Houssine, Ibrahim,  
Ammar boufraioua, Tahar, Issam, Ramzi, Khaled, Rabeah,  
Samir, Soufian, Billel, Mouhamed, Fares, Ramzi, Ammar ben  
atia, Sebti, Ammar boughachiche, Nabil, Badr eddine, Yasser,  
Fethi, Seddik.....*

*A la mémoire de ceux qui nous ont quittés : Mr. **KHALEF** Fares,  
Mr. **HAFI** Ammar et Mr. **FARHATI** laid.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de prêt ou de loin à réaliser ce travail,  
Je vous remercie infiniment.*

*Nabil*



# Sommaire

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction .....	01

## Chapitre I : Revue bibliographique

<b>1. Concept de la biodiversité</b> .....	03
1.1. Niveaux de la biodiversité.....	03
1.2. Mesure de la biodiversité.....	04
1.3. Biodiversité et changement climatique.....	05
<b>2. Origine et historique de la céréaliculture</b> .....	06
2.1. Origine et historique du blé dur et du blé tendre.....	06
2.2. Origine et historique de l'orge.....	08
<b>3. Classification botanique</b> .....	09
<b>4. Description botanique</b> .....	10
4.1. Appareil végétatif herbacé.....	10
4.2. Cycle végétatif de la céréale.....	13
<b>5. Place et importance de la céréaliculture en agriculture algérienne</b> .....	15
5.1. La répartition géographique de production céréalière en Algérie.....	17
5.2. Problématique de la production des céréales en Algérie.....	18
<b>6. Mécanismes de production et d'adaptation</b> .....	19
6.1. Notion de production.....	19
6.1.1. Caractères de production.....	19
6.2. Notion d'adaptation.....	22
6.2.1. Caractères d'adaptation.....	22

6.2.1.1. Paramètres phénologiques.....	23
6.2.1.2. Paramètres morphologiques.....	23
6.2.1.3. Paramètres physiologiques.....	25
6.2.1.4. Paramètres biochimiques.....	26
<b>7. Peroxidation lipidique membranaire.....</b>	<b>29</b>
<b>8. Grain de céréale.....</b>	<b>30</b>
8.1. Caractéristiques histologiques des grains de céréales.....	30
8.2. Composition chimique des différentes parties du grain.....	31
<b>9. Les protéines du grain de l'orge et du blé.....</b>	<b>32</b>
9.1. Les protéines de réserves du blé.....	33
9.2. Les protéines de réserves de l'orge.....	33
<b>10. Méthode de mise en évidence des protéines.....</b>	<b>35</b>
10.1. Electrophorèse des protéines.....	35
10.2. Principe.....	36

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

<b>1. Matériel végétal.....</b>	<b>37</b>
<b>2. Conditions de culture.....</b>	<b>37</b>
2.1. Localisation de l'expérience.....	37
2.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol de la zone d'expérimentation.....	38
2.3. Mise en place de l'essai.....	38
2.4. Caractéristique climatiques du site.....	40
<b>3. Conduite des expériences.....</b>	<b>40</b>
3.1. <b>Expérimentation I</b> : Evaluation de la diversité agronomique, phéno- morphologique, physiologique, biochimique et phytochimique chez deux genres céréaliers ( <i>Triticum</i> et <i>Hordeum</i> ).....	40
3.1.1. L'étude phénologique.....	40
3.1.2. L'étude agronomique.....	41
3.1.3. L'étude morphologique.....	42

3.1.4. L'étude physiologique.....	42
3.1.5. L'étude biochimique.....	43
3.1.6. L'étude phytochimique.....	47
<b>3.2. Expérimentation II : Evaluation du polymorphisme protéique chez deux genres céréaliers (<i>Triticum</i> et <i>Hordeum</i>).....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Extraction des protéines.....	51
3.2.2. Préparation des gels.....	52
3.2.3. Tampon d'électrophorèse.....	53
3.2.4. Dépôt des échantillons.....	53
3.2.5. Migration.....	53
3.2.6. Coloration et décoloration.....	53
3.2.7. Lecture et analyse des gels.....	54
<b>4. Traitement et analyse statistique.....</b>	<b>54</b>

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

<b>1. Conditions climatiques.....</b>	<b>55</b>
<b>2. Analyse du comportement variétal des trois espèces étudiées au cours des deux années d'essai.....</b>	<b>56</b>
2.1. En terms de productivité.....	56
2.2. En terms d'adaptabilité.....	63
<b>3. Traitement et analyse statistique.....</b>	<b>79</b>
3.1. Analyse en Composantes Principales (ACP).....	79
3.1.1. Blé dur.....	79
3.1.2. Blé tendre.....	89
3.1.3. Orge.....	99
3.2. Analyse des corrélations inter-caractères.....	107
<b>4. Analyse du polymorphisme protéique chez les variétés étudiées.....</b>	<b>116</b>
4.1. Blé dur.....	116
4.2. Blé tendre.....	119

4.3. Orge.....	122
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>128</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>134</b>
<b>Annexes.</b>	
<b>Articles et Communications Scientifiques.</b>	

## Résumé

La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C) d'El Khroub, wilaya de Constantine au cours des deux campagnes agricoles 2017/2018 et 2018/2019. Elle avait pour objectif d'évaluer la diversité biologique chez deux genres céréaliers (*Triticum* et *Hordeum*) afin d'identifier les traits de base qui peuvent être exploités en amélioration de ces céréales d'une part. D'autre part d'analyser et de mettre en évidence les différents liens enregistrés entre les paramètres étudiés, qui peuvent apporter une contribution dans les programmes d'amélioration de la productivité et de l'adaptation de ces céréales. L'étude a remis une vue globale des comportements de neuf variétés étudiées vis-à-vis des conditions environnementales et de distinguer les plus performantes et les moins affectées par les contraintes expérimentales. Les résultats obtenus soutenus par les analyses statistiques effectuées, ont révélé clairement une importante variation génotypique pour l'ensemble des caractères étudiés, ceux qu'indique l'existence d'une variabilité intra et interspécifique considérable qui doit être préservée et améliorée afin qu'elle puisse être utilisée dans des programmes visant à améliorer la productivité et l'adaptation. L'analyse en composantes principales (ACP) génère la variation des deux campagnes agricoles avec un taux optimal de 72,83 ; 85,30 et 85,08% d'information chez les trois espèces respectivement *T.durum*, *T. aestivum* et *Hordeum vulgare*. Cette information présente une bonne base d'interprétation de la typologie des variétés évaluées et des relations entre les différentes variables mesurées. De plus, il a également montré que le rendement en grains est lié positivement avec ses composantes, la surface de la feuille étandard et la teneur des feuilles en pigments chlorophylliens. Alors que l'adaptation et la tolérance aux stress sont liées à la précocité d'épiaison, la hauteur de plante, la teneur relative en eau, le contenu des feuilles en osmolytes et en métabolites secondaires et le niveau de dommage cellulaire. Une sélection indirecte via ces traits peut être bénéfique pour les programmes d'amélioration de la production et d'adaptation. Dans l'ensemble, les variétés GTA dur du blé dur, la variété ARZ du blé tendre et la variété Fouara de l'orge présentent les meilleurs caractères de production au cours des deux campagnes d'étude et peuvent de ce fait être proposées dans les régions de la production des céréales. Alors que, les variétés Bousselem, Hidhab et Saida sont avérées plus stables et possèdent des potentialités à minimiser la variation du rendement grain, ces variétés peuvent être recommandées à plusieurs zones agro-climatiques. Quant au reste des variétés étudiées (Vitron, Ain abid et Barbe rousse), elles ont montré l'avantage de tolérer les stress et sont donc recommandées pour les environnements contraignants et moins favorables. L'analyse des protéines totales des grains par la technique électrophorèse (SDS-PAGE) au cours des deux campagnes d'étude chez les deux genres (*Triticum* et *Hordeum*), a démontré un polymorphisme considérable équivalent à 75,00 ; 84,21 et 83,33% chez les trois espèces *T.durum*, *T.aestivum* et *Hordeum vulgare* respectivement sous conditions favorables durant la première campagne. Contrairement, aux conditions plus sévères, à la deuxième campagne, ce polymorphisme décroît en enregistrant un taux de 52,94 ; 42,85 et 68,75% chez les trois espèces, successivement. Ceci est nettement illustré par les profils et la classification hiérarchique ascendante (CHA) des protéines des grains obtenus chez les différentes variétés, qui ont révélé une différence dans le nombre de bandes protéiques, leurs poids moléculaires et leurs densités, ainsi que dans la structuration des groupes et le positionnement des variétés dans les deux campagnes agricoles. Cette analyse a mis en évidence l'existence d'une variabilité génotypique pour les protéines totales des grains. Ces dernières peuvent donc constituer des critères potentiels d'amélioration et ouvrent de nouvelles perspectives pour les sélectionneurs. Cette étude a permis de conclure que pour mieux contrôler la productivité et l'adaptation des céréales dans les zones arides et semi-arides, il est nécessaire de caractériser le milieu de production d'une façon complète et précise pour identifier les stress les plus fréquents auxquels la culture est sujette. En outre, l'application d'une meilleure gestion des itinéraires techniques établies et d'avoir des connaissances plus approfondies sur la diversité des plantes et sur leurs comportements sous conditions limitantes afin d'obtenir des variétés plus productives, mieux adaptées, et plus régulières.

**Mots clés :** *Triticum*, *Hordeum*, Diversité biologique, Production, Adaptation, Protéines totales.

## Abstract

This study was conducted at the Experimental Station of the Technical Institute of Field Crops (I.T.G.C.) of El Khroub, wilaya of Constantine during the two agricultural campaigns ; 2017/2018 and 2018/2019. The aim of this investigation was, on the one hand, to assess the biological diversity in two cereal genera (*Triticum* and *Hordeum*) in order to identify the basic traits that can be exploited in improving these cereals. On the other hand, to analyze and highlight the various links recorded between the studied parameters, which can make a contribution to the applied programs for improving both productivity and adaptation of these cereals. In fact, the present study provided an overview on the nine studied varieties' behaviors, in relation to the environmental conditions, to distinguish the most efficient and the least affected varieties by these experimental constraints. The obtained results, supported by the carried out statistical analyses, clearly revealed a significant genotypic variation for all the tested characteristics, those indicated by the existence of significant intra- and inter-species variability ; which must be preserved and improved ; so it can be used in programs to improve the productivity and the adaptation. The principal component analysis (PCA) generated the variation of the two agricultural campaigns with an optimal rate of information equal to 72.83, 85.30, and 85.08% in the three species *T. durum*, *T. aestivum*, and *Hordeum vulgare* ; respectively. This information presents a good basis for interpreting the typology of the evaluated varieties and the relationships between their different measured variables. Besides, it was also shown that the grain yield is positively related with its components ; the surface of the flag leaf and the content of the leaves in chlorophyll pigment. While adaptation and tolerance to stress are related to early onset of heading, plant height, relative water content, leaves osmolyte and secondary metabolites content, as well as level of cellular damage. Indirect selection via these traits can be beneficial for breeding and adaptation programs. On the whole, the three varieties ; GTA dur of durum wheat, ARZ of bread wheat, and Fouara of barley revealed the best production characteristics during the two studied periods and can therefore be proposed in the regions of cereal production. While Bousselem, Hidhab, and Saida varieties have proven to be more stable and have the potential to minimize variation in grain yield. These varieties can be recommended for several agro-climatic zones. However, the other studied varieties (Vitron, Ain abid, and Barbe rousse) have shown the advantage of tolerating stresses and are, therefore, recommended for restrictive and less favorable environments. Besides, the analysis of the total grain proteins in the two genera (*Triticum* and *Hordeum*), by the electrophoresis technique (SDS-PAGE) during the two campaigns of study, demonstrated a considerable polymorphism equal to 75, 84.21, and 83.33% for the three species *T. durum*, *T. aestivum*, and *Hordeum vulgare*; consecutively, under favorable conditions during the first campaign. On the contrary, in more severe conditions in the second campaign, this polymorphism was decreased recording a rate of 52.94, 42.85, and 68.75% in the three species, successively. This finding is clearly illustrated by the profiles and the ascending hierarchical classification (AHC) of the obtained grain proteins in the different varieties, in which the difference in the number of protein bands, their molecular weights, their densities, the structuring of the proteins groups, and the positioning of the varieties in the two agricultural campaigns was revealed. This analysis exhibited the existence of genotypic variability for the total grain proteins. This latter can therefore constitute potential criteria for improvement and open up new perspectives for breeders. In fact, this investigation allowed to conclude that in order to better control the productivity and the adaptation of cereals in both arid and semi-arid areas, it is necessary to characterize the production environment in a complete and a precise way; to identify the most frequent stresses; in which the culture is subjected. In addition to good management of established technical itineraries and acquisition of deeper knowledge of plants diversity and behavior under stressful conditions; in order to obtain more productive, better adapted, and more regular varieties.

**Key words:** *Triticum*, *Hordeum*, Biological diversity, Production, Adaptation, Total proteins.

## ملخص

أجريت هذه الدراسة في المحطة التجريبية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (I.T.G.C) بالخروب ولاية قسنطينة خلال الموسمين 2018/2017 و2019/2018. كان هدفها هو تقييم التنوع البيولوجي لجنسين من النجيليات (*Hordeum* و *Triticum*) من أجل تحديد السمات الأساسية التي يمكن استغلالها في تحسين هذه النجيليات من ناحية ومن ناحية أخرى، تحليل وإبراز الروابط المختلفة المسجلة بين المعايير المدروسة والتي يمكن أن تساهم في برامج تحسين إنتاجية هذه النجيليات وتكيفها. سمحت الدراسة، بإعطاء نظرة عامة لسلوك التسعة أصناف المدروسة اتجاه الظروف البيئية وتمييز أفضلها أداءً وأقلها تأثيراً بالقيود التجريبية. كشفت النتائج التي تم الحصول عليها والمدعومة بالتحاليل الإحصائية التي تم إجراؤها، بوضوح عن تباين وراثي مهم لجميع الصفات المدروسة، مما يشير إلى وجود تباين كبير داخل وخارج النوع ووجب الحفاظ عليه وتثمينه من أجل استعماله في البرامج التي تهدف إلى تطوير الإنتاجية والتكيف. عبر تحليل المكونات الرئيسية (ACP) عبر عن تباين في المعلومات خلال الموسمين الزراعيين بمعدل 72,83؛ 85,30 و 85,08% عند القمح الصلب، القمح اللين و الشعير على الترتيب. تقدم هذه المعلومات أساساً جيداً لتوصيف وتصنيف الأصناف التي تم تقييمها وتفسير العلاقات بين المتغيرات المختلفة التي تم قياسها. كما بين أن عائد الحبوب يرتبط ارتباطاً إيجابياً بمكوناته، مساحة الورقة العلم ومحتوى الأوراق من صبغات الكلوروفيل، بينما يرتبط التكيف والتسامح مع الاجهاد بالتبكير في الاسبال، ارتفاع النبات، محتوى الماء النسبي، محتوى الأوراق من منظمات الأسموز ونواتج الايض الثانوي ومستوى التلف الخلوي، يمكن ان يكون الانتخاب غير المباشر على أساس هذه السمات مفيداً بشكل عام في عمليات تحسين الإنتاجية والتكيف. تميز صنف GTA dur من القمح الصلب وصنف ARZ من القمح اللين وصنف Fouara من الشعير بأفضل خصائص الإنتاج خلال موسمي الزراعة وبالتالي يمكن اقتراحها في مناطق إنتاج الحبوب. بينما أثبتت أصناف Bousselem، Hidhab و Saida أنها أكثر استقراراً ولديها القدرة على تقليل التباين في محصول الحبوب ومنه يمكن التوصية بهذه الاصناف للعديد من المناطق المناخية الزراعية. أما بالنسبة لبقية الأصناف المدروسة (Ain abid، Vitron و Barbe rousse)، فقد أظهرت ميزة تحمل الاجهاد ولذلك يوصى بها للبيئات المعيقة والأقل ملاءمة. أظهر تحليل البروتينات الكلية بواسطة تقنية الرحلان الكهربائي (SDS-PAGE) خلال موسمي الدراسة عند كلا الجنسين (*Triticum* و *Hordeum*) تعدد أشكال معتبر، قدر ب: 75,00 و 84,21 و 83,33% عند الأنواع الثلاثة القمح الصلب، القمح اللين والشعير على التوالي في ظل الظروف المواتية خلال الموسم الأول. على عكس الظروف الأكثر اجهداً، في الموسم الثاني، حيث يقل تعدد الأشكال من خلال تسجيل 52,94؛ 42,85 و 68,75% في الأنواع الثلاثة على التوالي. ويتجلى هذا بوضوح من خلال الملامح والتصنيف الهرمي التصاعدي (CHA) لبروتينات الحبوب التي تم الحصول عليها في الأصناف المختلفة، إذ كشفت عن اختلاف في عدد نطاقات البروتين، أوزانها الجزيئية وكثافتها، وكذلك في هيكل المجموعات ومواقع الأصناف في الموسمين الزراعيين، أظهر هذا التحليل وجود تباين وراثي للبروتينات الكلية، يمكن لهذه الأخيرة أن تشكل معايير محتملة للتحسين وفتح آفاق جديدة للمربين. خلصت هذه الدراسة إلى أنه من أجل التحكم بشكل أفضل في إنتاجية الحبوب وتكيفها في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، فإنه من الضروري وصف بيئة الإنتاج بطريقة كاملة ودقيقة لتحديد الاجهادات الأكثر شيوعاً التي تخضع لها الزراعة، بالإضافة إلى التطبيق الجيد للتقنيات المعمول بها وحياسة معرفة أعمق بتنوعه النباتات وسلوكها في ظل ظروف مجهد من أجل الحصول على أصناف أكثر إنتاجية وأفضل تكيفاً وأكثر انتظاماً.

**الكلمات المفتاحية:** القمح (*Triticum*)، الشعير (*Hordeum*)، التنوع البيولوجي، الإنتاج، التكيف، البروتينات الكلية.

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 01.</b>	Classification des céréales.....	09
<b>Tableau 02.</b>	Composition chimique des grains de céréales (%)......	31
<b>Tableau 03.</b>	Nom, Pédigrée et l'origine des variétés étudiées.....	37
<b>Tableau 04.</b>	Les caractéristiques physico- chimiques du sol.....	38
<b>Tableau 05.</b>	Principales caractéristiques de l'essai durant les deux campagnes.....	40
<b>Tableau 06.</b>	Pluviométrie et températures des campagnes (2017 / 2018) et (2018 / 2019).....	55
<b>Tableau 07.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Blé dur ; campagne 2017/2018)....	82
<b>Tableau 08.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé dur ; campagne 2017/2018).....	82
<b>Tableau 09.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Blé dur ; campagne 2018/2019)....	84
<b>Tableau 10.</b>	Groupes homogènes selon le test de Dunnett. (Blé dur ; campagne 2018/2019).....	85
<b>Tableau 11.</b>	Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable PMG. (Blé dur).....	86
<b>Tableau 12.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	87
<b>Tableau 13.</b>	Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	87
<b>Tableau 14.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Blé tendre ; campagne 2017/2018).	91
<b>Tableau 15.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre ; campagne 2017/2018).....	91
<b>Tableau 16.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Blé tendre ; campagne 2018/2019).	93
<b>Tableau 17.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre ; campagne 2018/2019).....	94
<b>Tableau 18.</b>	Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable du PMG. (Blé tendre).....	96
<b>Tableau 19.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	97
<b>Tableau 20.</b>	Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	97
<b>Tableau 21.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Orge ; campagne 2017/2018).....	101
<b>Tableau 22.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K (Orge ; campagne 2017/2018).....	101
<b>Tableau 23.</b>	Test d'homogénéité des variances. (Orge ; campagne 2018/2019).....	103

<b>Tableau 24.</b>	Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Orge ; campagne 2018/2019).....	104
<b>Tableau 25.</b>	Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable Chlt. (Orge).....	105
<b>Tableau 26.</b>	Groupes homogènes de l'effet variété selon le test de S-N-K. (Orge pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	106
<b>Tableau 27.</b>	Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Orge pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).....	106
<b>Tableau 28.</b>	Présentation des bandes protéique révélées chez les grains des variétés de blé dur.....	118
<b>Tableau 29.</b>	Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés de blé dur.....	118
<b>Tableau 30.</b>	Présentation des bandes protéique révélées chez les grains des variétés de blé tendre.....	121
<b>Tableau 31.</b>	Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés de blé tendre.....	121
<b>Tableau 32.</b>	Présentation des bandes protéique révélées chez les grains des variétés d'orge.....	124
<b>Tableau 33.</b>	Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés d'orge.....	125

## Liste des figures

---

<b>Figure 01.</b>	Origines possibles de blé.....	08
<b>Figure 02.</b>	Morphologie des graminées.....	12
<b>Figure 03.</b>	Cycle de développement d'une céréale.....	15
<b>Figure 04.</b>	Production des céréales en Algérie.....	16
<b>Figure 05.</b>	Zones de production des céréales en Algérie.....	17
<b>Figure 06.</b>	Influence du milieu et des techniques culturales sur les composantes du rendement.....	21
<b>Figure 07.</b>	Anatomie d'un grain de céréale.....	32
<b>Figure 08.</b>	Représentation schématique des protéines du blé et de l'orge.....	35
<b>Figure 09.</b>	Situation géographique de la zone d'étude.....	38
<b>Figure 10.</b>	Schéma du dispositif d'étude.....	39
<b>Figure 11.</b>	Formation de malondialdéhyde suite à la progression de la chaîne de peroxydation des lipides en réponse à un stress oxydatif.....	45
<b>Figure 12.</b>	Réaction de condensation du MDA avec l'acide Thiobarbiturique.....	46
<b>Figure 13.</b>	Schéma illustrant les différentes étapes d'extraction.....	48
<b>Figure 14.</b>	Principe de la réduction du réactif de Folin-Cioecalteu.....	49
<b>Figure 15.</b>	Protocole d'extraction des protéines totales.....	52
<b>Figure 16.</b>	Diagramme Ombrothermique des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	56
<b>Figure 17.</b>	Variation du nombre d'épis par mètre carré chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	57
<b>Figure 18.</b>	Variation du nombre de grains par épis chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	59
<b>Figure 19.</b>	Variation du poids de mille grains chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	60
<b>Figure 20.</b>	Variation du rendement en grains chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	62
<b>Figure 21.</b>	Variation des durées d'épiaison chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	64
<b>Figure 22.</b>	Variation de la surface foliaire chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	66
<b>Figure 23.</b>	Variation de la hauteur de la plante chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	67
<b>Figure 24.</b>	Variation de teneur relative en eau chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	69

<b>Figure 25.</b>	Variation de la chlorophylle totale chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	71
<b>Figure 26.</b>	Variation de la proline chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	72
<b>Figure 27.</b>	Variation des sucres solubles chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	73
<b>Figure 28.</b>	Variation du malondialdéhyde chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	75
<b>Figure 29.</b>	Variation des polyphénols chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	76
<b>Figure 30.</b>	Variation des taux d'inhibition du DPPH chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).....	78
<b>Figure 31.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur (Campagne 2017/2018).....	80
<b>Figure 32.</b>	Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018).....	81
<b>Figure 33.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur. Campagne (2018/2019).....	83
<b>Figure 34.</b>	Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019).....	84
<b>Figure 35.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	85
<b>Figure 36.</b>	Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	86
<b>Figure 37.</b>	Comparaison graphique des moyennes pour le PMG sur deux campagnes chez le blé dur.....	88
<b>Figure 38.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. Campagne (2017/2018).....	89
<b>Figure 39.</b>	Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018).....	90
<b>Figure 40.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. Campagne (2018/2019).....	92
<b>Figure 41.</b>	Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019).....	93
<b>Figure 42.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	95
<b>Figure 43.</b>	Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	96
<b>Figure 44.</b>	Comparaison graphique des moyennes pour le PMG sur deux années chez le blé tendre.....	97

<b>Figure 45.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. Campagne (2017/2018).....	99
<b>Figure 46.</b>	Distribution des variétés d'orge en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018).....	100
<b>Figure 47.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. Campagne (2017/2018).....	102
<b>Figure 48.</b>	Distribution des variétés d'orge en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019).....	103
<b>Figure 49.</b>	Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	104
<b>Figure 50.</b>	Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).....	105
<b>Figure 51.</b>	Comparaison graphique des moyennes pour la Chlt sur deux campagnes chez l'orge.....	106
<b>Figure 52.</b>	Profil des protéines totales des graines de blé dur en utilisant SDS-PAG. (M) marqueur de taille, (B) Bousselem, (G) GTA dur, (V) Vitron.....	117
<b>Figure 53.</b>	Classification hiérarchique des protéines totales de blé dur. (A) Campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.....	119
<b>Figure 54.</b>	Profil des protéines totales des graines de blé dur en utilisant SDS-PAG. (M) marqueur de taille, (ARZ) ARZ, (AS) Ain abid, (HD) Hidhab.....	120
<b>Figure 55.</b>	Classification hiérarchique des protéines totales de blé tendre. (A) campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.....	122
<b>Figure 56.</b>	Profil des protéines totales des graines de blé dur en utilisant SDS-PAG. (M) marqueur de taille, (F) Fouara, (Br) Barbe rousse, (S) Saida.....	124
<b>Figure 57.</b>	Classification hiérarchique des protéines totales d'orge. (A) campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.....	125

## Liste des abréviations

---

- AlCl<sub>3</sub>** : Trichlorure d'Aluminium.
- APG** : Angiosperm Phylogeny Group.
- APS** : Persulfate d'Ammonium.
- AS** : Ain abid.
- B** : Bousselem.
- Br** : Barbe rousse.
- Car** : Caroténoïdes.
- CHA** : Classification Ascendante Hiérarchique.
- Chla** : Chlorophylle a.
- Chlb** : Chlorophylle b.
- Chlt** : Chlorophylle total.
- CH<sub>3</sub>COOH** : Acide acétique.
- C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>** : Ninhydrine.
- ddl** : Degré de liberté.
- DEp.** : Date d'épiaison.
- DPPH** : 2, 2-diphenyl 1-picrylhydrazyl.
- ERO** : Espèces Réactives d'Oxygène.
- F** : Fouara.
- FAO** : Food and Agriculture Organization.
- Flavs** : Flavonoïdes.
- G** : GTA dur.
- HCl** : Acide chlorhydrique.
- HD** : Hidhab.
- HP** : Hauteur de la plante.
- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>** : Acide ortho-phosphorique.
- ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.
- LB** : Longueur des barbes.
- LC** : Longueur col d'épi.
- LE** : Longueur d'épi.
- M** : Marqueur de taille.

**MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

**MDA** : Malondialdéhyde.

**NaNO<sub>2</sub>** : Nitrite de Sodium.

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Sulfate de Sodium.

**Nb E/m<sup>2</sup>** : Nombre d'épis par mètre carré.

**Nb G/E** : Nombre de grains par épi.

**PMG** : Poids de mille grains.

**Polys** : Polyphénols.

**Pro** : Proline.

**Rdt** : Rendement en grains.

**S** : Saida.

**SAU** : Surfaces Agricoles Utiles.

**SDS** : Sodium Dodecyl Sulfate.

**SF** : Surface Foliaire.

**S-N-K** : Student–Newman–Keuls.

**Ss** : Sucres Solubles.

**TAE** : Tallage épi.

**TAH** : Tallage herbacés.

**Tans** : Tanins.

**TEMED** : Tetramethylethylenediamine.

**TBA** : Acide thiobarbiturique.

**TCA** : Acide trichloroacétique.

**TRE** : Teneur Relative en Eau.

**UPGMA** : Unweighted Pair Group with Mean arithmetic of Analysis.

**V** : Vitron

**%Inh** : Pourcentage d'inhibition.

A horizontal scroll graphic with a light gray fill and a dark gray outline. The scroll is unrolled in the center, with the word "Introduction" written in a bold, black, serif font. The left end of the scroll is rolled up, and the right end is also rolled up, with a small portion of the scroll visible underneath.

**Introduction**

La culture des céréales est très ancienne en Afrique du Nord, l'est particulièrement en Algérie. Elle occupe une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire et dans la consommation alimentaire des ménages.

En Algérie, la céréaliculture demeure une priorité stratégique dans le domaine de l'agriculture, en effet, en 2017, la superficie consacrée à la culture des céréales représentait plus de 3,5 millions d'hectares, soit environ 40 % des Surfaces Agricoles Utiles (SAU) mais le rendement en grains reste toujours très faible avec une production annuelle de 3,47 millions de tonnes et avec un rendement national de 9,90 qx/ha (FAOSTAT, 2019).

Cette faiblesse est souvent attribué au fait que la plupart des superficies emblavées en céréales, sont localisées dans les zones semi-arides qui se caractérisant par des pluies variables, aléatoires et déficitaires d'une part. D'autre part, à la perte de terres arables du fait des pressions humaines (croissance démographique, industrie, construction, pollution...) et du changement climatique qui induit une dégradation de la biodiversité et contribue à la fragilisation des sols et à la réduction de la couverture végétale, entraînant une désertification progressive (Chourghal et Tarik, 2020). A cela, s'ajoutent d'autres difficultés d'ordre technique qui relèvent de l'application d'itinéraires techniques souvent peu ambitieux et notamment l'utilisation de variétés rustiques, mais à faible performance.

Pour faire face à telles situations, il devient plus que nécessaire d'appliquer une meilleure gestion des itinéraires techniques (préparation du sol, date et dose de semis, irrigation, fertilisation, lutte contre les adventices, lutte contre les maladies) et d'avoir des connaissances plus approfondies du comportement de la plante sous conditions limitantes afin de développer de nouvelles variétés, capables de résister aux stress éventuelles (Munns *et al.*, 2012 ; Adjel *et al.*, 2013).

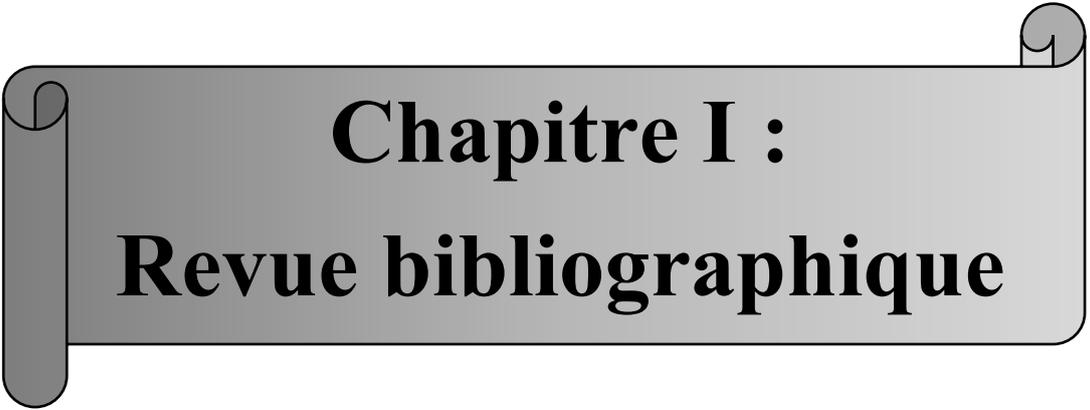
Actuellement, les programmes d'amélioration sont toujours focalisés sur l'amélioration du rendement, de la résistance aux stress biotiques et abiotiques et sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques pour répondre aux besoins des agriculteurs, des transformateurs et des consommateurs. La sélection directe basée sur le rendement a montré ses limites et sa faible efficacité en présence de l'interaction génotype x milieu (Bendjama *et al.*, 2014 ; Haddad *et al.*, 2016). De plus, la sélection pour la tolérance des stress est plus difficile à gérer, suite à l'absence de caractères fiables, reproductibles, utilisables comme marqueurs de l'adaptation à la variation des milieux de production.

Par conséquent, les sélectionneurs doivent choisir une stratégie d'action qui peut maximiser les chances de créer une bonne variété en utilisant au mieux, les ressources génétiques, les méthodes de sélection classiques ainsi que les nouvelles techniques de laboratoire. Cette stratégie exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques, biochimiques et agronomiques liés au rendement en condition défavorables. Plusieurs caractères sont rapportés dans la littérature comme ayant une liaison plus ou moins étroite avec la tolérance ou la performance sous conditions de stress. Parmi ces caractères, on trouve la date d'épiaison, la hauteur de la plante, la teneur relative en eau, l'accumulation des osmolytes, Protéines totales, le nombre d'épis par mètre carré, le poids de mille grains... la sélection indirecte via ces caractéristiques peut être efficace.

En outre, l'évaluation complète et la caractérisation des ressources génétiques forme une étape importante pour l'estimation de l'état de la variabilité génétique dans le temps dont la connaissance représente un préalable à l'amélioration variétale par des manipulations génétiques adéquates et nécessaires.

Le travail que nous proposons comprend deux objectifs principaux : (1) Evaluation de la diversité agronomique, phéno-morphologique, physiologique, biochimique et phytochimique chez deux genres céréaliers (*Triticum* et *Hordeum*). (2) Analyser et mettre en évidence les différents liens enregistrés entre les paramètres étudiés dans le but d'améliorer nos connaissances dans le but de mieux d'extraire les caractères les plus discriminants et les plus importants qui peuvent être utiles pour la classification et la caractérisation des variétés testées. Cette étude nous permet également d'identifier les variétés les plus intéressantes et les plus pertinentes, qui seraient en grande partie à l'origine du choix des génotypes adaptés aux conditions environnementales de la zone d'étude.

Cette thèse est inscrite sous un projet de recherche **PRFU** intitulé : Diversité Biologique, phytochimique et génétique chez deux genres des céréales (*Triticum* et *Hordeum*) **code** D01N01UN250120180006, et dans le cadre d'un projet ministériel Réseau Blé dur : **Recherche et Développement de la filière Blé dur** installé en partenariat avec la Direction des Services Agricoles (D.S.A) de la wilaya de Constantine.



**Chapitre I :**  
**Revue bibliographique**

## 1. Concept de la biodiversité

L'expression **biological diversity** a été inventée par Thomas Lovejoy en 1980, tandis que le terme **biodiversity** lui-même a été inventé par Walter G. Rosen en 1985 lors de la préparation du **National Forum on Biological Diversity** organisé par le National Research Council en 1986. Le mot « **biodiversité** » apparaît pour la première fois en 1988 dans une publication, lorsque l'entomologiste américain E.O. Wilson en fait le titre du compte rendu de ce forum.

En juin 1992, le sommet planétaire de Rio de Janeiro a marqué l'entrée en force sur la scène internationale de préoccupations et de convoitises vis-à-vis de la diversité du monde vivant. Au cours de la convention sur la diversité biologique qui s'est tenue le 5 juin 1992, la diversité biologique a été définie comme :

« La variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes» (Pipien, 2007).

En agriculture, la biodiversité a été très largement enrichie par l'homme à partir d'espèces sauvages qu'il a domestiquées depuis la préhistoire. L'homme a ainsi créé des variétés pour les plantes, il a largement recomposé le paysage. Il a sans cesse amélioré l'expression du patrimoine génétique des plantes cultivées pour leurs différents usages. Le patrimoine génétique des plantes est contenu dans les semences ou graines qui les transmettent (GNIS, 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 animale 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).

### 1.1. Les niveaux de la biodiversité

La notion de biodiversité a un caractère plus générale, plus unificateur que la notion de diversité (souvent qualifiée de spécifique) : il s'agit d'étudier à la fois la diversité au niveau des gènes, des espèces ou du paysage (Marty *et al.*, 2005).

- **La diversité génétique**

Elle se définit par la variabilité des gènes au sein d'une même espèce ou d'une population. Elle est donc caractérisée par la différence de deux individus d'une même espèce ou sous-espèce (diversité intra spécifique).

- **La diversité spécifique**

Elle correspond à la diversité des espèces (diversité interspécifique), voir taxonomie. La diversité spécifique fait référence à l'existence de plusieurs espèces différentes sur un même territoire de dimensions modestes (biotope : forêt, marécage, vallée).

- **La diversité éco systémique**

Elle correspond à la diversité des écosystèmes présents sur Terre, des interactions des populations naturelles et de leurs environnements physiques : la nature des sols, l'hydrographie, le climat, la topographie, et les grands cycles qui régulent ces systèmes. Ces mécanismes sont complexes, mais ce sont eux qui permettent la continuation de l'existence des espèces et la préservation de la biodiversité.

## **1.2. Mesure de la biodiversité**

Van kooten, (1998) note que trois aspects interviennent dans la mesure de la biodiversité : l'échelle, la composition et le point de vue (Oudjani ,2009).

### **1.2.1. L'échelle**

Il correspond aux différentes diversités à savoir alpha, bêta et gamma :

- **La diversité alpha** : est la richesse en espèces au sein d'un écosystème local. Elle correspond au nombre d'espèces coexistant dans un habitat uniforme de taille fixe.
- **La diversité bêta** : reflète la modification de la diversité alpha lorsque l'on passe d'un écosystème à un autre dans un site. Elle se réfère au taux de remplacement de l'espèce dans une zone géographique donnée. Ce taux de remplacement peut être calculé arbitrairement à partir de la composition à un point donné, ou en décrivant la distribution des espèces dans chaque zone.
- **La diversité gamma** : Convient à la richesse en espèces au niveau régional ou géographique. C'est une notion plus globale et un indicateur beaucoup plus tributaire des chocs mondiaux que des chocs locaux (incendies de forêt, par exemple) qui influent sur les diversités alpha et bêta.

Elle équivaut aux taux d'addition d'espèces lorsque l'on échantillonne le même habitat à différents endroits.

### **1.2.2. La composition**

Elle concerne la détermination de ce qui constitue une population minimum viable pour la survie d'une espèce. C'est une opération voisine de la fixation de normes minimum de la sécurité pour les espèces.

### **1.2.3. Le point de vue**

Il concerne l'attribution des valeurs de façon plus poussée. Il faut observer que les points de vue sont nécessairement subjectifs et chargés de valeurs et que certains critères de valeurs ont une importance théorique et juridique indépendamment de leur utilisation souhaitée ou de leur fondement éthique.

## **1.3. Biodiversité et changement climatique**

Beaucoup d'études ont été consacrées à la réponse de la biodiversité aux contraintes climatiques. Les données sur les mécanismes d'adaptation de la biodiversité envers ces changements climatiques, et surtout sur les limites de cette adaptabilité, restent éparses et leur compréhension encore limitée. Or, pour envisager l'évolution de la biodiversité face aux changements environnementaux, il faut une vue d'ensemble. En effet, un point essentiel est évidemment que la vitesse des éventuels mécanismes adaptatifs soit compatible avec l'échelle de temps des perturbations constituant le changement climatique. Au moins pour certains organismes, on connaît les taux de mutations génétiques. On dispose également de données à l'échelle des temps géologiques de l'ordre du million d'années, et de relevés historiques de l'ordre de la centaine d'années. On connaît de mieux en mieux les variations climatiques à l'échelle de 1000 ans (dernier optimum climatique médiéval), 10000 ans (dernière déglaciation), 100000 ans (cycles glaciaires de Milankovic), et une partie des variations de biodiversité associées, par exemple par des analyses des pollens déposés dans les sédiments lacustres (Davis *et al.*, 2003). Les échelles de temps auxquelles se produisent des modifications importantes du climat sont un aspect important de ces variations, aspect qu'il est difficile de cerner et qui nécessite la contribution de nombreuses disciplines Lavorel *et al.* (2017).

## 2. Origine et historique de la céréaliculture

Les céréales présentent l'avantage décisif de constituer des provisions pouvant se conserver sous forme de grains de grande valeur nutritionnelle par leurs substances amylacées et leurs protéines environ 10% (Doussinault *et al.*, 1992).

Les premières évidences archéologiques de récolte de céréales datent d'un peu moins de 8000 ans avant Jésus-Christ et se trouvent au Moyen-Orient dans le « croissant fertile » : Mésopotamie, Turquie et Palestine (Feldman, 1976). A cette époque, l'engrain (*Triticum boeoticum*) et l'amidonner (*Triticum dicoccoïdes*) faisaient l'objet de cueillette (Doussinault *et al.*, 1992).

Les premiers indices d'une agriculture apparaissent il y a 11.000 ans, au Moyen- Orient, au sud de l'Anatolie et au Nord de la Syrie. C'est là que les premiers agriculteurs se fixent et commencent à cultiver les blés que leurs ancêtres récoltaient dans la nature. Les formes sauvages de diverses espèces seraient originaires du Proche et du Moyen-Orient. Après s'être établie au Proche-Orient, la céréaliculture se répand vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil (Henry et De Buyser, 2001).

Le passage d'une civilisation de nomades (chasseurs, cueilleurs et éleveurs) à celles d'agriculteurs sédentarisés, est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées, le blé est indissociable de la culture Européenne, comme le maïs, le riz, le mil et le sorgho qui sont des cultures de l'Amérique latine, de l'Asie et de l'Afrique (Feillet, 2000).

### 2.1. Origine et historique du blé dur et du blé tendre

Trois céréales blé, riz et maïs constituent la base alimentaire des populations du globe. Durant le développement de la civilisation Indo-Européenne, le blé est devenu la principale céréale des peuples occidentaux sous climat tempéré (Henry et De Buyser, 2001).

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. Il accompagne l'homme et l'agriculture ; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000).

Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile, puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault *et al.*, 1992). C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de

diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule Italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001).

En Algérie, Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé, fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des français. Le fellah qui ne cultivait que le « guemh » (blé dur) se mit à la « farina » (Lery, 1982).

Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de la sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001).

D'après Auriau *et al.* (1992), Belaid (1996), Feillet (2000), Henry et De Buyser (2001), les deux espèces des céréales les plus cultivées sont :

- Le blé dur (*Triticum durum*) : AABB (2 n = 4 x = 28) Tétraploïde ;
- Le blé tendre (*Triticum aestivum*) : AABB DD (2 n = 6 x = 42) Hexaploïde.

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (*bicornis*, *speltoïdes*, *longissima* ou *searsii*) (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum ssp. dicoccoïdes*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum ssp. dicoccum* puis vers *T. durum* [blé dur cultivé] (Figure 01). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *T. turgidum ssp. dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Figure 01).

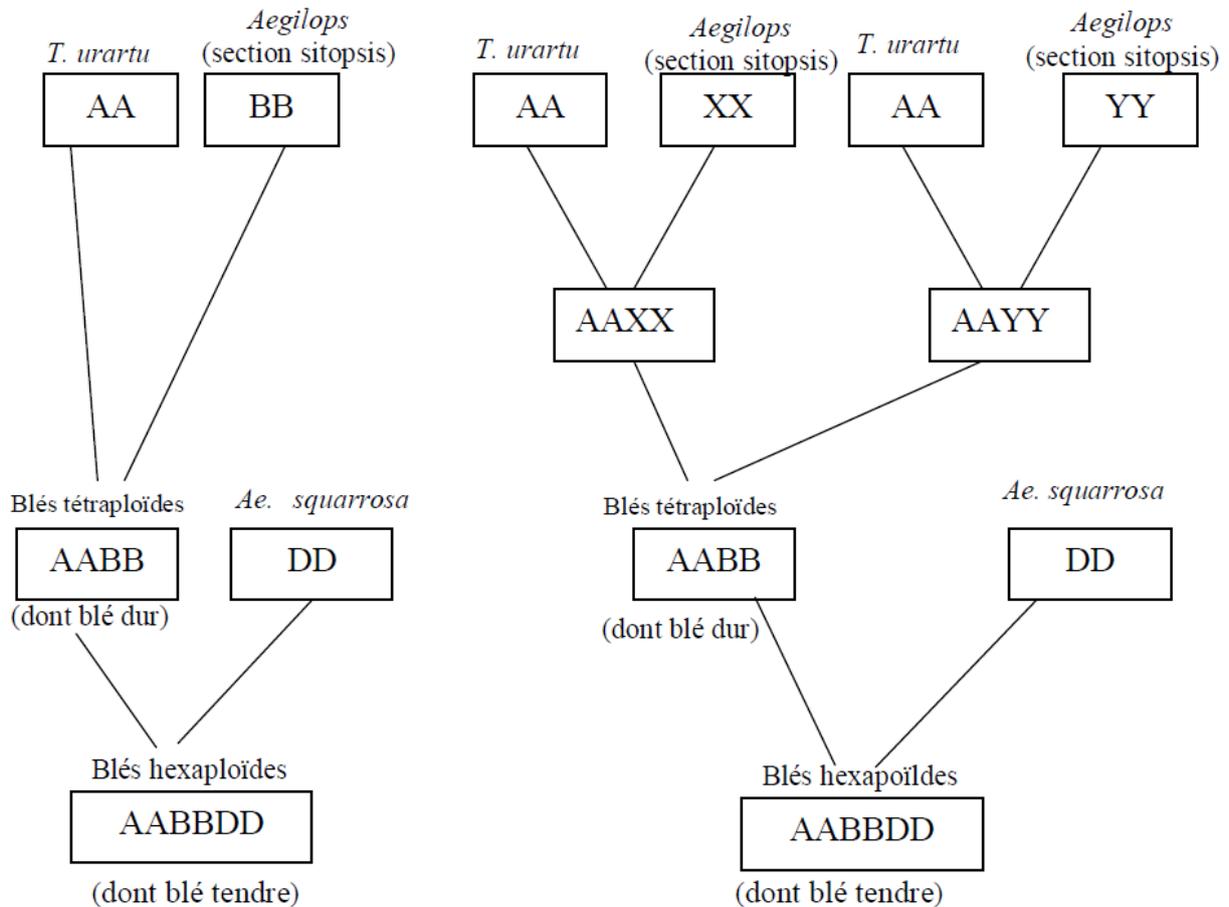


Figure 01. Origines possibles de blé (Gallais et Bannerot, 1992).

## 2.2. Origine et historique de l'orge

La domestication des orges était plus ancienne que celle du blé, puisque les études archéologiques effectuées en Syrie et en Iraq ont mis en évidence la présence de caryopses d'orge qui datent d'environ 10.000 ans avant Jésus-Christ. Ainsi, pendant l'antiquité et jusqu'au deuxième siècle avant Jésus-Christ, l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du croissant fertile, d'Europe et du bassin méditerranéen. Quant aux pays du Maghreb, son introduction s'est faite depuis le croissant fertile en passant par l'Egypte (Boulal *et al.*, 2007).

*Hordeum spontaneum* ou l'orge sauvage à 2 rangs répandue depuis la Grèce et la Libye jusqu'au Nord-Est de l'Inde, est presque unanimement reconnue comme la forme ancestrale de l'orge cultivée *Hordeum vulgare* (Jestin, 1992). Les types d'orges à 6 rangs à rachis fragile rencontrés en Asie centrale et antérieurement dénommés *Hordeum agriocrithon* (Aberg.), sont maintenant

considérés comme des descendants subspontanés d'hybrides entre les types cultivés à 6 rangs et *Hordeum spontaneum* (Von Bothmer *et al.*, 1990 in Jestin, 1992).

La distribution très large des orges cultivées va de pair avec une diversification morphologique et d'adaptation très étendue. Des types à 2 rangs remontant au Néolithique (7000 avant Jésus-Christ) trouvés dans le croissant fertile du Moyen-Orient paraissent être les restes, les plus anciens de l'orge cultivée, bien antérieurs aux orges à 2 et à 6 rangs trouvées en Extrême-Orient et en Egypte (Zohary, 1973 ; Jestin, 1992 ; Boulal *et al.*, 2007).

### 3. Classification botanique

Les céréales étudiées appartiennent à la famille des Poaceae (ex graminées), leur classification est la suivante. (Tableau 01).

Tableau 01. Classification des céréales selon Chadeauf et Emberger, (1960) et APG VI 2016.

Classification des céréales selon Chadeauf et Emberger (1960).			Classification cladistique APG VI 2016.	
	Blé	Orge	Blé	Orge
Règne	Plantae		Clade	Angiospermes
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)		Clade	Monocotylédones
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)		Clade	Commelinidées
S/Classe	Commelinidae		Ordre	Poales
Ordre	Poales (Glumiflorales)		Famille	Poaceae
Famille	Poaceae Poacées (graminées)		Genre	<i>Triticum.</i>   <i>Hordeum</i>
S/Famille	Pooideae	Horeoideae	Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.   <i>Hordeum vulgare</i> L. <i>Triticum aestivum</i> L.
Tribu	Triticées	Hordeae (Hordées)	Variété	Bousselem } Blé dur GTA dur } Vitron } Fouara ARZ } Barbe rousse Ain abid } Blé tendre Hidhab }
S/Tribu	Triticinae	Hordeinae		
Genre	<i>Triticum</i>	<i>Hordeum</i>		Saida 183
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf. <i>Triticum aestivum</i> L.	<i>Hordeum vulgare</i> L.		
Variété	Bousselem } GTA dur } Blé dur Vitron } ARZ } Ain abid } Blé tendre Hidhab }	Fouara Barbe rousse Saida 183		

## 4. Description botanique

Le blé et l'orge sont des plantes très semblables dans la morphologie de leurs organes végétatifs et floraux.

### 4.1. Appareil végétatif herbacé

- **Racines** : Le système racinaire assure deux fonctions : l'ancrage de la plante au sol et son alimentation en eau et en éléments minéraux (Boulal *et al.*, 2007).

Les céréales disposent de deux systèmes radiculaires successifs :

- le système racinaire primaire ou séminale, fonctionnel dès la germination. On compte 5 à 8 racines séminales chez le blé tendre, 7 chez l'orge et 6 racines chez le blé dur (Monneveux, 1992 ; Hamadache, 2001 ; Boulal *et al.*, 2007).
- le système racinaire secondaire ou racines adventives, de type fasciculé apparaît au tallage. Le nombre de racines est d'autant plus élevé que le tallage est plus important et que la phase de tallage est plus longue (Belaid, 1996 ; Boulal *et al.*, 2007).

- **Tige** : Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale appelée le maître brin et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante (Gondé et Jussiaux, 1980 ; Boulal *et al.*, 2007). Les nœuds sont des zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille (Belaid, 1996 ; Hamadache, 2001). Les entre-nœuds sont les parties de la tige situées entre les nœuds ; généralement les entre-nœuds sont creux chez les blés tendres, l'orge et l'avoine, ils sont pleins chez les blés durs (Belaid, 1996).

- **Feuilles** : Comme chez toutes les graminées, la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule, au point d'insertion de la feuille autour de la graine, permet de déterminer l'espèce de la plante examinée, avant l'apparition de l'épi (Soltner, 1999).

Les feuilles sont à nervures parallèles et formées de deux parties : la partie inférieure entourant la jeune pousse ou la tige (la gaine), la partie supérieure en forme de lame (le limbe) (Belaid, 1996). La gaine de chaque feuille s'insère à partir du nœud d'où prend naissance la feuille. Les stipules ou oreillettes se trouvent à l'intersection entre le limbe et la gaine. Chez le blé, les oreillettes sont longues, non embarrassantes et généralement ciliées, mais quelquefois glabres. Au contraire, l'orge présente des oreillettes longues embarrassantes et toujours glabres (Boulal *et al.*, 2007).

- **Inflorescence composée d'épillets** : Chez le blé et l'orge, le type d'inflorescence est un épi, constitué d'un ensemble d'unités appelées : épillets. Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs, enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures). Les fleurs sont attachées sur le rachillet (rameau partant de l'axe principal de l'inflorescence) (Boulal *et al.*, 2007). Le blé est une plante autogame ou à autofécondation, c'est-à-dire que la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles, avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur (Soltner, 1999).

- **Fruit sec (caryopse)** : Selon Soltner (1999), le caryopse des céréales est nu ou vêtu, selon que les glumelles adhèrent ou non au caryopse : Céréale à caryopse nu : blé et seigle ; céréales à caryopse vêtu par des glumelles adhérentes : orge.

Selon Maciejewski (1991), le caryopse nu, sans glumelle, est constitué de :

- L'enveloppe du fruit, soudée au tégument de la graine ;
- L'albumen, riche en amidon, d'où provient la farine ;
- L'embryon qui comprend la coléoptile (gaine protectrice de la tige de la plantule), l'ébauche de feuilles, la radicule et la coléorhize (gaine protectrice des racines) ;
- Le scutellum ou cotylédon, appliqué contre l'albumen et absorbant les éléments nutritifs lors de la germination.

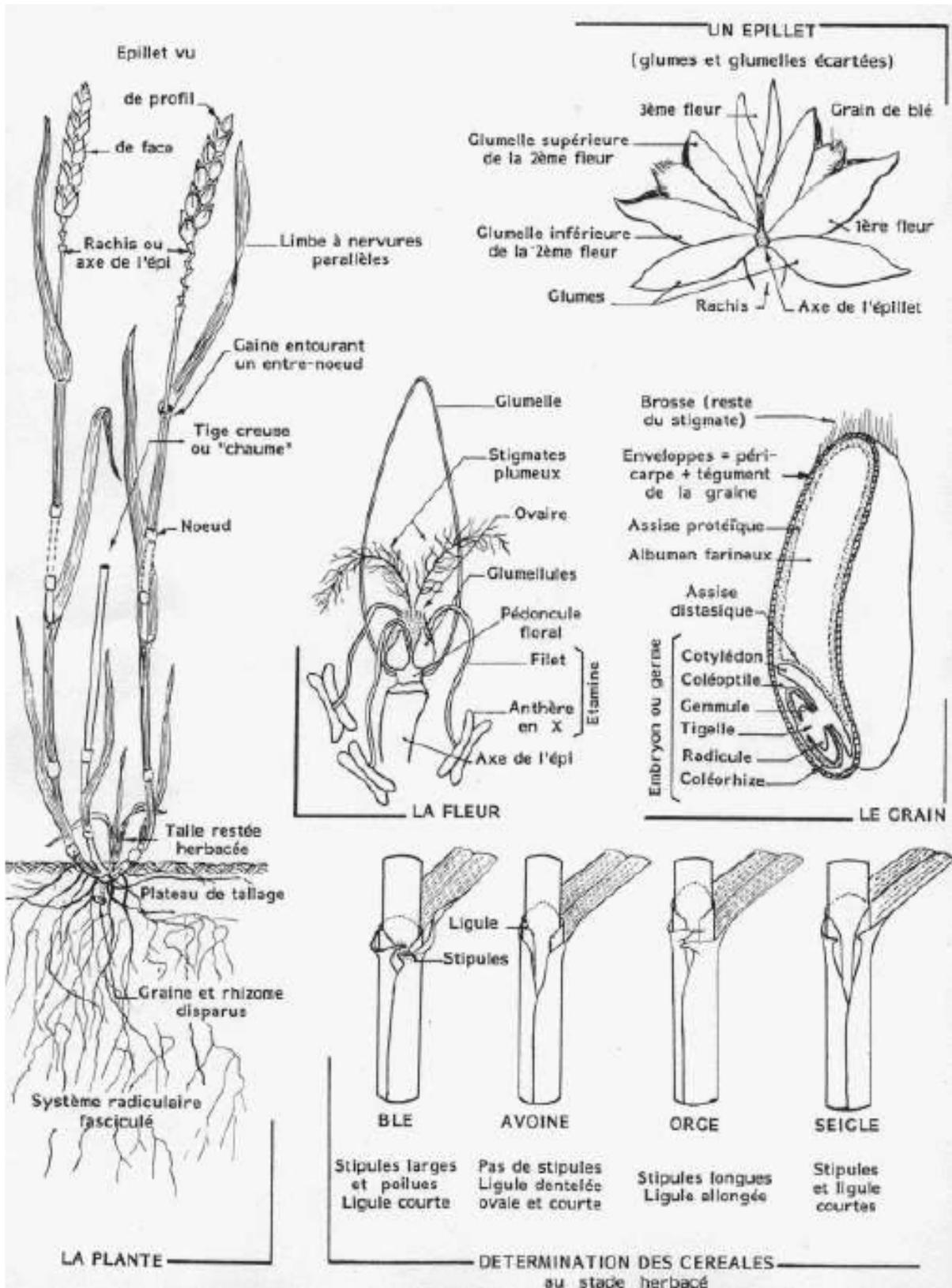


Figure 02. Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner, 1998).

## 4.2. Cycle végétatif de la céréale

Selon Robert 1993, le cycle de la céréale comporte les stades suivants :

### A. Semis-levée

- Cette période correspond à la mise en place du nombre de pieds/m<sup>2</sup>. La plante forme des ébauches des futures feuilles.
- Levée : apparition de la première feuille qui traversent la coléoptile (qui est une gaine enveloppant la première feuille).
- feuilles : ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule.

### B. Le tallage

Ce stade comporte deux étapes : stade début tallage et stade plein tallage

- **Stade début tallage** : lorsque la plante possède quatre feuilles, une nouvelle tige (la talle primaire) apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. C'est le stade appelé également «double ride» dans lequel le bourgeon végétatif évolue en bourgeon floral. Aussi les ébauches des futurs épillets apparaissent à l'aisselle des ébauches de feuilles constituant une succession verticale en double ride.
- **Stade plein tallage** : les talles apparaissent successivement ; talles primaires des deuxième et troisième feuilles et puis talles secondaires à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Des ébauches d'épillets se forment pendant le tallage, alors que les ébauches de feuilles régressent.

### C. La montaison

Ce stade comprend trois étapes :

- **Stade épi 1 cm** : c'est la fin du tallage herbacé, marqué par l'élongation des entre-nœuds de la tige principale. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes.
- **Stade 1 à 2 nœuds** : le premier, puis le second entre-nœud de la tige principale s'allonge. Au cours de cette période, se succèdent deux stades au niveau de l'épi.

Le premier stade, correspondant à la formation des glumelles et le deuxième correspondant à la différenciation de l'épillet terminal. Ce dernier indique que le nombre d'épillets est définitif, et alors s'initie la phase de formation des fleurs.

- **Stade méiose mâle** : A ce stade, l'épi gonfle et la gaine de la dernière feuille ainsi que les grains de pollen se différencient dans les anthères. C'est une période particulièrement importante dans l'élaboration du nombre de grains.

#### **D. L'épiaison**

Ce stade recouvre la période des épis, depuis l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille.

#### **E. La floraison**

C'est l'apparition des étamines hors des épillets. A ce stade, la croissance des tiges est terminée, la fécondation a déjà eu lieu et le nombre de grains maximum est donc fixé.

#### **F. Le remplissage du grain**

Ce stade passe aussi par trois étapes :

- **Stade grain laiteux** : les enveloppes du grain sont formées. La taille potentielle du grain est déterminée.
- **Stade grain pâteux** : le poids de 1000 grains est acquis par suite du remplissage des enveloppes.
- **Grain mûr** : Obtenu après la dessiccation du grain entre stade laiteux et pâteux. La quantité d'eau contenue dans le grain est stable (Bourras, 2001).

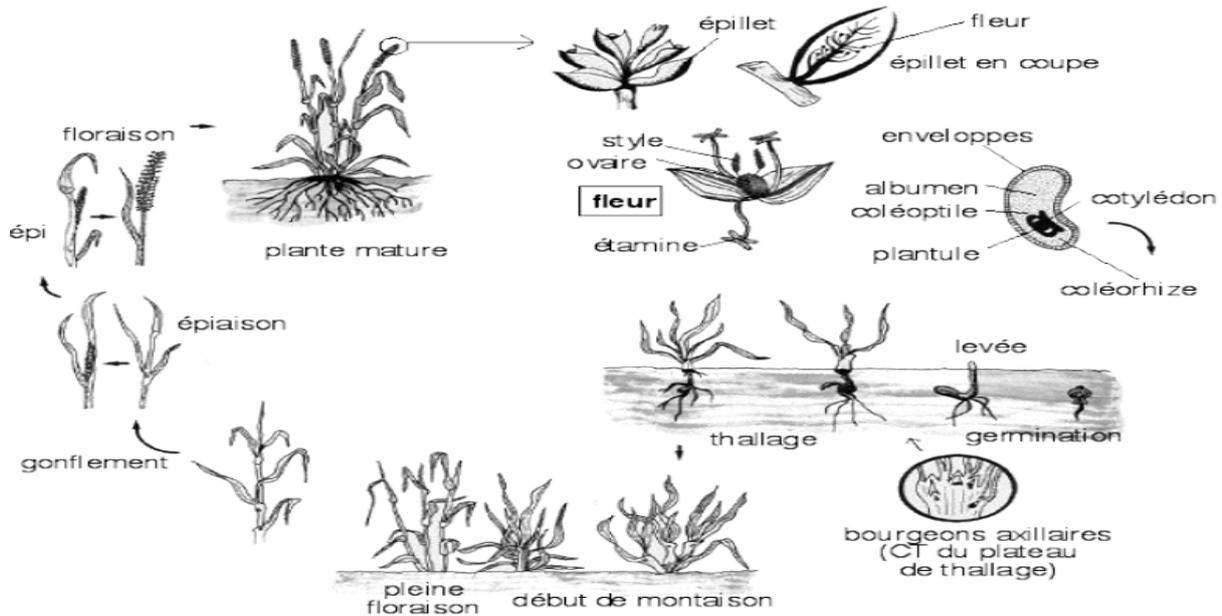


Figure 03. Cycle de développement d'une céréale (Henry et De Buysers, 2000).

## 5. Place et importance de la céréaliculture en agriculture algérienne

En début de 21<sup>ème</sup> siècle l'agriculture mondiale fait face à de nouveaux enjeux, d'une part la demande en céréale va doubler d'ici 2050, en lien avec l'accroissement des besoins de l'alimentation de bétail. D'autre part, les nouvelles exigences de la société imposent une production agricole garantissant la sécurité sanitaire, la qualité nutritionnelle et le respect de l'environnement (Trewavas, 2002).

Les céréales tiennent de loin, la première place quant à l'occupation des terres agricoles ; parce qu'elles servent l'aliment de base pour une grande proportion de la population mondiale.

En Algérie tout comme en Afrique du nord, ces cultures représentent la principale spéculation et draine plusieurs activités de transformation, en semoulerie, en boulangerie et en autre industrie agro-alimentaire.

Elles constituent également la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires de la population aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains ; en effet, la consommation individuelle est évaluée en 200 à 205 Kg/an en Tunisie, 219 kg/an en Algérie et 240 kg/an au Maroc (Boulal *et al.*, 2007).

Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales en Algérie occupe en moyenne annuelle 40% de la Superficie Agricole Utile (SAU).

La superficie ensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009 est évaluée à 3 200 930 ha, desquelles, le blé dur et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie avec 74% de la sole céréalière totale.

Durant la période 2010-2017, cette superficie a atteint en moyenne 3 385 560 ha, en évolution de 6% par rapport à la période précédente (2000-2009).

La production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41,2 Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 où la production est estimée en moyenne à 32,6 Millions de quintaux.

La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représentent respectivement 51% et 29% de l'ensemble des productions de céréales en moyenne 2010-2017.

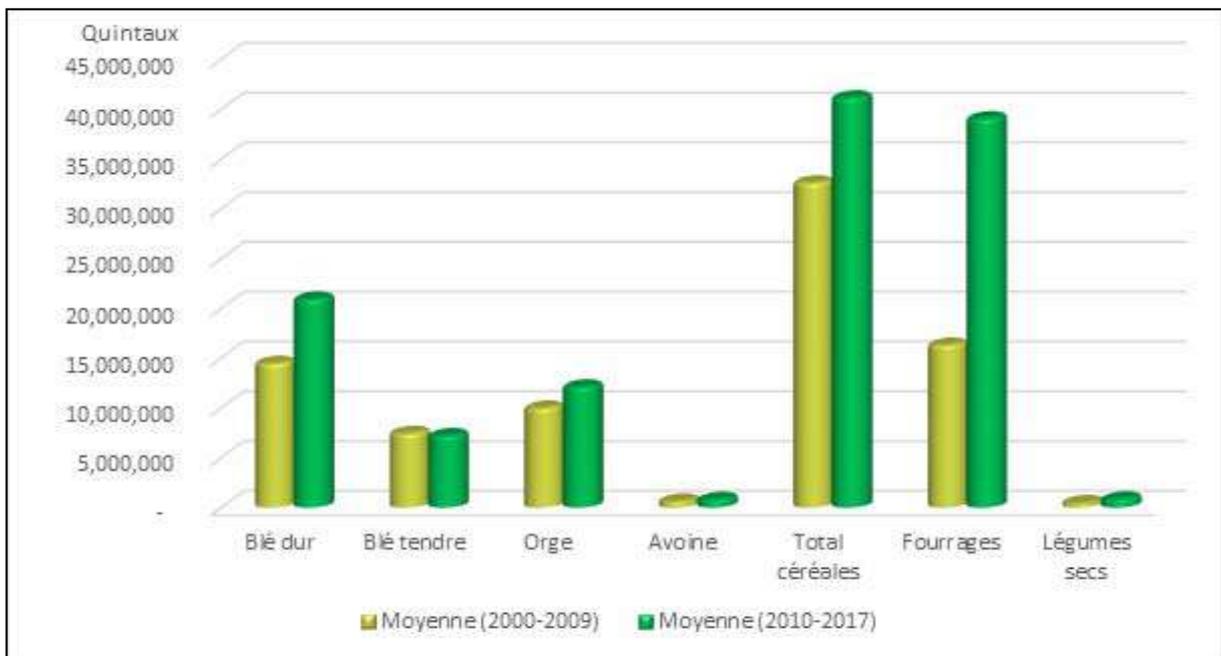


Figure 04. Production des céréales en Algérie, (MADR 2017).

## 5.1. La répartition géographique de production céréalière en Algérie

Selon l'I.T.G.C. (2017), Les céréales se répartissent dans les zones agro climatiques homogènes suivantes :

- Les plaines littorales, sublittoral et le nord des haut plateaux forment une zone à haute potentialité céréalière (34% de la superficie emblavée) ou, il pleut plus de 500 mm /an.
- Le sud des haut plateaux forme une zone agropastorale ou la céréaliculture vivrière est liée à l'élevage ovin (50% de la superficie emblavée) et il pleut près de 400 mm /an.
- La zone steppique ou la culture des céréales (15,5 % de la superficie emblavée) dominée par les orges, l'élevage ovin associé au pâturage de la steppe et où il pleut entre 200 à 400 mm/an.
- Les zones du sud pratiquement la céréaliculture sous irrigation des pivots et dans les oasis (1,5 de la superficie emblavées)

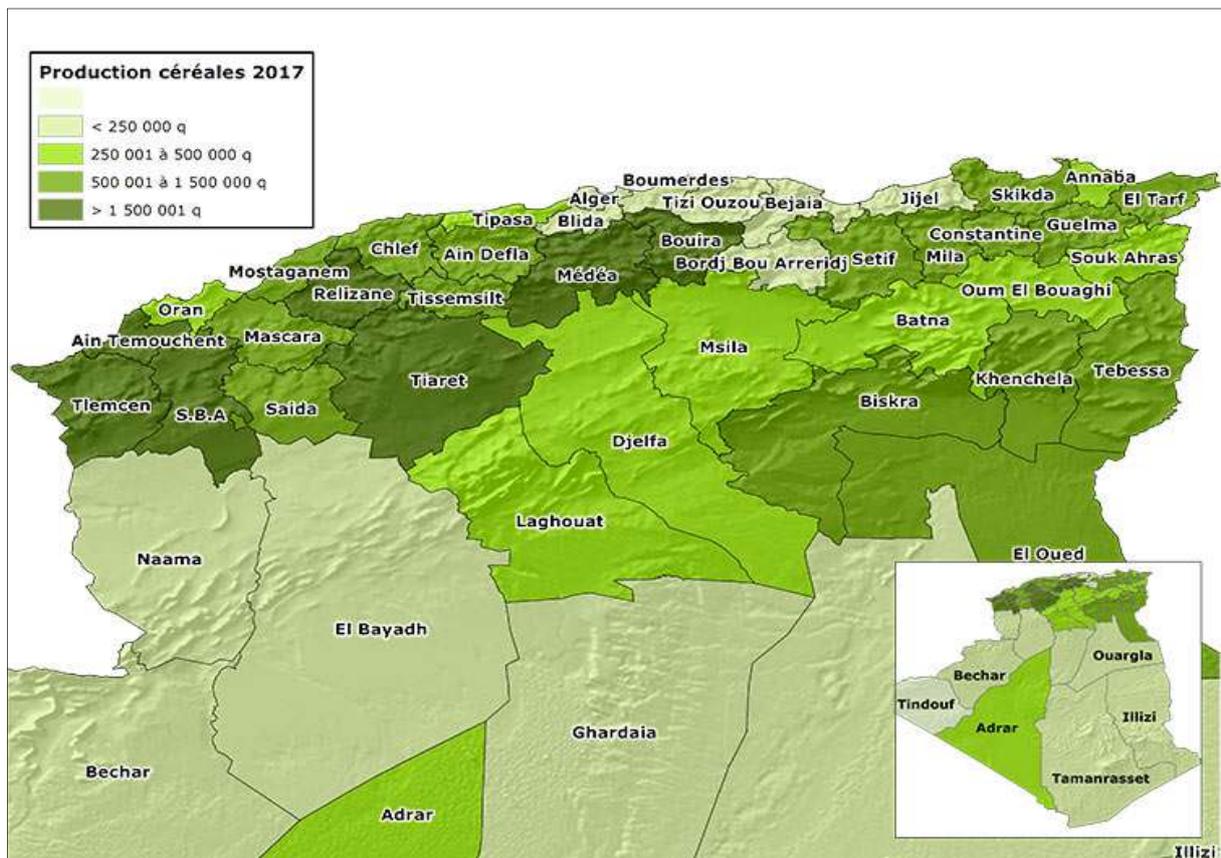


Figure 05. Zones de production des céréales en Algérie, MADR (2017).

## 5.2. Problématique de la production des céréales en Algérie

La céréaliculture en Algérie est pratiquée essentiellement dans les zones semi-arides, 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 est supérieur à 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 inférieur à 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 caractéristiques 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 du cycle de 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).

## **6. Mécanismes de production et d'adaptation**

### **6.1. Notion de production**

La production est une mesure de la vitesse de formation de matière organique dans un compartiment (organe, plante, population.. .etc.) pendant un temps donné et par unité de surface, ou de volume ; pour une culture ou un écosystème terrestre, elle s'exprime par exemple en tonnes de matière sèche produite par hectare et par an (Hopkins, 2003).

La productivité en agronomie est définie par Clément (1981) comme la capacité de production d'une espèce ou d'une variété dans un milieu donné lorsque les conditions optimales de culture sont réunies, autrement dit rendement maximal d'une espèce ou d'une variété dans une zone géographique déterminée.

Alors que Berthet, (2006) définit la productivité comme la quantité de matières organiques produites par unité de temps par un écosystème ou par une de ses parties.

#### **6.1.1. Caractères de production**

Le rendement représente la production de la culture à l'unité de surface. La notion de rendement doit être liée à la notion de rentabilité de la culture, la recherche du meilleur rendement par l'agriculteur étant motivée par le désir d'obtenir le revenu maximal (Prévoist, 1999).

- Pour comprendre l'élaboration d'un rendement de parcelle cultivée, il est commode de la décomposer selon ses composantes. Cette décomposition est opérationnelle pour plusieurs raisons :

- Chaque composante s'élabore pendant des phases bien définies et faciles à dater par rapport aux stades phénologiques.

- Chaque composante enregistrée, mémorise plus ou moins les événements (facteurs limitants) que le peuplement végétal a vécus pendant sa phase d'élaboration.

- Chaque composante a une valeur potentielle fixée par le nombre maximal d'organes différenciés ou par la taille de l'ovule et une valeur réelle qui est directement proportionnelle à la qualité d'organes formés qui poursuivent leur développement normal (Graciela, 1990).

La formation des composantes du rendement (talles, épis, épillets, fleurs et grains) est déterminée par la fourniture d'assimilations nécessaires pour la création d'organe viable.

Le rendement d'une céréale est souvent formulé comme étant le produit des trois composantes qui sont : le nombre d'épis/ m<sup>2</sup>, le nombre de graines/épis et le poids unitaire des grains (pois de mille grains) (Belaid, 1986).

Les caractères de production s'article en :

➤ **Tallage** : Ce caractère est influencé par les caractéristiques variétales et les techniques culturales (Massle, 1981, Gonde *et al.* , 1986). Le potentiel de tallage est associée avec les composants de rendement telles que le nombre d'épi, qui dépend énormément des talles herbacées, Le poids du grain dépend lui aussi du nombre de talles qui fait de la compétition des différents épis pour l'accumulation des assimilats et également pour la nutrition minérale et l'eau (Massle, 1981).

➤ **Nombre de grains / épi** : il est mis en place au moment de l'induction florale, dès la fin du tallage. En même temps que la tige s'allonge, les pièces florales se différencient, quelques jours après la fin de montaison, le nombre d'ovules par épi est fixé (Maurer, 1978). Il est sensible à la variation climatique de cette période ainsi qu'à toute déficience de fourniture des assimilats (Triboi *et al.*, 1985). Il influe sur la capacité des puits en conditions de déficit hydrique, c'est un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse (Annichiarico et Pecetti, 1993).

➤ **Nombre d'épis/m<sup>2</sup>** : Le peuplement est influencé par la dose de semis, le poids de mille grains, la qualité des semences, les caractéristiques de lit de semences et les conditions climatiques (Belaid, 1986).

Selon Buckman (1990), la densité de la culture est fonction du nombre de grain semés et de la survie des plantes.

Boisgontier (1985), note que le nombre de plants à la sortie d'hiver est inférieur au nombre de grains semés. Masse et Thevent, (1982) notent que l'essentiel des disparitions des pieds a lieu pendant la phase germination - levée et au cours de l'hiver. Jouve, (1984) ajoute que tous les semis dont la phase germination-levée a coïncidé avec la sécheresse d'hivers, ont une levée médiocre.

➤ **Poids de mille grains** : La nutrition azotée et les conditions climatiques (chaleur et humidité) affectent considérablement le PMG (Soltner, 1990).

Benlaribi, (1984) et Bouzerzour, (1998) signalent que la taille et le poids moyen du grain participent à la stabilité de la production d'un cultivar donné. Ils dépendent des conditions de croissance post-anthèse (vitesse de transfert), de l'activité photosynthétique durant le remplissage du grain (durée de vie de la feuille étendard) et du nombre de cellules formées par l'endosperme.



Figure 06. Influence du milieu et des techniques culturales sur les composantes du rendement I.T.G.C. (2015).

## **6.2. Notion d'adaptation**

L'adaptabilité est définie comme étant la capacité d'un génotype à donner un haut rendement sous diverses conditions, aussi bien favorables que contraignantes (Fordyce, 2006). La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. En fait, l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance des contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Tardieu, 2003). La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques suit plusieurs voies dont l'utilisation de la phénologie, la morphologie, la physiologie, le moléculaire, ainsi que le comportement global de la plante vis-à-vis de la variation environnementale (Kadi, 2012). On a deux types d'adaptation :

### **A. L'adaptation génotypique**

C'est la modification du génome d'une population, qui dans un milieu donné, augmente sa probabilité d'être transmis à la descendance. En générale, elle se traduit par un phénotype mieux adapté à la survie des individus ; elle peut éventuellement être défavorable à la survie, mais favorable à la reproduction des individus dont le génome présente cette adaptation. Cette dernière est due à des mutations aléatoires suivies de sélection dont le seul mécanisme connu.

### **B. L'adaptation phénotypique**

C'est la modification du phénotype d'un individu sous l'influence du milieu d'origine biotique (parasitisme, prédation...etc.) ou abiotique (hautes et basses température, sécheresse...etc.), augmentant sa probabilité de survie ou d'avoir des descendants. Elle se traduit par une modification des propriétés morphologiques, métaboliques ou physiologiques de certains organes (caractères acquis). Elle est sans influence sur le génome.

#### **6.2.1. Caractères d'adaptation**

La plupart des caractères végétatifs étudiés sont influencés par les conditions climatiques et agronomiques et qu'ils peuvent subir sur le terrain des modifications, comme il a été souligné par l'U.P.O.V (1994), Godon et Loisel (1997), Boufenar et Zaghouane (2006). Ces modifications peuvent être :

- Des fluctuations (modifications non héréditaires), qui sont dues à l'influence du milieu (la hauteur de la plante, les différences de glaucescence, la longueur des barbes, la longueur des épis, les caractères du bec et de la troncature des glumes et des glumelles...etc.).
- Des variations génétiques (modifications génétiques héréditaires) cela veut dire que quel que soit l'année ou le milieu, l'aspect du caractère se maintient (la couleur et la forme du grain...etc.).

### **6.2.1.1. Paramètres phénologiques**

Selon Clément (1981), la phénologie c'est l'étude de la chronologie des stades de la vie végétale, en relation avec le temps et le climat. Parmi les phénomènes périodiques, on note pour les céréales, compte tenu de la date de semis, les dates de levée, de tallage, de montaison, de gonflement, d'épiaison et de floraison et parfois les dates d'autres stades plus précis.

Berthet, (2006) définit la phénologie comme l'étude des relations entre les variations climatiques saisonnières et les phénomènes biologiques périodiques (germination, floraison, migration et reproduction).

Les paramètres phénologiques d'adaptation ou bien les paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales. En jouant avec ces paramètres, il est possible d'éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec les dates d'occurrence maximales de certains accidents climatiques (hautes températures, déficit hydrique). Ils renvoient au concept d'évitement, d'esquive, ou de tolérance définie par Levitt (1972).

La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement. Ceci peut être réalisé soit par la voie des techniques culturales (choix de la date de semis), soit par la voie génétique (sélection de variétés précoces). La précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones sèches (Benlaribi, 1990 ; Bensalem et *al.*, 1997).

Chez les céréales, la période la plus sensible au déficit hydrique élevé est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique survenant à ce moment affecte le nombre de grains/épi (Gate et *al.*, 1990).

### **6.2.1.2. Paramètres morphologiques**

- **Hauteur de la plante**

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides et semi-arides, ceci s'expliquerait par qu'une paille haute s'accompagne

souvent d'un système racinaire profond ; ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga *et al.*, 1970). Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (El hassani et Persoons, 1994).

Selon les auteurs (Bagga *et al.*, 1970 ; Blum ; 1988), les variétés des céréales les plus tolérantes 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).

- **Surface Foliaire**

La surface foliaire est un paramètre de sélection et revêt 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 des contraintes climatiques.

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 (Cooper *et al.*, 1983 ; Benmahammed *et al.*, 2008). 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 (Belkherchouche *et al.*, 2009).

- **Longueur d'épi**

L'épi a une fonction photosynthétique importante au cours du remplissage du grain (Febrero *et al.*, 1994) ; sa contribution à la photosynthèse de la plante entière varie de 13 % à 76 % (Evans et Rawson, 1970). En cas de stress hydrique, il participe même plus activement à la photosynthèse que la feuille étandard en raison de la sénescence des feuilles, des caractéristiques particulières de son fonctionnement photosynthétique (Febrero *et al.*, 1994) et en particulier de sa transpiration élevée (Blum, 1985), de la proximité source puits et de la meilleure capacité d'ajustement osmotique de l'épi (Morgan, 1984).

Le rôle essentiel des épis (et en particulier des glumes) en tant qu'organes photosynthétiques a enfin été confirmé chez le blé à l'aide de la méthode de discrimination isotopique de carbone (Romagosa et Araus, 1990).

- **Longueur du col d'épi**

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 stockées par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (Gate *et al.*, 1990).

- **Longueur des Barbes**

La présence de barbes est un caractère souvent considéré en cas de déficit hydrique. En effet, la présence de barbes, par leurs ports dressés et leurs positions au voisinage immédiat de la graine augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de formation du grain surtout après la sénescence des feuilles étendards (Monneveux et Nemmar, 1986 ; Gate *et al.*, 1992).

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib *et al.*, 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005).

### **6.2.1.3. Paramètres physiologiques**

- **Teneur relative en eau de la feuille**

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson *et al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). Benmahammed *et al.* (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem *et al.*, 2002). Fahmi *et al.* (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles

d'*Argania spinosa* augmente de 55,09 à 77,82%, cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. Clarke *et al.* (1991) suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

- **Teneur en chlorophylle**

La photosynthèse, appelée encore assimilation chlorophyllienne, n'est possible que par l'intervention des pigments assimilateurs, les chlorophylles. Elles font partie d'un groupe de pigments tétra-pyrroliques avec des fonctions et des éléments structuraux communs. On trouve ces pigments verts dans tous les organismes photosynthétiques (Battinger, 2002).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka *et al.*, 2006).

Un stress hydrique induit une dégradation de la chlorophylle ou l'inhibition de sa biosynthèse qui engendre par la suite une réduction de la photosynthèse qui devient un facteur limitant la croissance et le développement des plantes (Hegedus *et al.*, 2001 ; Zhou, 2003 ; Song *et al.*, 2007 ; Yin *et al.*, 2008 ; Wei *et al.*, 2011). La fermeture des stomates, sites des échanges gazeux (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), limite l'entrée du CO<sub>2</sub> dans les feuilles et diminue les pertes en eau par transpiration (Lawlor, 2002 ; Parry *et al.*, 2002). Cependant, le stress hydrique diminue l'ouverture des stomates, ce qu'a pour conséquences une réduction de la concentration du CO<sub>2</sub> à l'intérieur de la feuille et une diminution de sa diffusion via le mésophylle, les parois cellulaires et les chloroplastes. En outre, le nombre élevé des stomates peut engendrer des stomates de petite taille à fermeture rapide pour mieux conserver l'eau (Zhao *et al.*, 2015). Par conséquent, si la fixation du CO<sub>2</sub>, le taux des pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b et (a+b) et les réactions photochimiques sont réduits, l'activité photosynthétique sera réduite.

#### **6.2.1.4. Paramètres biochimiques**

- **Accumulation des solutés compatibles**

Sous stress, les plantes accumulent des osmolytes compatibles. Parmi ces solutés, on peut citer la proline, le glutamate, le  $\gamma$ -acide aminé butyrique, la glycine bétaine et des alcools de sucre à savoir le mannitol, le pinitol et le sorbitol (Slama *et al.*, 2015).

Ces osmolytes jouent un rôle dans le maintien du métabolisme en évitant la déshydratation cellulaire et en protégeant les structures membranaires (Close, 1996 ; Abebe *et al.*, 2003 ; Hinch et Hageman, 2004 ; Mahajan et Tuteja, 2005 ; Chen et Murata, 2008 ; Szabados et Savoure, 2010 ; Sanchez *et al.*, 2011).

Des travaux récents ont été réalisés sur l'oyat (*Ammophila arenaria* L.) ont montré une variation saisonnière des teneurs en substances qualifiées de stress dans ces principaux organes végétatifs ; feuilles, tiges et rhizome de l'oyat (Mouri *et al.*, 2012). Ces substances sont la proline et les sucres solubles qui sont généralement libérés et stockés dans les cellules des organes végétatifs des plantes supérieures en réponse aux différentes contraintes environnementales.

Les teneurs respectives en proline et en sucres solubles ont tendance à s'accumuler dans la partie aérienne plutôt que dans la partie souterraine (rhizome) et dans les organes les plus âgés et pendant les saisons, les plus sèches et les plus chaudes (Mouri *et al.*, 2012).

#### ➤ **Accumulation de la proline**

La proline, est un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales (Kilani *et al.*, 2012).

En état de stress, la proline joue plusieurs fonctions à savoir : Ajustement osmotique (Voetberg et Sharp, 1991) ; Osmoprotecteur (Moradshahi *et al.*, 2004 ; Kishor *et al.*, 2005) ; Antioxydant (Sharm et Dietz, 2006 ; Eliane *et al.*, 2007) ; Régulateur de l'acidité cytosolique (Sivakumar *et al.*, 2000) ; Réserve de carbone et de nitrogène après disparition du stress (Diaz *et al.*, 1999 ; Kala et Godara, 2011) ; Caractère d'adaptation (Din *et al.*, 2011) ; Marqueur de stress (Chaib *et al.*, 2006 ; 2015 ; 2018).

La proline a été proposée comme stabilisateur de protéines et de complexes macromoléculaires, piègeur de radicaux libres et régulateur du potentiel redox cellulaire. La concentration intracellulaire de la proline dépend d'une régulation fine entre sa biosynthèse et sa dégradation (Kilani *et al.*, 2012).

Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants aux différents stress abiotiques :

- Au déficit hydrique : chez le blé dur et tendre (Monneveux et Nemmar, 1986), chez le blé dur (Benlarabi et Monneveux, 1988), chez le maïs (Bellinger *et al.*, 1989) et chez l'oyat (Mouri *et al.*, 2012)

- Au froid : chez le blé tendre (Dorfling et Askman, 1989 sur le blé tendre)
- A la salinité : chez *Artemisia herba alba* (Hubac et Vieira da Silva, 1980), chez *Sorghum bicolor* L. (Weimberg *et al.*, 1986), chez *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila* (Ghars *et al.*, 2008), chez une halophyte, *Atriplex* (Hadjadj *et al.*, 2011), chez *Lycopersicon esculentum* Mill. (Snoussi et Abbad, 2012).

Certains auteurs (Singh *et al.*, 1973) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress. La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Tahri *et al.*, 1997).

D'autres auteurs ont montré que l'accumulation de l'imino-acide dans les feuilles est très étroitement liée au manque d'eau et aux hautes températures (Monneveux et Nemmar, 1986). Cependant le rôle exact de la proline et les voies de signalisation impliquées dans la régulation de son métabolisme ne sont pas encore complètement élucidés (Kilani *et al.*, 2012).

L'étude du métabolisme de la proline chez les plantes modèles permettrait d'acquérir des informations aux mécanismes différentiels mis en œuvre par les plantes pour faire face aux contraintes environnementales et d'établir des outils pertinents pouvant être utilisés dans l'amélioration des plantes cultivées (Kilani *et al.*, 2012).

La proline donne lieu à l'accumulation d'autres acides aminés comme l'Asparagine, la Glutamine, la Serine, la Glycine (Levitt, 1972). La concentration en proline suite à une sécheresse peut atteindre jusqu'à 100 fois celle que l'on trouve dans les tissus en turgescence (Palfi *et al.*, 1974).

#### ➤ **Accumulation de sucres solubles**

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1995 ; Sanchez *et al.*, 1999) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984 ; Zhang *et al.*, 1999). Les sucres peuvent servir des composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974). Généralement, on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine hydrolyse de réserves (en particulier d'amidon), mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides est une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort : différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001). Chez le soja, la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration (Bensari *et al.*, 1990). Il peut jouer un rôle de molécule signal dans les processus morphogénétiques et notamment dans le contrôle de la morphogénèse foliaire (Xiao *et al.*, 2006). Les sucres protègent les membranes contre la déshydratation et participent au maintien des réactions de phosphorylations et de production d'énergie (Loretti *et al.*, 2001). Ils protègent les processus de synthèse des enzymes, ce qu'impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la sécheresse (Kara, 2015). Berka et Aïd, (2009) montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plantes stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

- **Activation du système antioxydants**

Les Espèces Réactives d'Oxygène (ERO), produits secondaires des stress environnementaux, sont très dangereux pour les composants cellulaires et doivent être régulés d'une manière fine et précise. Toutes les plantes ont développé plusieurs systèmes antioxydants, aussi bien enzymatiques que non enzymatiques, afin de neutraliser ces ERO. Parmi les systèmes antioxydants enzymatiques, figurent les catalases (CAT), superoxyde dismutase (SOD), les peroxydases (POD), l'ascorbate peroxydase (APX), la glutathion réductase (GR) et la monodehydroascorbate réductase (MDAR). Quant aux systèmes non-enzymatiques, ils comprennent principalement l'acide ascorbique, le glutathion, les tocophérols, les flavonones, les caroténoïdes et les anthocyanines (Prochazkova *et al.*, 2001). D'autres molécules tels que les osmolytes compatibles (exemple, la proline), certaines protéines (exemple, les peroxyredoxines) et des molécules amphiphiliques sont considérées également comme antioxydants.

## **7. Peroxydation lipidique membranaire**

La peroxydation des lipides est considérée comme le processus le plus dommageable qui se produit chez tous les organismes vivants. L'altération de la membrane est l'indicateur du niveau de destruction des lipides sous différentes contraintes (Benhamdi, 2014).

La peroxydation des lipides a lieu au niveau des membranes cellulaires et des organites lorsque le niveau des ROS dépasse un certain seuil, ce qui affecte non seulement le fonctionnement cellulaire normal, mais aggrave aussi le stress oxydatif par la production de radicaux dérivés de lipides (Yadav *et al.*, 2010)

La peroxydation lipidique a des conséquences multiples sur les cellules des plantes. Elle provoque :

- Des dommages aux protéines membranaires.
- Une diminution de la fluidité de la membrane.
- Une augmentation de la charge négative de la surface permettant aux phospholipides les échanges entre les deux moitiés de la bicouche lipidique.

De plus, une inactivation des récepteurs, des enzymes et des canaux ioniques et une augmentation de la perméabilité de la membrane à des substances qui ne la traversent normalement que par des canaux spécifiques (Gill et Tuteja, 2010).

L'un des produits qui résulte de la peroxydation des lipides membranaires, est le malondialdéhyde (Ma *et al.*, 2015), ce dernier serait un indicateur métabolique du stress oxydant (Heath et Packer, 1968). Dans ce contexte, une accumulation du malondialdéhyde (MDA) a été signalée lors d'un stress salin (Gossett *et al.*, 1994). Le contenu en MDA est un paramètre important lié à la réponse des plantes au stress abiotique (Chen et Murata 2002). Le MDA est un produit final de la peroxydation des acides gras (Moller *et al.*, 2007).

## **8. Grain de céréale**

### **8.1. Caractéristiques histologiques des grains de céréales**

Les grains des céréales sont des fruits, appelés caryopse, ces derniers sont de forme ovoïde, possédant sur l'un de leur face une cavité longitudinale «le sillon» et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils «la brosse» (Beaugrand, 2004 ; Godon et Willm, 1991). Elles possèdent toutes des grains qui sont constitués successivement de l'extérieur vers l'intérieur. (Canadas, 2006 ; MC Bean et Mc leod, 2007).

Les enveloppes de la graine et du fruit donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseurs variables et sont formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13%-17%) (Godon et Willm, 1991 ; Feillet, 2000). Pour le blé ou le seigle, on parle de grains nus.

Cela signifie qu'il a perdu ses enveloppes (glumelles) lors du battage, à la récolte. Inversement, certains grains, comme le riz, l'orge ou l'avoine, gardent leur enveloppe même après le battage. On parle alors de grains vêtus.

L'albumen (80-85%) du grain principalement amylicé et vitreux, possède à sa périphérie une couche à aleurone (Kent, 1975 ; Feillet, 2000).

Le germe (3%) composé d'un embryon, lui-même formé des coléoptiles, de la gemmule, de la radicule, du coléorhise, de la coiffe et du scutellum (Feillet, 2000 ; Jeantet *et al.*, 2007).

## 8.2. Composition chimique des différentes parties du grain

Le tableau 02 représente le pourcentage de la composition chimique des grains de céréales.

Tableau 02. Composition chimique des grains de céréales (%) (Jeantet *et al.*, 2007).

Espèces	Eau	Amidon et petit glucide	Protéines	Lipides	Fibres	Minéraux (taux de cendres)
Blé dur	13-15	62-66	13-14	1.8-2.0	5.0-5.5	1.9-2
Blé tendre	13-15	64-68	10-12	1.7-1.9	5.0-5.5	1.7-1.9
Orge	13-15	57-63	10-11	2.0-2.5	10-11	2.5-2.7

D'après Godon et Willm 1991, les diverses familles de constituants chimiques sont représentées dans tous les tissus :

- Les couches externes (péricarpes et testa) sont caractérisées essentiellement par leur teneur non négligeable en protéines (7%) lipides (2%) minéraux et vitamines du groupes B. (Favier, 1989), très élevés en fibre (ou glucides indigestibles, cellulose, hémicellulose) (Favier, 1989 ; Nahas, 1999), tandis que l'amidon fait défaut dans les tissus externes (Greenwood, 1976).

- La couche d'aleurone est extrêmement riche du point de vue nutritionnel par la présence des polyphénols, les plus courants, les acides féruliques et p-coumariques, des phytoestrogènes, lignanes et flavonoïdes sont également présents (Jiménez *et al.*, 2000 ; Jeantet *et al.*, 2007)

- Le germe est riche en minéraux, protéines lipides et vitamines ; il contient à lui seule parfois la plus grande partie des lipides (Favier, 1989 ; Godon et Willm, 1991) et de vitamine E (tocophérol), bien que les céréales n'ont pas d'activités vitaminique A, la vitamine C fait défaut également et les vitamines du groupes B sont présentes à l'exception de la vitamine B 12 (Favier, 1989 ; Jiménez *et al.*, 2000; Baribeau et Lemieux, 2005 ; Bedard et Galibois, 2005).

- Le scutellum : est très riche en thiamine (vitamine B6) (Favier, 1989 ; Godon et Willm, 1991).
- Et d'après Godon et Willm (1991) dans l'albumen, les vitamines sont en qualité relativement faibles. Elles se trouvent principalement dans la zone située entre le tégument séminal et le germe.

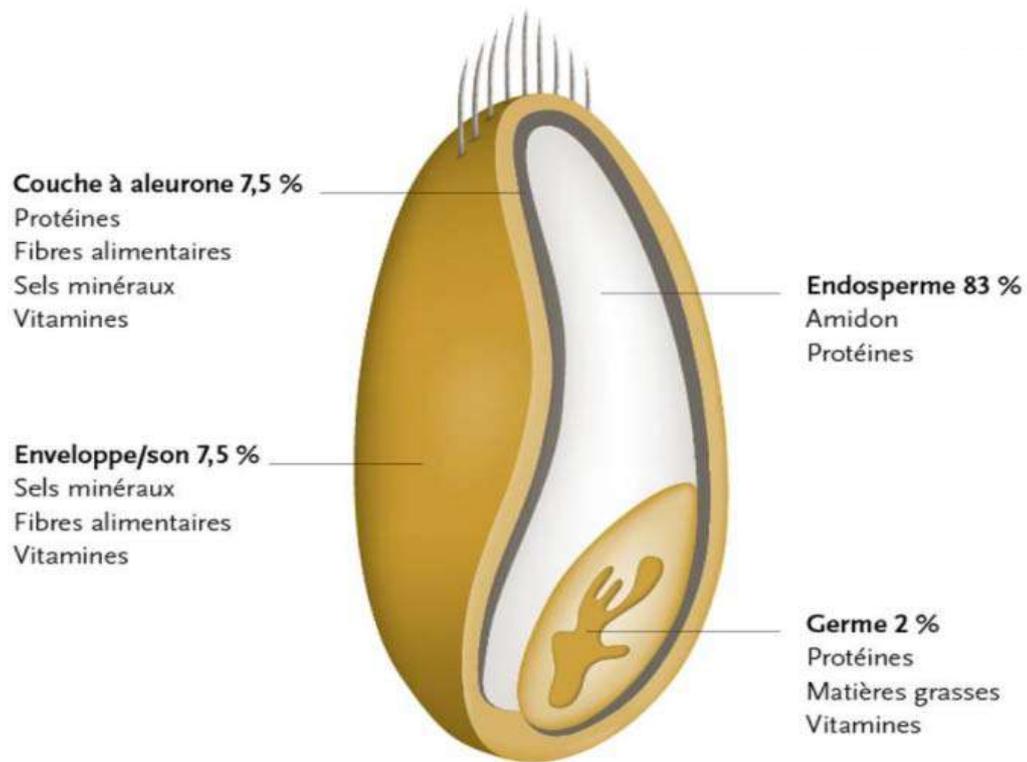


Figure 07. Anatomie d'un grain de céréale

## 9. Les protéines du grain de l'orge et du blé

Les protéines du grain de l'orge et du blé sont extraites et classées en fonction de leur solubilité dans différents solvants. Quatre groupes de protéines sont ainsi identifiés dans le blé : les albumines (solubles dans l'eau), les globulines (solubles dans les solutions salines), les prolamines (solubles dans les solutions alcooliques), et les gluténines (solubles dans les acides et les bases diluées). Les albumines représentent approximativement 15 % du total des protéines, les globulines 5 %, les prolamines et les gluténines représentent chacune 40 %. Les mêmes constituants protéiques existent dans l'orge avec la classe des hordéines qui est l'équivalente de la classe des prolamines dans le blé.

## 9.1. Les protéines de réserves du blé

Les protéines de réserves du blé font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines. Les gènes codant pour ces protéines sont situés sous forme de cluster de 2 à plus de 40 séquences codantes dépourvues d'introns sur les bras courts et longs des chromosomes du groupe 1 et les bras courts des chromosomes 6A, 6B et 6D. Ces protéines ont largement été étudiées du fait de leur relation avec la qualité technologique du blé. Une synthèse bibliographique a été rassemblée par Wrigley *et al.* (2006) dans l'ouvrage « Gliadin and Glutenin: the unique balance of wheat quality ».

Les prolamines regroupent d'une part les protéines monomériques (les gliadines) et d'autre part les protéines polymériques (les gluténines) qui sont-elles mêmes constituées de deux sous-groupes : les sous unités de gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM). D'une manière générale, la proportion entre ces différentes prolamines est la suivante : 40% de gliadines, 40% SG-FPM et 20% de SG-HPM.

Ces protéines ont aussi été classées selon leur composition et séquences. On distingue :

- les prolamines riches en soufre
  - les prolamines pauvres en soufre
  - les prolamines de haut poids moléculaire
- Les prolamines riches en soufre représentent 70% des prolamines et sont constituées des gliadines de type  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et des SG-FPM.
- Les prolamines pauvres en soufre représentent entre 10 et 12% des prolamines totales et sont exclusivement constituées des gliadines de type  $\omega$ .
- Les prolamines de haut poids moléculaire représentent 20% des prolamines. Les SG-HPM peuvent être de deux types différents : x et y. Ces prolamines ont la capacité de former des structures polymériques avec les SG-FPM et certaines gliadines par l'intermédiaire de ponts disulfures. La masse du réseau polymérisé, en fonction des allèles de gluténines et gliadines, va de 600 KDa à plus de 107 Da.

## 9.2. Les protéines de réserves de l'orge

Les protéines principales de réserve de l'orge sont les hordéines (prolamines), fraction soluble dans l'iso-propanol, et les hordéines (glutélines), mais la Protéine Z (Peltonen *et al.*, 1994 ;

Ziegler 1999) et la  $\beta$ -amylase, ( $\beta$ - amylase se compose de protéines monomériques avec les poids moléculaires entre 53-64 KDa), qui sont des globulines, semblent également se comporter comme protéines de réserve (Qi *et al.*, 2006).

Les protéines principales de réserve d'endosperme sont les hordéines solubles dans l'alcool. Elles représentent 30-50 % de toutes les protéines du grain (Kirkman *et al.*, 1982). En se basant sur le poids moléculaire et la composition en soufre, les hordéines peuvent être divisées en trois groupes principaux de polypeptide : protéines riches en soufre (S-riche), pauvre en soufre (S-pauvre), et à poids moléculaire élevé (HMW : high molecular weight) (Pelger *et al.*, 1993).

Les hordéines se composent de quatre fractions

- hordéines B (riche en soufre) ;
- hordéines C (pauvre en soufre) ;
- hordéines A (riche en soufre) ;
- hordéines D (HPM).

Remarquables par leur mobilité électrophorétique (poids moléculaire) et leurs compositions en acides aminés (Shewry *et al.*, 1985). Les hordéines B (poids moléculaire 35-46 KDa) sont les principales protéines de réserve dans le grain d'orge. Elles représentent 80-90 % de toute la fraction des hordéines et 30-40 % de l'azote du grain (Shewry *et al.*, 1985). Les hordéines C (poids moléculaire 55-75 KDa) représentent 10-30 % de la fraction des hordéines. Les hordéines A (poids moléculaire 20KDA) représentent 1 -2 % de la fraction des hordéines, alors que les hordéines D (poids moléculaire 100 KDa), n'en représentent qu'environ 2-4 %.

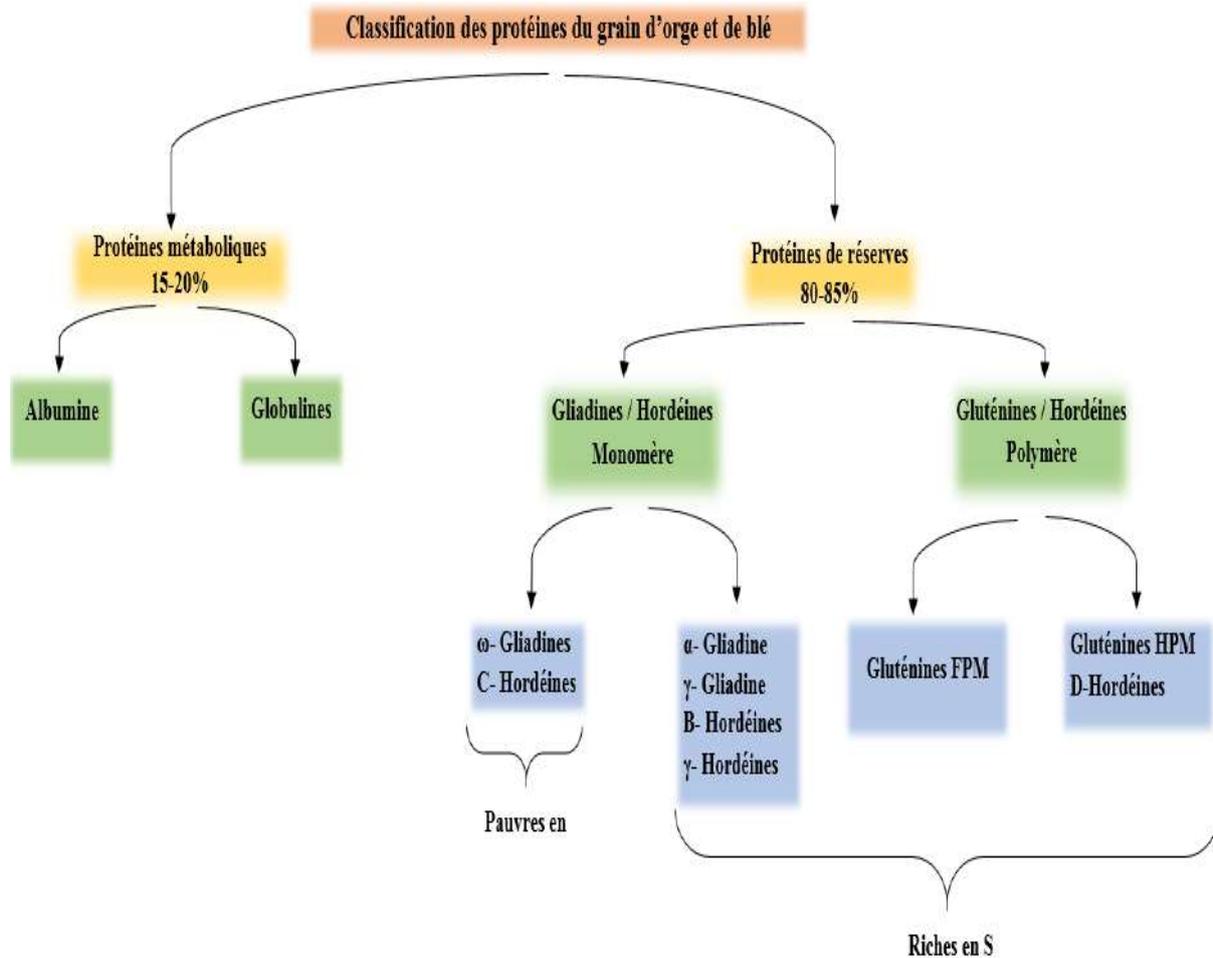


Figure 08. Représentation schématique des protéines du blé et de l'orge.

## 10. Méthode de mise en évidence des protéines

### 10.1. Electrophorèse des protéines

De nombreuses techniques biochimiques peuvent être utilisées pour la séparation des protéines, cependant la méthode la plus employée est l'électrophorèse (Radola, 1980 ; Autran *et al.*, 1981).

Si l'idée d'utiliser cette caractéristique pour séparer des molécules remonte à la fin du dix-neuvième siècle, c'est le biochimiste suédois Arne tiselius (1902-1971), prix Nobel de chimie en 1948, qui réussit le premier à séparer par cette technique les protéines contenues dans des liquides biologiques complexes. Actuellement, l'électrophorèse des protéines en gel de polyacrylamide SDS-PAGE, développée par Laemmli (1970) est sûrement la plus utilisée. Grâce à cette technique, les protéines peuvent être séparées selon leurs masses moléculaires uniquement.

## 10.2. Principe

C'est un système où les protéines sont traitées avec le détergent anionique Sodium Dodécyl Sulfate SDS, tel que préconisé par Weber et Osborn (1969), pour détruire les structures secondaire, tertiaire et quaternaire. De plus, il s'absorbe sur les protéines pour leur conférer une charge négative. Le traitement par  $\beta$ -mercaptoéthanol, afin de réduire les ponts désulfure et un court traitement à la chaleur pour accélérer la réaction de la dénaturation des protéines.

L'électrophorèse des protéines est réalisée sur gel composé d'un gel de concentration (stacking gel) et d'un gel de séparation (resolving gel). La présence des gels ralentit les grosses protéines, elles se répartiront le long du trajet de migration en fonction de leurs poids moléculaires (Dicko, 2006).



**Chapitre II :**  
**Matériel et méthodes**

Notre étude a été menée en deux parties ; la première au champ où des essais et des mesures ont été effectuées durant deux campagnes successives (2017/2018 et 2018/2019) et la deuxième partie au laboratoire (laboratoire de biochimie R.D.C à la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Constantine -1- et laboratoire de protéomique situé au centre de recherche en biotechnologie CRBT, Constantine) afin de réaliser les analyses et les dosages requis.

## 1. Matériel végétal

Les espèces céréalières qui ont fait l'objet de ce travail comportent : trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), trois variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et trois variétés d'orges (*Hordeum vulgare* L.). Ces variétés proviennent des différentes régions d'Algérie et sont conservées à l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C.) d'El Khroub-Constantine. Le nom, le pédigrée et l'origine des variétés sont présentées dans le tableau 03.

Tableau 03. Nom, Pédigrée et l'origine des variétés étudiées.

Espèces	Variétés	Pédigrée	Origine
Blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf.)	Bousselem	Can 2109 //Jo /AA /3/ S 15 / Cr	Algérie
	GTA dur (Ziad)	Gta 'S'/durum 69//Egret'S'/3/ Win'S'	Mexique/Algérie
	Vitron (Hoggar)	Turkey 77/3/Jo/AA/Fg	Espagne
Blé tendre ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	ARZ (Gasave)	Mayo54/LR 64 // TAC 'S' /3/ LR 64	Mexique
	Ain abid (AS)	AS 81189'A'	Espagne
	Hidhab (HD)	HD 1220 /3/ Kal3 / Bjy	Mexique
Orge ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	Fouara	Deir Alla 106 / Strain 205 // Gerbel	Algérie
	Barberousse	Barberousse/PI382696//gloria:hv/ comanche-B	France
	Saida 183	Saida/6/cita'S'/4/Apm/RI//Manker/ 3/Maswi/Bon/5/Copal'S'/7/	Algérie

## 2. Conditions de culture

### 2.1. Localisation de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site de l'ITGC d'El Khroub-Constantine à une altitude de 640m, une latitude de 36°, 25 Nord et une longitude de 6°,67 Est situé dans la région d'EL Baaraouia (espace abritant le programme d'amélioration des céréales).

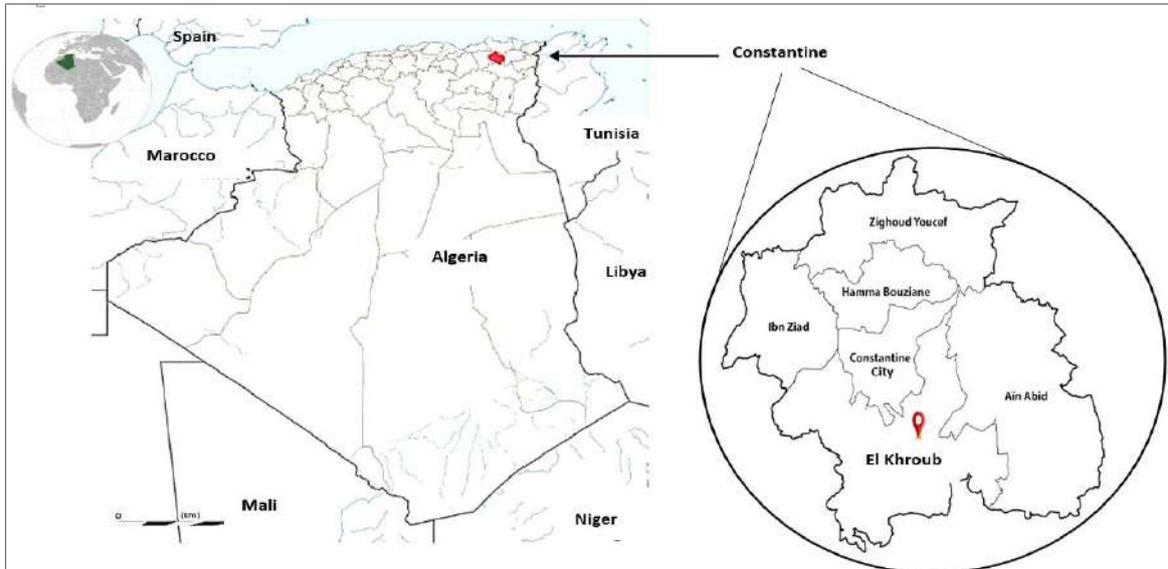


Figure 09. Situation géographique de la zone d'étude. (Boudersa *et al.*, 2021)

## 2.2. Caractéristiques physico- chimiques du sol de la zone d'expérimentation

Le sol du site a une texture argileuse limoneuse, avec une condition sèche et une topographie plate. L'étage bioclimatique du site est semi-aride qui se caractérise par un climat méditerranéen et une pluviométrie annuelle moyenne de 450 mm sur 25 ans.

L'analyse du sol est réalisée régulièrement par l'I.T.G.C. Les résultats sont représentés dans le tableau 04.

Tableau 04. Les caractéristiques physico- chimiques du sol.

Profondeur (cm)	0-30	30-60	60-90
Argile (%)	55	44	60
Limon fin (%)	29	3	6
Limon Grossier (%)	3	3	4
Sable fin (%)	11	11	18
Sable Grossier (%)	3	3	13
Matière organique (%)	1,49	1,45	1,37
pH	7,6	7,6	7,9
Conductivité électrique (mS/cm)	0,5	1,7	0,6
Densité réelle (g/cm <sup>3</sup> )	2,2	2,2	2,2

## 2.3. Mise en place de l'essai

L'essai a été réalisé au cours des deux campagnes agricoles 2017/ 2018 et 2018/2019. Le semis a été effectué le début Janvier. Nous avons réalisé un semis manuel à une profondeur régulière de  $4 \pm 1$  cm en répartissant les grains de manière régulière selon des lignes parallèles.

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif simple consiste à distribuer les parcelles CÔTE à CÔTE. Chacune faisant cinq mètres de longueur sur 1,2 mètres de la largeur et comprenant six lignes distantes de 20 cm l'une de l'autre ; soit une superficie de 6 m<sup>2</sup>, l'écartement entre parcelles est de 50 cm. Chaque parcelle élémentaire reçoit un traitement unique à une densité de 250 graines/m<sup>2</sup> (Figure 10).

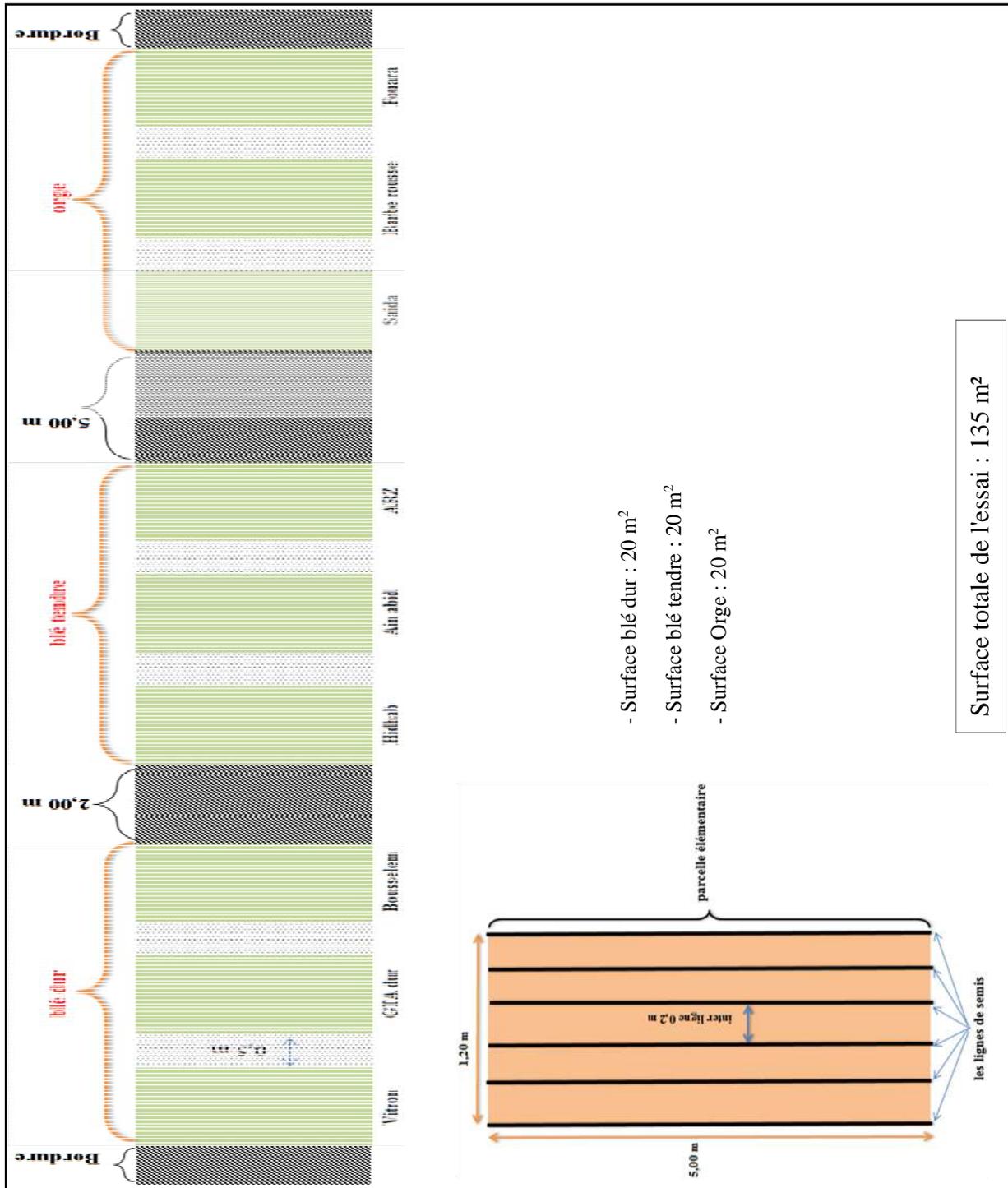


Figure 10. Schéma du dispositif d'étude.



**Chapitre III :**  
**Résultats et discussion**

## 1. Conditions climatiques

Actuellement, il y a une grande perturbation de climat méditerranéenne en Algérie, à cause de la désorganisation des saisons, bien remarquée durant les deux campagnes agricoles de notre étude, illustrée par une répartition irrégulière des pluies.

Les deux facteurs suivis et enregistrés dans la région sont principalement la pluviométrie et la température (Tableau 06), qui ont un effet majeur sur le développement des plantes et notamment les céréales.

Tableau 06. Pluviométrie et températures des campagnes (2017 / 2018) et (2018 / 2019). (I.T.G.C).

	Précipitation (mm) 2017/2018	Précipitation (mm) 2018/2019	Température moyenne (C°) 2017/2018	Température moyenne (C°) 2018/2019
Novembre	120,70	08,40	12,40	12,05
Décembre	62,50	30,60	09,21	09,11
janvier	28,40	130,20	07,49	07,48
Février	45,00	66,60	07,40	07,08
Mars	115,60	53,20	09,71	08,60
Avril	54,30	41,80	11,15	14,89
Mai	59,10	35,40	13,53	19,67
juin	12,90	3,80	17,72	26,32
Σ	498,5	370	/	/

Les données notées montrent que la deuxième année d'essai est marquée par une pluviosité inférieure à celle de la première année (- 25,5%).

Durant la première campagne, le cumul pluviométrique a été bon dans l'ensemble avec un cumul annuel de précipitations de 498,5 mm. Cette année se caractérise par un automne assez pluvieux, qui permet une préparation adéquate des lits de semence. Le printemps (Mars à Mai) est assez bien arrosé (229 mm) avec une répartition convenable bénéfique sur le remplissage du grain. Les températures étaient saisonnières, où le mois de février a été le plus froid avec 7,40 C° et le mois de juin a connu la température la plus élevée avec une moyenne de 17,72 C° au cours de cette année.

Alors que, la deuxième campagne a été caractérisée par un cumul annuel de précipitations de 370 mm, le mois de janvier a été marqué par une pluviométrie notable 130,20 mm, ce qui conduit inévitablement à l'asphyxie et à l'endommagement des graines plantées, en signifiant une diminution dans la vigueur et dans le nombre des plantes à l'avenir. Au printemps, et durant la période du plateau hydrique (Mars à juin), où les plantes ont besoin d'un maximum d'eau et des nutriments, nous avons enregistré une pluviométrie de 134,2 mm qui peut être considéré comme une quantité faible et insuffisante par rapport à celle enregistrée à la même période de

l'année précédente 241,9 mm. La gamme des températures moyennes de l'année 2018/2019 varie de 7,08 C° à 26,32 C°, qui correspondent aux deux mois Février et Juin successivement, les mois le plus froid et le plus chaud de la campagne.

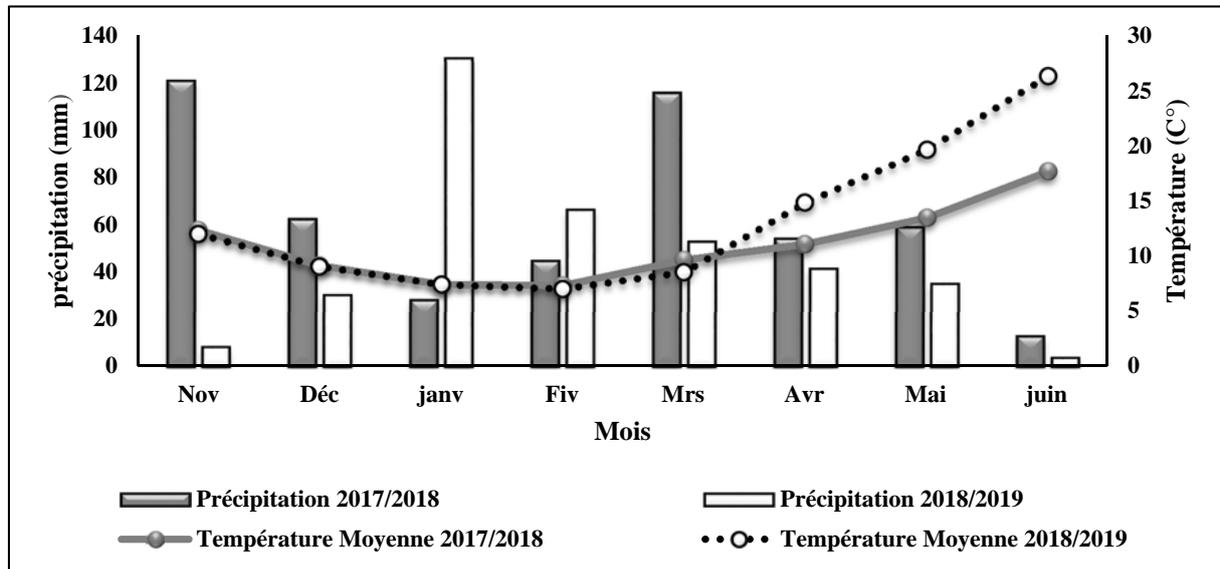


Figure 16. Diagramme Ombrothermique des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

## 2. Analyse du comportement variétal des trois espèces étudiées au cours des deux années d'expérimentation

L'analyse des résultats obtenus au cours des deux campagnes agricoles, nous a permis de mettre en évidence la réponse des variétés étudiées aux aléas ambiantes de la région au niveau agronomique, phénologique (durée d'épiaison), morpho-physiologique et biochimique.

### 2.1. En termes de productivité

Les caractères de production sont ceux qui déterminent potentiellement le rendement tels que le tallage herbacé, le tallage épi, le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, le nombre de grain par épi, ainsi que le taux de remplissage du grain, exprimé par le poids de mille grains.

Dans l'ensemble, les résultats enregistrés au cours de la première campagne ont été supérieurs à ceux enregistrés durant la deuxième campagne, où une diminution a été enregistrée dans tous les paramètres, aussi bien pour les blés que pour l'orge. Les valeurs obtenues pour les trois espèces sont reportées dans les deux tableaux 01 et 02 ; annexe 02. L'analyse des résultats est limitée au rendement et ses composantes.

### 2.1.1. Nombre d'épis par mètre carré (Nb E/m<sup>2</sup>)

La variation du nombre d'épis par mètre carré présente une légère convergence chez les variétés de blé dur au cours des deux campagnes agricoles, à l'exception la variété GTA dur. Tandis qu'elle diverge nettement au sein de la totalité des variétés chez les deux autres espèces à savoir le blé tendre et l'orge durant les deux campagnes.

Pour l'année 2017/2018, les valeurs enregistrées pour le Nb E/m<sup>2</sup> varient entre  $237,00 \pm 6,24$  et  $265,00 \pm 1,73$  E/m<sup>2</sup> chez les variétés Bousselem et GTA dur respectivement pour le blé dur, entre  $211,20 \pm 1,58$  et  $273,00 \pm 2,00$  E/m<sup>2</sup> chez les variétés Ain abid et l'ARZ pour le blé tendre et entre  $189,60 \pm 1,52$  et  $213,2 \pm 3,05$  E/m<sup>2</sup> pour l'orge (Barbe rousse et Saida respectivement).

En 2018/2019, une régression du Nb E/m<sup>2</sup> a été constatée chez les trois espèces (Figure 17). Chez le blé dur, la variété GTA dur est la plus affectée par les conditions climatiques défavorables de la deuxième campagne. Elle a été caractérisée par la plus forte diminution du Nb E/m<sup>2</sup> (12,45%) par rapport aux deux autres variétés Bousselem et Vitron, qui ont conservé presque le même Nb E/m<sup>2</sup> durant les deux campagnes. Pour le blé tendre, la plus forte perte du Nb E/m<sup>2</sup> a été enregistrée chez la variété ARZ, estimée par 30,76% quant aux deux variétés Ain abid et Hidhab, elles ont enregistrées un taux similaire de diminution équivalent à 18,4%. Pour l'orge, des taux de diminution du Nb E/m<sup>2</sup> de 36,36 ; 27,61 ; et 26,82 % ont été notés chez les trois variétés étudiées ; Barbe rousse, Fouara et Saida respectivement.

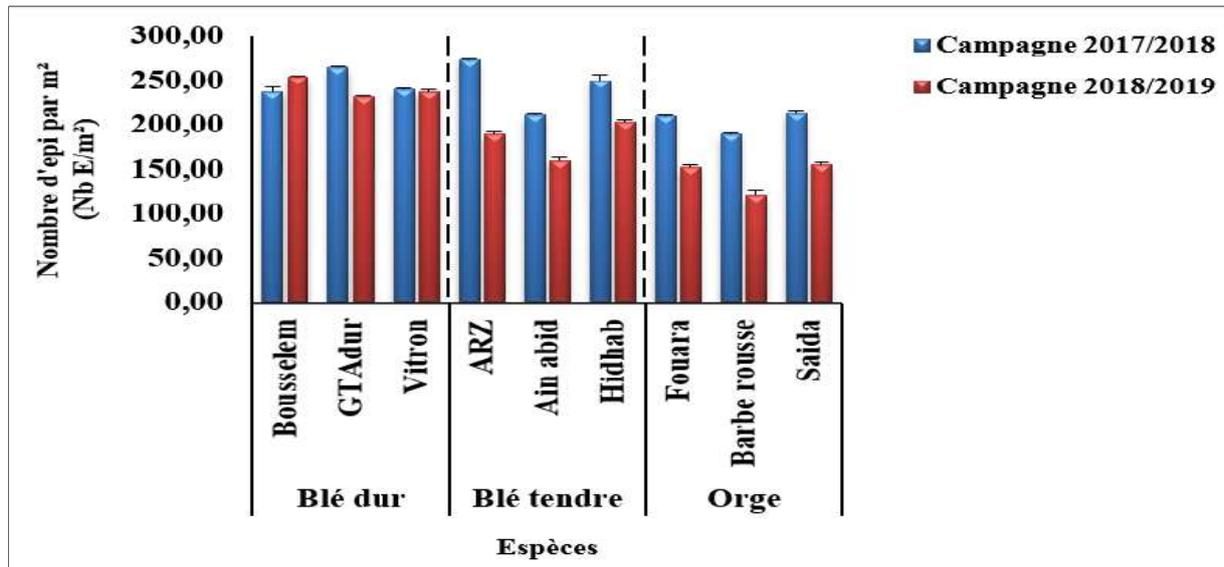


Figure 17. Variation du nombre d'épis par mètre carré chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Les basses températures des mois de Janvier et Février et les crues enregistrés durant la deuxième campagne coïncident avec la période du début tallage, affectent considérablement le nombre des épis / unité de surface. La production de la biomasse arienne est dépendante de plusieurs facteurs dont le nombre de feuilles produites, la capacité de tallage herbacées et celle de faire monter le plus d'épis par unité de surface emblavée. Elle est aussi sous certaines conditions, dépendante de la hauteur de la plante (Bouzerzour *et al.*, 1998).

Selon Bouziani *et al.* (2015), le peuplement d'épi dépend en premier lieu de potentiel génétique de la variété, de la densité de semis et de la puissance de tallage. Il est même conditionné par la nutrition azotée, en revanche toute carence en azote entraîne une régression des tiges et une diminution de leur fertilité, ainsi que des perturbations de l'alimentation hydrique de la plante pendant le tallage. De plus, l'augmentation significative de la température et le manque de pluie durant les deux mois Avril et Mai ont exercé un impact négatif sur le nombre d'épi de la deuxième saison. Nos résultats sont cohérents avec ceux de Mekhlouf *et al.* (2012) qui ont signalé que la présence d'un stress pendant la période des 10 jours avant et après la date de réalisation du stade épiaison est délétère à cette composante.

### **2.1.2. Nombre de grains / épi (Nb G/E)**

Au cours de la même campagne agricole, le nombre de grains / épi a été convergent chez les trois variétés de blé dur. Par contre, il a été très divergent chez les variétés de blé tendre et de l'orge.

Durant la première campagne, pour le blé dur, la plus grande valeur du Nb G/E  $44,40 \pm 1,44$  G / E a été enregistrée chez la variété GTA dur. Alors qu'une valeur minimale de  $42,30 \pm 2,07$  G/E est observée chez la variété Bousselem. Pour le blé tendre, la valeur maximale du Nb G / E  $55,00 \pm 2,00$  G/E a été notée chez la variété ARZ et la valeur minimale  $42,90 \pm 2,00$  G/E a été enregistrée par la variété Hidhab. Pour l'orge, les valeurs du Nb G/E s'étalent entre  $33,80 \pm 0,00$  et  $53,90 \pm 0,57$  G/E chez Saida et Fouara respectivement.

La deuxième campagne a été caractérisée par une diminution du Nb G/E par rapport à la campagne précédente, la figure 18 révèle la présence d'une diminution dans le Nb G/E au sien de toutes les variétés durant la deuxième campagne. Pour le blé dur, le taux de la diminution a été estimé par  $8,55 \pm 0,87\%$ , le taux le plus discriminant a été observé chez la variété Vitron  $9,40\%$ . Chez le blé tendre, le taux de la diminution était égal à  $9,93\%$  la valeur la plus élevée a été constaté chez la variété Ain abid  $10,82\%$ . Chez l'orge, un taux de diminution estimé à

9,68 ± 0,38% a été noté dont la variété Barbe rousse a été distinguée par le taux le plus important 10,05%.

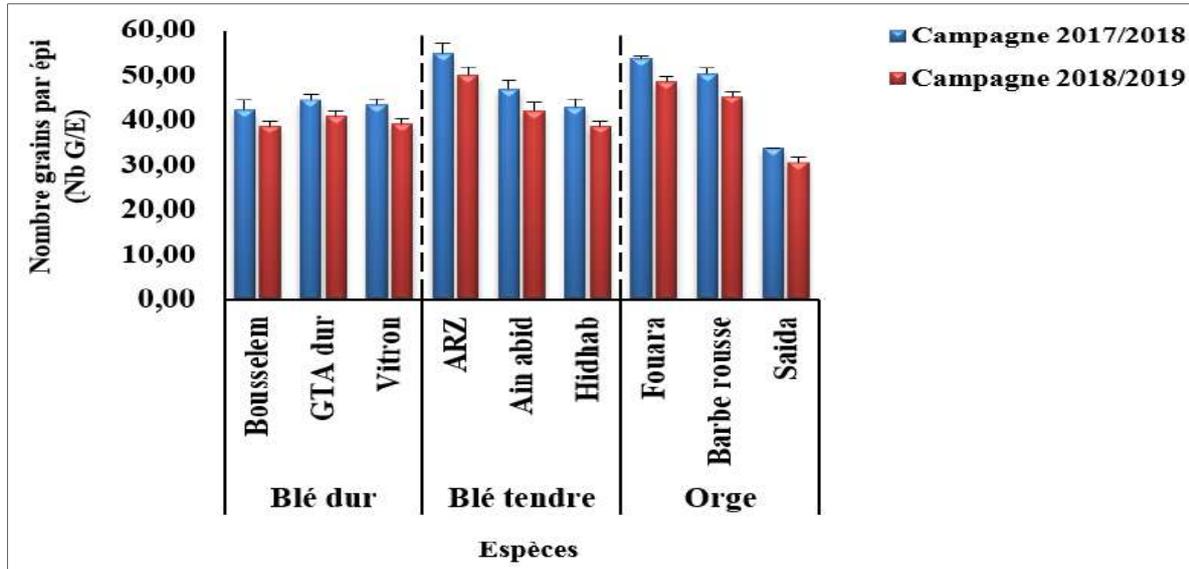


Figure 18. Variation du nombre de grains par épis chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Le nombre de grain varie fortement entre nos variétés. Ceci est dû à plusieurs origines tels que la différence de fertilité d'épi entre génotypes, des différences génotypiques de nombre d'épis formé par unité de surface, des différences de nombre d'épillets et de nombre de fleurs formées (Nouar, 2015 ; Salmi *et al.*, 2019).

A travers nos résultats, il nous apparaît que les hautes températures enregistrées en fin de cycle de la culture au cours de la campagne 2018/2019 ont occasionné des dégâts considérables au niveau des épis, provoquant la stérilité des épillets, en réduisant ainsi, le nombre de grains par épi donc le rendement grain.

D'après Belaid (1986), le nombre de grains par épi est influencé par le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, par les caractéristiques variétales, par la disponibilité en eau et par la nutrition azotée et phospho-potassique. Les résultats obtenus pour ce trait dans cette étude, sont soutenues par Farooq *et al.*, (2011) qui ont déclaré que ce caractère est sensible aux facteurs abiotiques, surtout ceux liés aux températures extrêmes pendant la période de floraison, ce qui entraîne la stérilité des fleurs et par conséquent à une diminution du nombre de grain par épi . De même Bouzerzour *et al.* (2002) ont montré que le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets, ce qui affecte négativement le nombre de grains par épis.

### 2.1.3. Le poids de 1000 grains (PMG)

Au cours de la même campagne agricole, les valeurs du PMG sont convergentes chez les variétés de chaque espèce. Pour l'année 2017/2018, les valeurs maximales et minimales du PMG chez le blé dur ont été observées chez les deux variétés GTA dur et Vitron ( $46,45 \pm 0,11$  et  $45,17 \pm 0,22$  g) respectivement. Alors que chez le blé tendre, les deux variétés ARZ et Ain abid se caractérisent par le PMG le plus important  $34,83 \pm 0,88$  g et le plus faible  $34,09 \pm 0,69$  g simultanément. Chez l'orge, les valeurs du PMG s'étalent entre  $51,97 \pm 1,10$  et  $31,69 \pm 1,12$  g chez les deux variétés Saïda et Barbe rousse respectivement.

A partir des résultats illustrés dans la figure 19, on peut distinguer une baisse du PMG chez les trois espèces durant la campagne 2018/2019, pour le blé dur, la plus forte baisse a été notée chez la variété Vitron 6,95%, alors qu'une baisse similaire a été enregistrée chez les variétés GTA dur et Bousselem 4,28%. Pour le blé tendre, les taux de baisse étaient de 10,19 ; 8,03 et 6,25% chez les variétés Hidhab, Ain abid et ARZ respectivement. Alors que chez l'orge, les taux de baisse étaient très proches chez les trois par un moyen estimé à 8,11%.

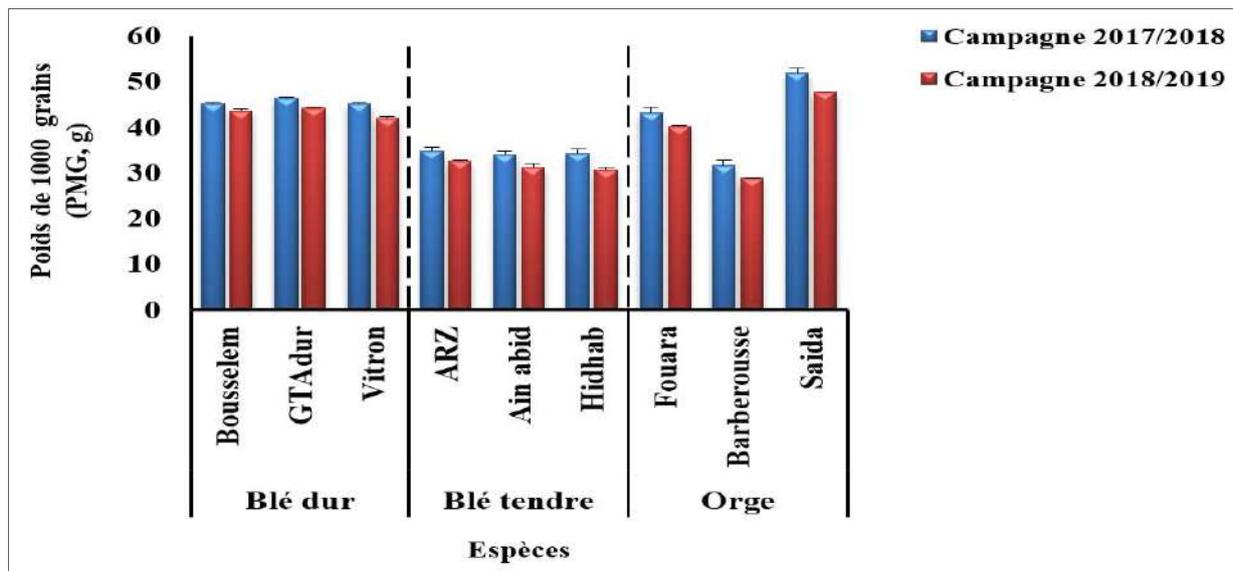


Figure 19. Variation du poids de 1000 grains chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

La diminution du poids de 1000 grains chez les variétés étudiées au cours de la deuxième campagne pourrait s'expliquer par les conditions restrictives qui ont caractérisé cette campagne, notamment la période qui s'étale entre le mois de Mai et le mois de Juin, et qui coïncidait avec la période d'épiaison, la floraison ainsi que la période de remplissage des grains, ce qui entraîne une diminution de la taille des grains et par conséquent une diminution du rendement.

Chez les céréales, le poids de 1000 grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilats récemment photo synthétisés.

D'après Megherbi *et al.* (2012), le poids de mille grains est une composante directement dépendante des conditions d'alimentation en eau durant la phase de remplissage et de formation du grain, est dépendante des translocations et des conditions de températures après le palier hydrique.

Panozzo et Eagles, (1999) ont rapporté que dans certains cas, le taux de remplissage de grain est inférieur dans les environnements secs par rapport aux environnements humides. En effet, les conditions contraignants enregistrées pendant l'année 2018/2019 ont réduit la durée de la phase de remplissage des grains et ont limité l'accumulation des réserves dans les grains conduisant à une diminution du poids des grains. Les températures élevées modifient également la vitesse potentielle de remplissage des grains en carbone et en azote (Jeuffroy *et al.*, 2000).

Chiara et Maria, (2014) ont signalé que la sécheresse et les températures de fin de cycle contribuent de manière significative aux variations du poids de 1000 grains chez les céréales. Belkharhouche, (2016) a attribué la raison du mauvais remplissage des grains sous stress thermique et hydrique de fin de cycle à une diminution rapide de l'activité photosynthétique limitant sa contribution au remplissage du grain. De plus, sous ces conditions contraignantes, la plante transpire, la feuille étendard, dernier organe en activité photosynthétique, n'arrive pas à lui seul à satisfaire les besoins de la photo respiration et ceux du remplissage du grain. En outre, Holloway et Jeffree, (2017) indiquent que le déficit hydrique provoque une réduction du poids de 1000 grains peut atteindre les 50 %.

#### **2.1.4. Le rendement en grain (Rdt)**

Concernant le rendement en grain, une visible divergence est remarquée chez les variétés étudiées de deux genres (*Triticum* et *Hordeum*) soit au sein de la même campagne ou entre les deux campagnes.

Au cours de la campagne 2017/2018, il est à noter que toutes les variétés étudiées ont présenté un rendement en grains acceptable. Chez le blé dur, les valeurs du rendement varient respectivement entre  $45,30 \pm 0,20$  à  $54,60 \pm 0,22$  qx/ha chez Bousselem et GTA dur et entre  $33,82 \pm 0,71$  à  $52,29 \pm 2,17$  qx/ha chez les deux variétés Ain abid et ARZ respectivement. Chez l'orge, le rendement le plus élevé a été enregistrée chez la variété Fouara avec

49,18 ± 1,87 qx/ha, tandis que le plus faible rendement a été constaté chez la variété Barbe rousse 30,28 ± 1,88 qx/ha.

Pendant la campagne 2018/2019, nous avons discerné une nette réduction dans le rendement en grain. Chez le blé dur, le taux de réduction maximal a été noté chez la variété GTA dur 23,11% suivie par la variété Vitron avec 7,7%, alors que la variété Bousselem a marqué un taux minimal de 5,38%. Pour le blé tendre, le taux de réduction optimal est enregistré chez la variété ARZ et estimé à 41,72%. Alors que les deux variétés Ain abid et Hidhab ont enregistré une réduction de rendement de 37,58 et 34,03% respectivement. Chez l'orge, le taux de perte le plus important est estimé à 47,98% chez la variété Barbe rousse. Tandis que, les deux autres variétés Fouara et Saida présentaient un taux de réduction presque similaire de 39,24% (Figure 20).

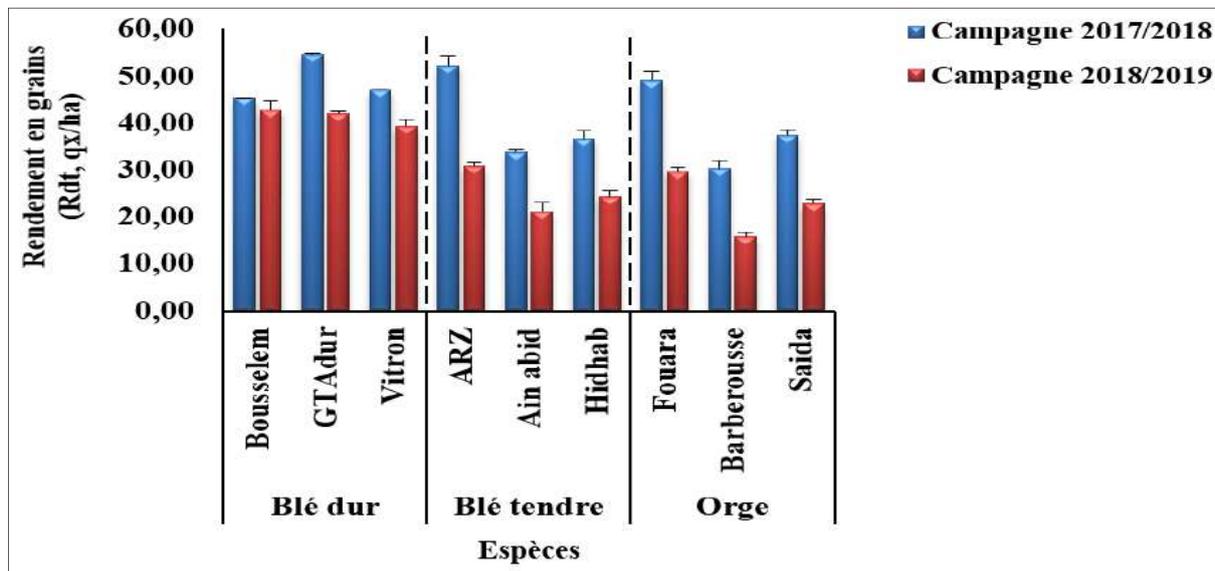


Figure 20. Variation du rendement en grains chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Selon Li et Gill (2004), le rendement en grain est le caractère agronomique le plus important et le plus complexe. Il est déterminé, physiologiquement par la source (les organes photosynthétiques, surtout les feuilles supérieures) et la capacité de translocation des assimilats. Mathématiquement, il est le produit d'une série de composantes, nombre de plantes/unité de surface, nombre d'épis par plante, nombre de grains par épi et poids du grain. Génétiquement, il est contrôlé par de nombreux gènes, à action additive, de dominance, d'épistasie et de l'interaction génotype environnement (G X E).

Le manque d'eau, ainsi que les températures élevées enregistrées lors de la deuxième campagne, sont à l'origine du moindre rendement lors de cette campagne (498,5 mm en 2017 contre 370

mm en 2018). Ceci est en plein accord avec ce qui rapporté par Moragues *et al.* (2006) et Belhassen *et al.* (2006).

Ribot *et al.* (2012) ont montré que les conditions stressantes réduisent la croissance et la production des cultures, car elles affectent tous les processus physiologiques et chimiques de la plante, provoquant des effets négatifs sur la transpiration, la photosynthèse, la respiration et les réactions métaboliques et produit des variations anatomiques. Cela nous permet d'expliquer les pertes de rendement enregistrées lors de la deuxième campagne.

De même, Annicchiarico, (2002) et Cooper *et al.* (2009) ont montré que sous climat méditerranéen la performance des cultures, telles que le rendement en grain et la stabilité potentielle du rendement, dépendent étroitement des effets combinés du génotype (G), des conditions environnementales du système de production (E) et de leur interaction (G X E). La variation du rendement dépend surtout des variations environnementales (kara, 2010). De nombreux chercheurs se sont intéressés à l'étude de l'effet des conditions contraignantes sur le rendement en grains et ont obtenu des résultats correspondant aux nôtres chez l'orge (Ladoui *et al.*, 2020), chez le blé tendre (Bachiri, 2020) et chez le blé dur (Messaoudi *et al.*, 2021).

## **2.2. En terms d'adaptabilité**

### **2.2.1. La durée d'épiaison (D Ep.)**

S'agissant de la durée d'épiaison, Au cours de la première année, nous avons enregistré que la durée d'épiaison chez la variété Bousselem a été assez longue et estimée à 123 jours par rapport aux deux autres variétés, qui étaient respectivement de 120 jours pour GTA dur et 118 jours pour Vitron chez le blé dur. Concernant le blé tendre, la durée d'épiaison est de 123 jours pour la variété ARZ et Hidhab et de 130 jours pour la variété Ain abid. Alors que chez l'orge, la plus longue durée est observée chez la variété Barbe rousse avec 116 jours contre une durée de 113 jours pour les deux autres variétés Fouara et Saida.

Durant la deuxième année, nous avons enregistré un rétrécissement de la période d'épiaison pour les trois espèces étudiées ; il a été estimé à environ neuf jours pour les variétés du blé tendre, trois à quatre jours pour les variétés de l'orge et de deux jours pour les variétés du blé dur.

Les valeurs de la durée d'épiaison pour les trois espèces sont représentées dans la figure 21, et consignées dans les deux tableaux 01 et 02 ; annexe 02.

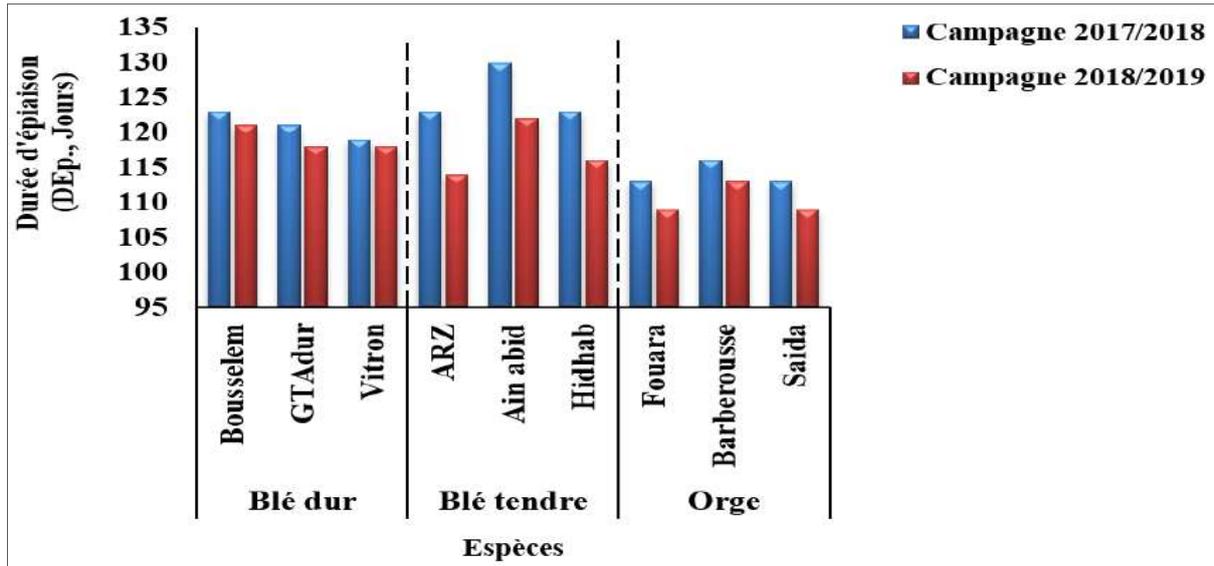


Figure 21. Variation des durées d'épiaison chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Nous pouvons attribuer la raison du rétrécissement de la durée d'épiaison chez les deux genres au cours de la deuxième campagne aux conditions climatiques qui ont caractérisé cette dernière. Ceci est en parfait accord avec ce qui a été déclaré par Abdipur *et al.* (2013) qui ont conclu que la durée que prend la plante pour atteindre le stade épiaison est réduite au moment du stress. Le timing des événements phénologiques représente un facteur important pour l'adaptation dans un environnement donné (Richards, 1991 ; Shorter *et al.*, 1991). La phénologie intervient dans l'adaptation parce qu'elle aide à un meilleur ajustement du cycle de développement de la plante pour l'assortir au climat de l'environnement de production (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Selon Uptmour (2017), la précocité à l'épiaison présente un critère de sélection et est désignée comme un mécanisme des plus importants de l'esquive ou de l'échappement des contraintes climatiques. Néanmoins, l'augmentation de la précocité des céréales, bien qu'elle ait donné des résultats incontestables, n'est toutefois pas sans inconvénients. Elle contribue, entre autres, à la réduction de la productivité et ne convient que pour une sécheresse tardive et de courte durée (Melki et Dahmane, 2008).

L'analyse de cette dernière dégage une variabilité intra-spécifique et inter-spécifique au sien de nos variétés. La comparaison des valeurs obtenues chez les deux genres avec celles de Soltner (2005) montre bien que ces variétés sont de type alternatif.

D'après ces résultats, nous pouvons classer nos variétés en fonction de la précocité à l'épiaison comme suit :

- Blé dur : Vitron-GTA dur, Bousselem.
- Blé tendre : ARZ, Hidhab-Ain abid.
- Orge : Fouara-Saida, Barbe rousse.

Par ailleurs il ressort que l'orge se caractérise par une durée semi-épiation courte par rapport à celle du blé.

Ce constat est connu empiriquement par les agriculteurs algériens qui installent les cultures d'orge dans les régions les plus reculées du semi-aride où la période de sécheresse s'annonce plus tôt, sachant que les génotypes de cette espèce arrivent à esquivier à ce paramètre climatique (Zerafa *et al.*, 2017).

Sur le plan morphologique, divers paramètres ont été étudiés à savoir la SF, la HP, la LC, la LB ainsi que la LE. Les résultats relatifs à ces paramètres sont regroupés dans les deux tableaux 01 et 02 ; annexe 02. L'analyse des résultats s'est limitée à ceux de la SF et de la HP, cela n'exclut pas le rôle important des autres paramètres.

### **2.2.2. La surface foliaire**

La variation de la surface foliaire chez les variétés des trois espèces a été distinguée clairement au cours des deux campagnes agricoles

durant la première année, l'intervalle de cette variation (Figure 22) s'étale pour le blé dur, entre  $29,14 \pm 2,85$  et  $38,55 \pm 0,37$  cm<sup>2</sup> chez les deux variétés Vitron et GTA dur respectivement, et entre  $24,36 \pm 1,68$  et  $35,23 \pm 3,43$  cm<sup>2</sup> pour le blé tendre, chez ARZ et Hidhab respectivement et entre  $11,86 \pm 0,75$  et  $16,04 \pm 0,76$  cm<sup>2</sup> pour l'orge, chez les deux variétés Barbe rousse et Fouara respectivement . Contrairement aux résultats obtenus en deuxième année, qui révèlent une nette réduction de la surface foliaire pour toutes les variétés étudiées. En blé dur, la réduction la plus importante de 27,17% a été enregistrée chez la variété Vitron, alors que deux réductions modérée et baisse de 17,22 et 5,57 % ont été marquées chez les deux autres variétés GTA dur et Bousselem successivement. En blé tendre, la variété Hidhab a été caractérisée par la surface foliaire la plus réduite estimée par un taux de 13,42%, alors qu'une réduction équivalente à 6,42% est marquée chez les deux variétés ARZ et Ain abid. Pour l'orge une réduction accentuée a été notée chez la variété Saida équivalente à 42,39%. Tandis que les deux autres variétés Fouara et Barberousse ont enregistré des abaissements de l'ordre de 34,28 et 34,58 % respectivement.

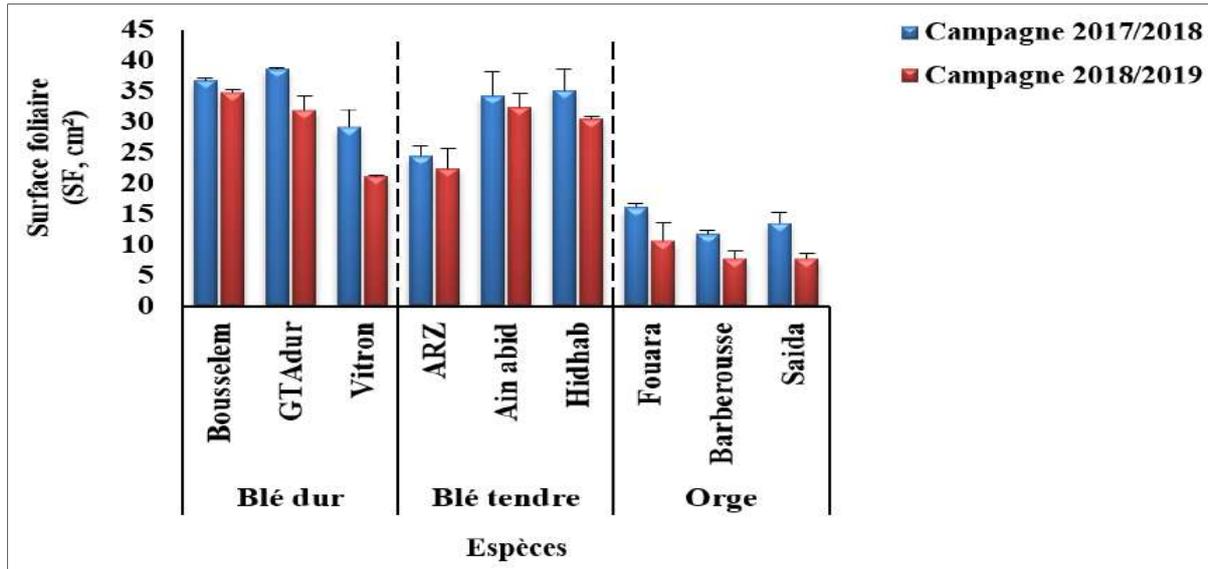


Figure 22. Variation de la surface foliaire chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Le paramètre de la surface foliaire constitue un indicateur sensible de la tolérance des variétés aux stress de l'environnement. Sa diminution sous le régime hydrique limitant au cours de la deuxième campagne est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire. En effet, la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau.

Selon Belkharchouche *et al.* (2009), 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.

Benmahammed *et al.* (2008) indiquent également que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car la plante évite le stress au lieu de le contrer. De ce fait, une surface foliaire réduite comme celle observée chez nos variétés au cours de la deuxième année perdra moins d'eau, donc ces derniers adoptent une stratégie d'évitement, qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante, les résultats de cette étude étaient semblables à ceux obtenus par (Salmi, 2015 ; Messaoudi *et al.*, 2021).

### 2.2.3. La hauteur de la plante HP

Une forte convergence est observée entre les hauteurs des trois variétés au sein de chaque espèce durant les deux campagnes et entre la même variété au cours de deux campagnes également.

Les valeurs enregistrées pour ce paramètre lors de la première campagne variaient entre  $81,44 \pm 0,59$  et  $91,77 \pm 1,70$  cm pour le blé dur chez les deux variétés GTA dur et Vitron respectivement, et entre  $94,25 \pm 2,63$  et  $106,10 \pm 1,00$  cm pour le blé tendre chez les variétés ARZ et Ain abid. Chez l'orge, la hauteur la plus élevée de  $106,40 \pm 1,00$ , a été constatée chez la variété Barbe rousse ; La hauteur basse de  $95,50 \pm 2,02$  cm, a été observée chez Fouara.

Quant à la deuxième année, il ressort que toutes les variétés du blé dur ont présenté un léger rétrécissement en hauteur durant l'année 2018/2019 qui ne dépasse pas un taux de 6%. Chez le blé tendre, le taux le plus élevé a été constaté chez la variété ARZ avec 10,66%, tandis que les deux variétés Hidhab et Ain abid ont affiché un taux presque identique estimé à 0,19%. Chez l'orge, la variété Barbe rousse se distingue par la même longueur que l'année 2017/2018, des taux de rétrécissement de 8,41 et 10,47% ont été observés chez les deux variétés Saida et Fouara respectivement (Figure 23).

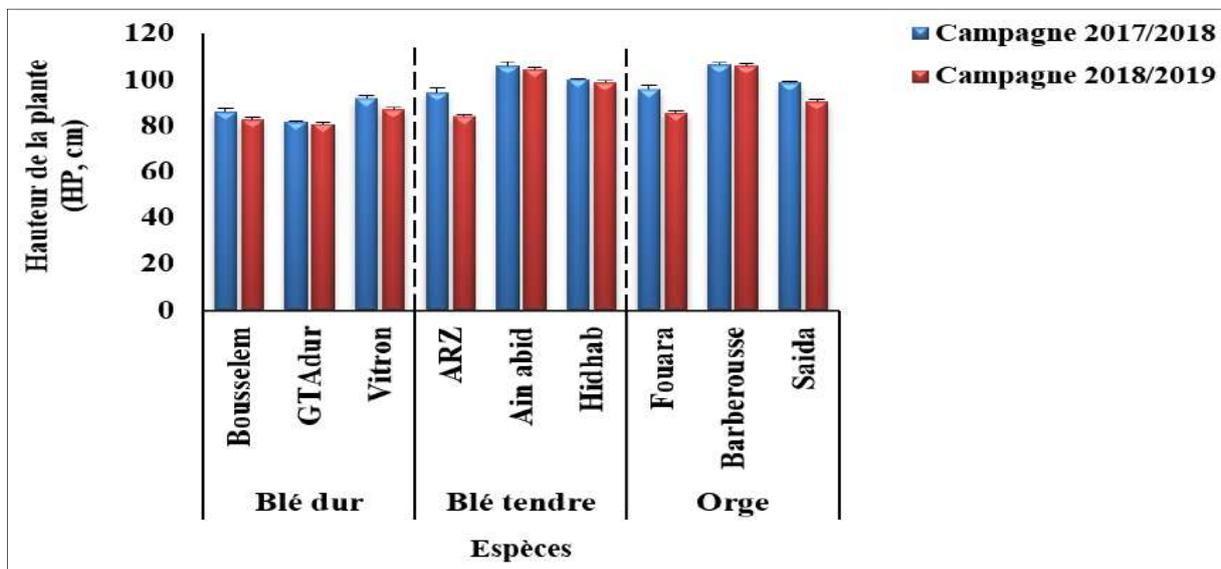


Figure 23. Variation de la hauteur de la plante chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Ces résultats indiquent que la hauteur chez les variétés dans la campagne 2017/2018 s'exprime mieux que chez les variétés en 2018/2019. Cette réduction pourrait s'expliquer par les conditions climatiques défavorables survenues durant cette campagne. Dans leurs recherches, Khan *et al.* (2010) montrent que la hauteur des plantes est fortement influencée par le milieu

notamment les facteurs limitant de la croissance qui sont liés aux paramètres climatiques, tels que la pluviométrie et la variabilité des amplitudes thermiques qui peuvent contrarier la croissance et le développement des plantes.

En effet, l'avènement des hautes températures dès le printemps, le plus souvent associé au déficit hydrique, accélère le développement de la plante au détriment de la croissance (Bahlouli *et al.*, 2006). Nos résultats semblent très cohérents avec ceux de Song *et al.*(2007) ; Yin *et al.*(2008) ; Ge *et al.*(2012), qui ont mentionné que l'effet le plus habituel de ces contraintes, consiste en une réduction de la croissance des différentes parties de la plante et leur développement.

Mekliche *et al.* (2003) signalent que le déficit hydrique a un effet très néfaste sur ce caractère. Selon Annichiarico *et al.* (2005), la longueur de la tige considérée comme un caractère clé de l'adaptation au stress lié à la sécheresse terminal. 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.

Steliana *et al.* (2018) rapportent que la stabilité de certains paramètres tels que la hauteur de la plante est très importante dans le processus de sélection, l'influence des variations climatiques doit donc être réduite par la réponse génétique des variétés.

Au niveau physiologique, notre étude comprenait la détermination de la teneur relative en eau des feuilles et de leurs teneurs en pigments chlorophylliens et en caroténoïdes.

#### **2.2.4. La Teneur Relative en Eau (TRE)**

Nous remarquons une nette perturbation dans les valeurs obtenues au paramètre de la teneur en eau touche la totalité des variétés étudiées chez les trois espèces au niveau intra et inter campagne agricole.

Au cours de la première campagne, l'intervalle de ce paramètre pour les trois variétés varie de  $69,90 \pm 2,16$  à  $83,04 \pm 5,70\%$  pour le blé dur chez les deux variétés Bousselem et Vitron successivement, et entre  $88,39 \pm 1,30$  et  $90,09 \pm 3,12\%$  pour le blé tendre chez les deux variétés Ain abid et ARZ respectivement. Pour l'orge, ces valeurs s'étalent entre  $75,56 \pm 5,40$  et  $92,80 \pm 3,80\%$  chez les deux variétés Fouara et Saida respectivement. Pendant la deuxième campagne, nous constatons une chute remarquable dans les valeurs de la TRE à la totalité de nos variétés ; pour le blé dur, la chute optimal a été notée chez la variété Bousselem 22,97%,

suivie par une chute modérée chez la variété Vitron qui a été estimée par 9,63%. En fin, une chute minimale bien installée chez la variété GTA dur, équivalente à 5,02%. En blé tendre, une dégradation maximale de 17,74% a été observée chez la variété Hidhab, et une autre minimale équivalente à 6% a été observée chez les deux variétés ARZ et Ain abid. Pour l'orge, des taux de chute d'ordre 42,65 ; 29,84 et 3,12% ont été enregistrés chez les trois variétés à savoir Saida, Barbe rousse et Fouara (Figure 24).

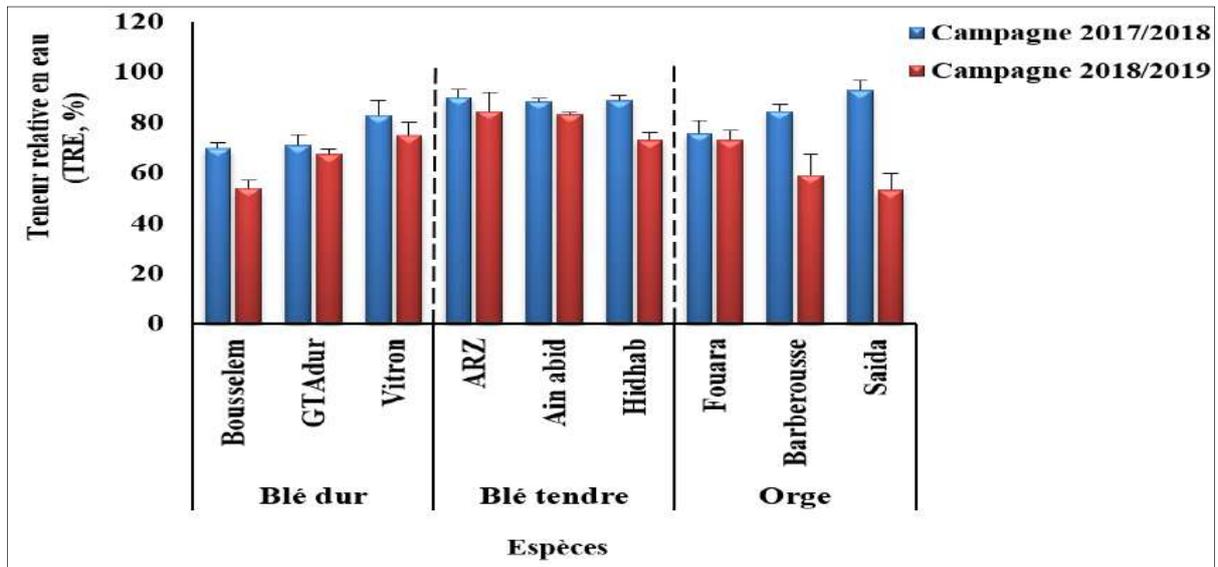


Figure 24. Variation de la teneur relative en eau chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

L'analyse du teneur relatif en eau permet de décrire d'une manière globale, la capacité de la plante à se maintenir hydratée en conditions déficitaires (Pirzad *et al.*, 2011). Elle est une approche alternative intéressante parce que ce trait est examiné facilement et rapidement (Oukarroum, 2007).

Selon Shao *et al.* (2006), le maintien d'une TRE élevée en condition de stress peut résulter de deux mécanismes d'adaptation : le maintien d'une élasticité élevée des tissus ou une diminution de la pression osmotique. Les aléas environnementaux (manque d'eau, haute température...) sont des éléments déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Ils induisent chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau (Albouchi *et al.*, 2000).

L'abaissement de la teneur relative en eau sous la contrainte a été signalé par de nombreux auteurs sur plusieurs espèces, telles que *Vigna unguiculata* et *Phaseolus vulgaris* (Cruz *et al.*,

1998) et le blé dur (Bajji *et al.*, 2000). Ce dernier auteur a rapporté en 2001 que la teneur en eau des feuilles diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol.

D'autre part, Bayoumi *et al.* (2008) ont attribué l'abaissement de ce paramètre sous les conditions défavorables soit aux différences entre les variétés dans le pouvoir de pompage de l'eau du sol par les racines, soit au pouvoir du contrôle stomatique des pertes d'eau par les surfaces évaporèrent. Il peut être aussi attribué à des différences entre les variétés dans le pouvoir d'accumulation des métabolites et de l'ajustement osmotique pour le maintien de la turgescence cellulaire et les activités physiologiques.

### **2.2.5. Teneurs en pigments chlorophylliennes et en caroténoïdes**

Nous avons procédé au dosage des teneurs moyennes en Chl (a), Chl (b), chlorophylle totale Chl(t) et les caroténoïdes (Car), paramètres susceptibles de nous indiquer un éventuel stress et permettre un aperçu sur l'activité métabolique de la plante. Les résultats du dosage sont représentés sur la figure 25 et consignés dans les deux tableaux 01 et 02 ; annexe 02 ; pour l'analyse des résultats nous avons pris les concentrations en chlorophylle totale comme un échantillon.

Une nette divergence est observée entre la teneur de la chlorophylle totale chez les deux espèces de blé au sein de la même campagne. Alors qu'une convergence similaire est très bien marquée pour l'orge. Aussi, nous remarquons une forte chute enregistrée chez la totalité des variétés des trois espèces de la deuxième campagne équivalente à la moitié chez les sept variétés à l'exception les deux variétés GTA dur et ARZ suite aux conditions environnementales dominantes.

Sous les conditions de la première campagne, les variétés du blé dur présentent des valeurs qui s'étalent entre  $223,82 \pm 5,08$  et  $262,22 \pm 19,45 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}/\text{MF}$  pour la Chlt chez les deux variétés Vitron et GTA dur respectivement et entre  $248,49 \pm 0,90$  et  $296,04 \pm 8,53 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}/\text{MF}$  pour le blé tendre chez les deux variétés Ain abid et ARZ. Concernant l'orge, la teneur la plus élevée a été enregistrée chez la variété Fouara  $250,54 \pm 6,82$  et la teneur la plus faible a été constatée chez la variété Barbe rousse  $247,23 \pm 8,53 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}/\text{MF}$  (Figure 25).

En deuxième campagne, nous marquons des valeurs inférieures de Chlt à celles de la campagne précédente chez toutes les variétés étudiées. Chez le blé dur, les chutes constatées étaient confinées entre 11,76 et 53,64% chez les deux variétés GTA dur et Bousselem respectivement ; entre 17,60 et 53,89% chez les deux variétés de blé tendre variétés ARZ et Hidhab

successivement. Chez les deux orges Fouara et barbe rousse, la chute a dépassé la moitié de la teneur de Chlt, équivalente à 47,15 et 61,08% respectivement.

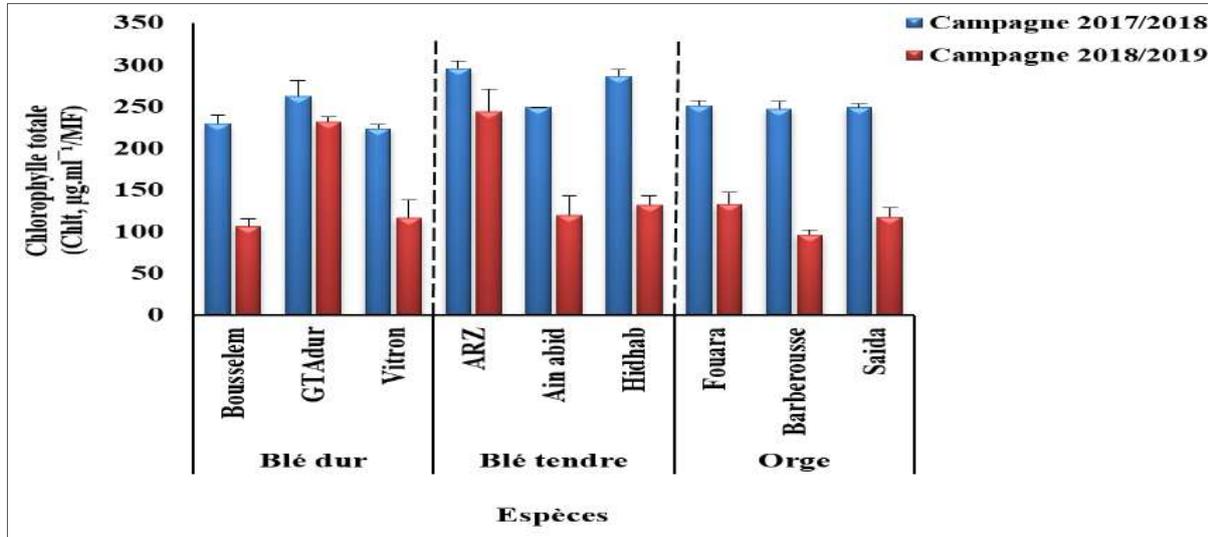


Figure 25. Variation de la chlorophylle totale chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

La chlorophylle constitue la base des systèmes photosynthétiques par le captage de l'énergie solaire. De plus, elle contient par le biais des chloroplastes des enzymes qui sont des catalyseurs et qui rendent ainsi possible les réactions chimiques des différentes étapes de la photosynthèse (Hopkins, 2003).

La teneur en chlorophylle a été utilisée dans plusieurs études pour détecter les différences génotypiques en réponse au stress chez les céréales (Khayatnezhad *et al.*, 2011 ; Bousba *et al.*, 2013 ). D'après Hikosaka *et al.* (2006), la quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau. La chute observée dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (a, b), en chlorophylles totales et en caroténoïdes des variétés au cours de la l'année 2018/2019, résulte probablement de la synergie de plusieurs facteurs : réduction de l'ouverture des stomates qui limite l'évapotranspiration, augmentation de la résistance, baisse de l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009 ; Qiao *et al.*, 2010).

D'autres parts, Kiliç et Yağbasanlar, (2010) ; Belkharchouche *et al.* (2015) ; Bouchemal *et al.* (2017) ont souligné que le stress de toutes sortes, est responsable d'une grande partie des pertes de productivité dues à la diminution de la photosynthèse, à la sénescence accélérée des feuilles et à la réduction de la durée de remplissage des grains.

Du côté biochimique, notre expérience comprenait l'étude de quelques biomarqueurs tels que la proline, les sucres solubles et le malondialdéhyde (MDA).

### 2.2.6. La proline

Une nette augmentation a été bien illustrée en deuxième campagne chez toutes les variétés étudiées vis-à-vis la première campagne.

Au cours de la première campagne, les valeurs des teneurs en proline varient entre  $0,36 \pm 0,02$  et  $0,53 \pm 0,05$  mg/g MF chez les deux variétés de blé dur Bousselem et Vitron respectivement, et entre  $0,19 \pm 0,02$  et  $0,27 \pm 0,56$  mg/g MF chez les deux variétés ARZ et Ain abid de blé tendre. Chez l'orge, les teneurs de proline maximales sont marquées entre  $0,93 \pm 0,09$  et  $1,06 \pm 0,02$  mg/g MF chez les deux variétés Fouara et Barbe rousse respectivement.

Lors de la deuxième campagne, nous avons enregistré une augmentation considérable du taux d'accumulation de la proline varie entre 32,07 et 59,23% chez les deux variétés Bousselem et Vitron de blé dur, et entre 5,00 et 51,78% chez les deux variétés ARZ et Ain abid de blé tendre respectivement. Chez l'orge, les taux d'augmentation maximal et minimal ont été enregistrés chez les deux variétés Barbe rousse et Fouara 29,33% et 13,88% respectivement (Figure 26).

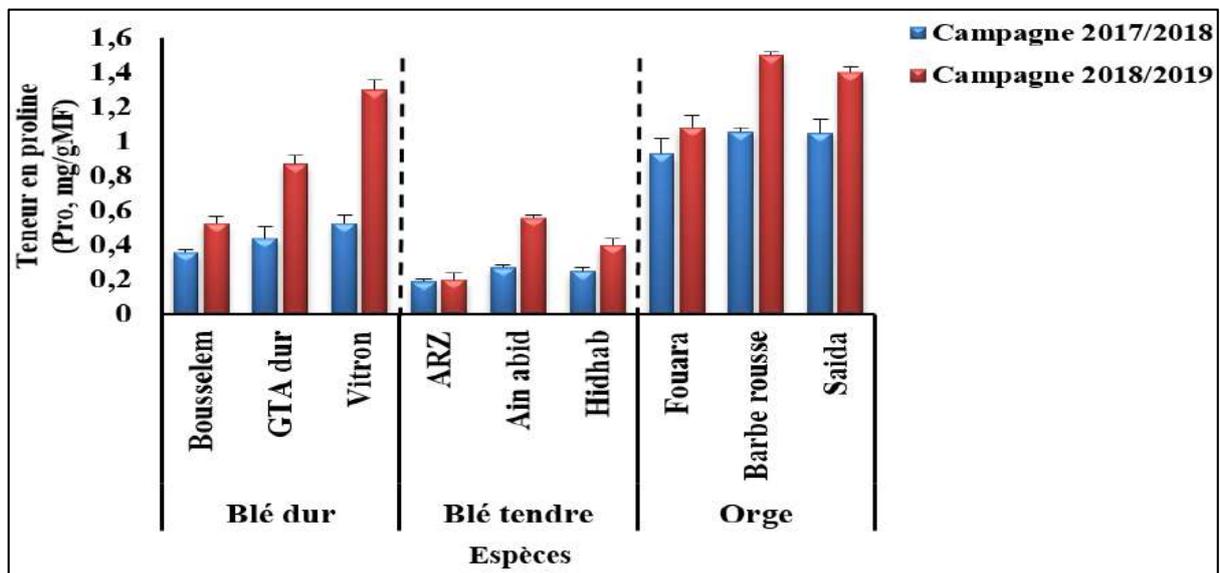


Figure 26. Variation de la proline chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Selon Chaib *et al.* (2015 ; 2018) la proline est considérée comme un agent adaptatif et marqueur de stress favorable. Son accumulation est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez un grand nombre d'espèces en réponse à des contraintes environnementales (Benrejeb *et al.*, 2012). Neffar, (2013) a démontré que l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. En plus, Zerrad *et al.* (2008) ont montré que la proline sert aussi de réserve de composés azotés et carbonés pour les multiples besoins de croissance de la plante.

En effet, nos résultats sont compatibles avec les résultats de plusieurs études antérieures qui ont porté sur le suivi de l'accumulation de la proline chez les plantes dans des conditions de stress (Benkaddour *et al.*, 2013 ; Chaib *et al.*, 2018 ; Bouassaba *et al.*, 2018 ; Hamli *et al.*, 2020).

### 2.2.7. Les sucres solubles

Les mesures des teneurs en sucres solubles foliaires chez les variétés testées au cours des deux campagnes montrent globalement la même tendance observée pour l'accumulation de la proline avec des augmentations des teneurs en sucres solubles chez les plantes en deuxième année. Ces augmentations varient entre 56,70 et 72,63% pour le blé dur chez les variétés Bousselem et GTA dur respectivement, et entre 21,70 et 55,63% pour le blé tendre chez les deux variétés ARZ et Ain abid successivement. Chez l'orge, les taux d'augmentation allaient de 18,65 à 57,00% chez les deux variétés Fouara et Barbe rousse respectivement (Figure 27).

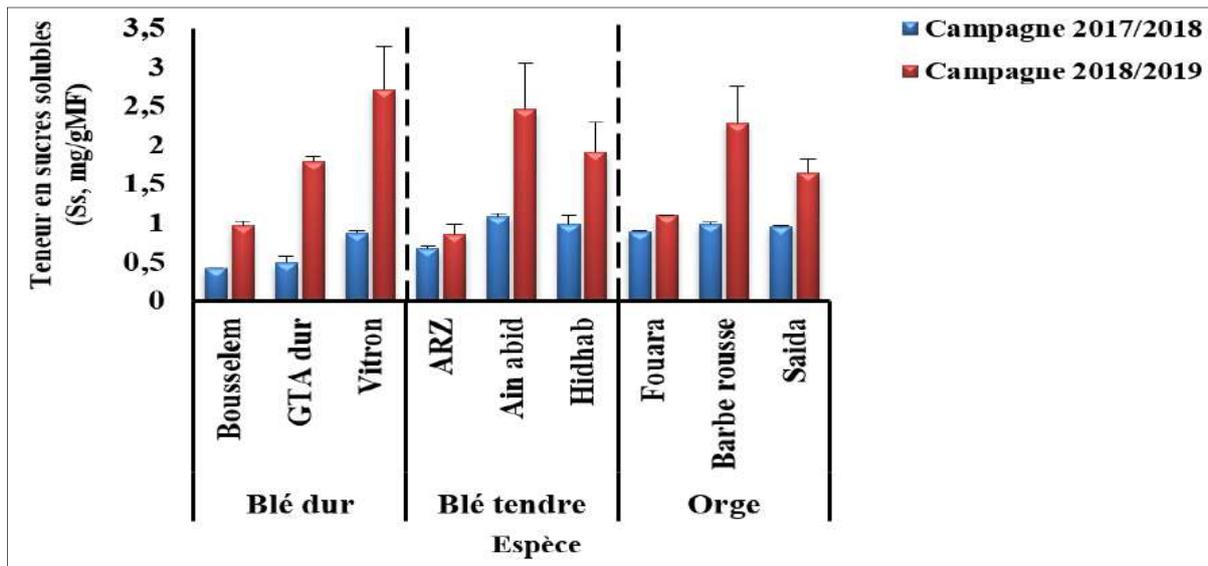


Figure 27. Variation des sucres solubles chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

D'après, Seyyednejad et Koochak, (2011), les sucres solubles sont un constituant important et une source d'énergie pour tous les organismes vivants dont les plantes fabriquent cette substance organique pendant la photosynthèse et la dégradent pendant la respiration.

L'augmentation des concentrations en sucres solubles pendant la deuxième campagne peut être due au rôle osmoprotecteur des sucres solubles contre la déshydratation des cellules par maintien de l'équilibre de la force osmotique en gardant la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible et par une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Messaoudi, 2021).

De plus, Abbaspour *et al.* (2011) affirment qu'afin de tolérer les stress environnementaux, les plantes accumuleront une concentration élevée de matières organiques de faible masse moléculaire telle que les sucres solubles ou d'autres acides aminés pour réguler le potentiel osmotique des cellules pour améliorer l'absorption de l'eau sous ces conditions. Donc l'accumulation des sucres n'est qu'un phénomène d'adaptation au stress, qui permet à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution et l'ajustement du potentiel hydrique (Nazarli *et al.*, 2011 ; Bouatrouse, 2013).

#### **2.2.8. Peroxydation des lipides membranaires**

Les teneurs en MDA, obtenues au cours de la première année s'étalent entre  $1,54 \pm 0,07$  et  $1,85 \pm 0,01$  nmol/g MF pour le blé dur chez les deux variétés GTA dur et Bousselem, et environ  $1,47 \pm 0,08$  nmol/g MF chez toutes les variétés de blé tendre. Pour l'orge, les teneurs varient entre  $1,58 \pm 0,12$  et  $1,86 \pm 2,61$  nmol/g MF chez les variétés Fouara et Barbe rousse respectivement. Alors qu'en deuxième année, nous notons une nette accumulation du MDA chez toutes les variétés, exprimée avec un taux compris entre 9,76 et 35,29% chez les variétés Bousselem et GTA dur de blé dur, entre 15,66 et 33,14% chez les deux variétés ARZ et Ain Abid de blé tendre. Tandis que, le taux optimal d'accumulation a été mesuré chez la variété Saida de l'orge avec 65,32% contre un taux minimal chez la variété Fouara 37,16% (Figure 28).

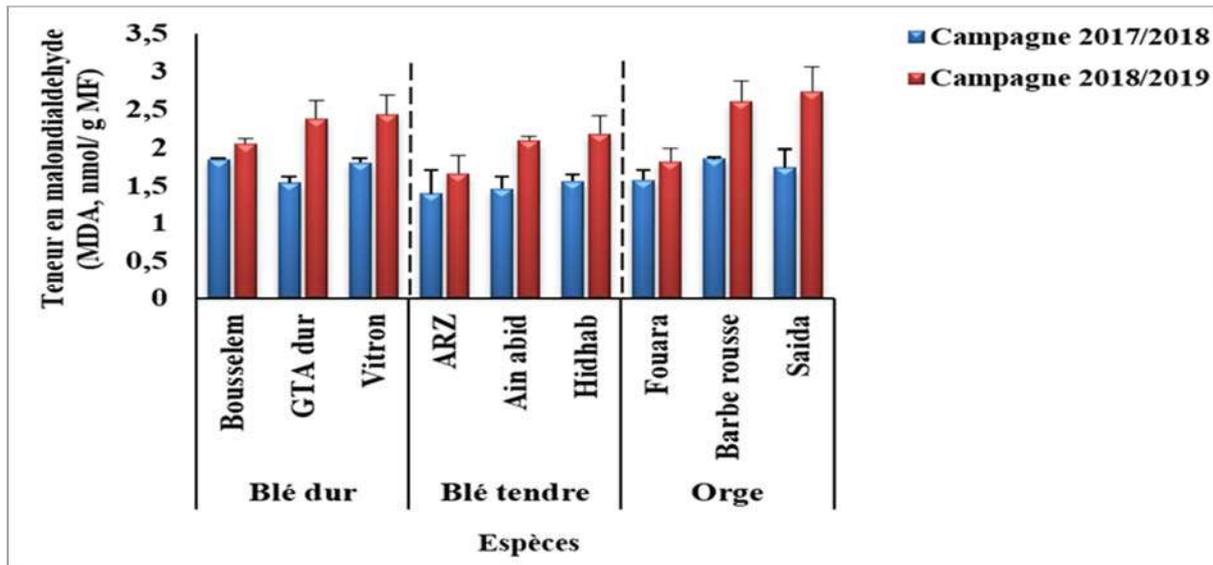


Figure 28. Variation du malondialdéhyde chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

D'après Bachiri (2020), la peroxydation des lipides est considérée comme un marqueur de tolérance au stress chez les plantes, car elle nous renseigne sur le niveau de dommage des membranes ; la quantité de MDA qui est produite suite à une oxydation des acides gras polyinsaturés est un indicateur important d'une peroxydation des lipides. Le dosage de ce composé, présente donc un intérêt certain chez les végétaux soumis à des contraintes multiples (Katsuhara *et al.*, 2005).

Les résultats constatés à travers cette étude révèlent une augmentation de la peroxydation des lipides sous des conditions défavorables (campagne 2018/2019). Cette augmentation a été démontrée dans plusieurs études précédentes sur plusieurs espèces ; à savoir *Argania spinosa* (Chakhchar *et al.*, 2011), *Triticum estivum* (Wu *et al.*, 2012), *Brassicas napus* (Toumi *et al.*, 2014) et *Zea maïs* (Hamada *et al.*, 2016). Une augmentation du niveau de la MDA indique l'occurrence de dommages membranaires dus à la peroxydation des acides gras polyinsaturés, résultant de la production des Espèces Réactives de l'oxygène (ERO) et subséquemment du stress oxydatif (Montillet *et al.*, 2005). Ainsi, elle peut être une réponse d'un mécanisme de rétroaction restreignant les activités des enzymes antioxydantes, et induisant ainsi plus de possibles dommages aux membranes qu'auparavant (Li-Ping *et al.*, 2006).

Dans notre étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'impact du changement climatique d'une année à l'autre sur le métabolisme secondaire à travers le dosage des polyphénols, les flavonoïdes et les tanins soutenus par l'évaluation de l'activité anti radicalaire d'extrait

méthanolique des feuilles des trois espèces. Les résultats consignés dans les deux tableaux 01 et 02 ; annexe 02. L'analyse des résultats obtenus s'est limitée à ceux des polyphénols.

### 2.2.9. Teneur des feuilles en polyphénols

Les résultats obtenus ont montré une augmentation des teneurs en polyphénols dans les feuilles des trois espèces au cours de la deuxième année par rapport à la première, et très visiblement pour les deux variétés Bousselem et Fouara de l'ordre de 33,99% et 34,04% respectivement.

Pour le blé dur, le taux d'augmentation optimal a été noté chez la variété Bousselem estimé à 33,99% suivi par la variété Vitron avec un taux de 17,35% et enfin la variété GTA dur qui a été distinguée par le taux le plus faible 6,88%. Chez le blé tendre, le taux d'augmentation était presque similaire chez toutes les variétés et a été estimé à environ 6,31%. Pour l'orge, les taux d'augmentation étaient variés, le taux maximal a été mesuré chez la variété Fouara 34,04%, tandis que le taux minimal a été constaté chez la variété Saïda 11,53% (Figure 29).

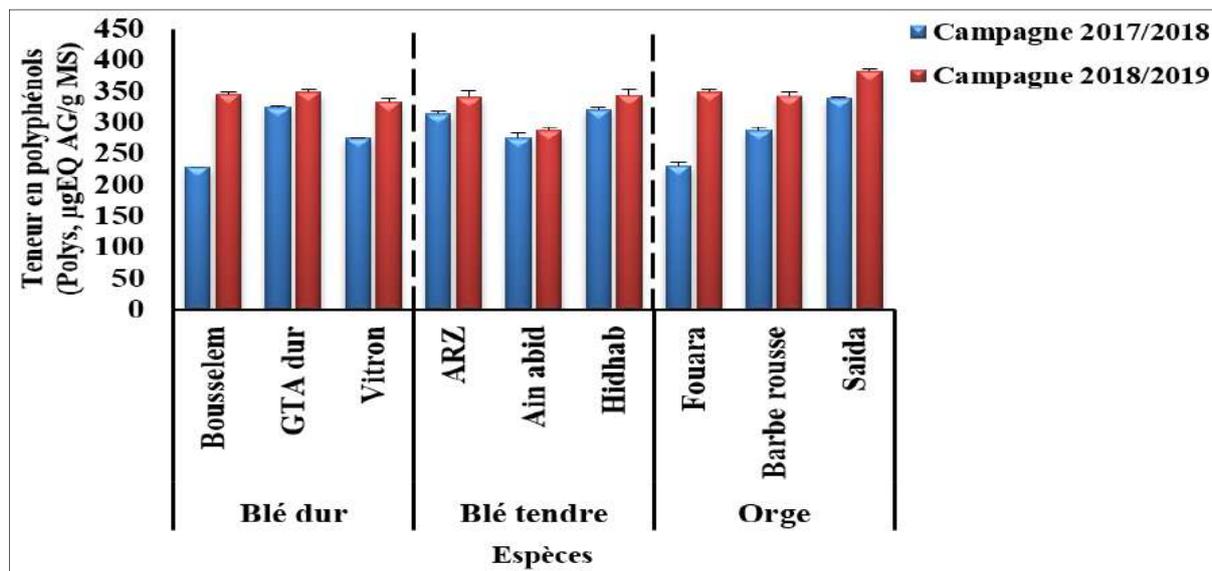


Figure 29. Variation des polyphénols chez les trois espèces au cours des deux campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

Selon Bagues *et al.* (2020), les composés phénoliques sont essentiels à la croissance et à la reproduction des plantes et sont produits en réponse à des facteurs environnementaux défavorables (sécheresse, lumière, salinité, etc.) et à la défense des plantes blessées. L'augmentation des teneurs en composés phénoliques dans les végétaux sous stress a été également signalée chez un certain nombre de plantes par plusieurs auteurs (Rezazadeh *et al.*, 2012; Chunthaburee *et al.*, 2015 ; Hafsi *et al.*, 2017).

En revanche, Hama Hamadou *et al.* (2019) ont mentionné que le métabolisme secondaire peut changer, pendant le développement de la plante ; aussi aux conditions climatiques dures (la température élevée, exposition solaire, sécheresse, salinité) qui stimulent la biosynthèse des métabolites secondaires tels que les polyphénols.

De même, Selmar (2008) a confirmé dans ses travaux que les composés phénoliques sont générées de manière intensive par des plantes soumises à des conditions de stress par rapport à des plantes non stressées. Bharti *et al.* (2014) ont rapporté que les composés phénoliques ont contribué à diverses activités antioxydantes assurant la défense de la plante contre les stress abiotiques.

#### **2.2.10. Evaluation l'activité antiradicalaire d'extrait méthanolique des feuilles**

L'analyse des résultats de la capacité de piégeage de radicale DPPH révèle que tous les extraits testés ont un effet antiradicalaire mais avec une différence de pourcentage de réduction (Figure 30). A remarquant aussi que l'activité anti radicalaire manifestée par les variétés étudiées de la deuxième campagne fut toujours supérieure à celle de la première campagne.

En détail, Chez le blé dur, la variété GTA dur a montré les pourcentages d'inhibition les plus importants (20,22 et 44,38%) en comparaison avec les deux autres variétés Vitron (13,73 et 26,63 %) et Bousselem (8,09 et 38,14%) au cours des deux campagnes respectivement. Chez le blé tendre, la variété Hidhab a été caractérisé par les pourcentages d'inhibition les plus élevées avec 18,05 en première année et 30,24 % en deuxième année, les deux variétés ARZ et Ain abid ont enregistré des rapports de 17,52 et 10,76% et de 27,09 et 25,80 % pendant les deux campagnes respectivement. Par contre, chez l'orge les rapports d'inhibition les plus forts ont été observés chez les deux variétés Saida et Fouara avec les valeurs 28,57 et 34,91% ; 41,75 et 55,06% au cours des deux campagnes respectivement. Tandis que la variété Barbe rousse a été distinguée par des pourcentages moins importants 15,36 et 35,74% pendant les deux années de l'étude respectivement.

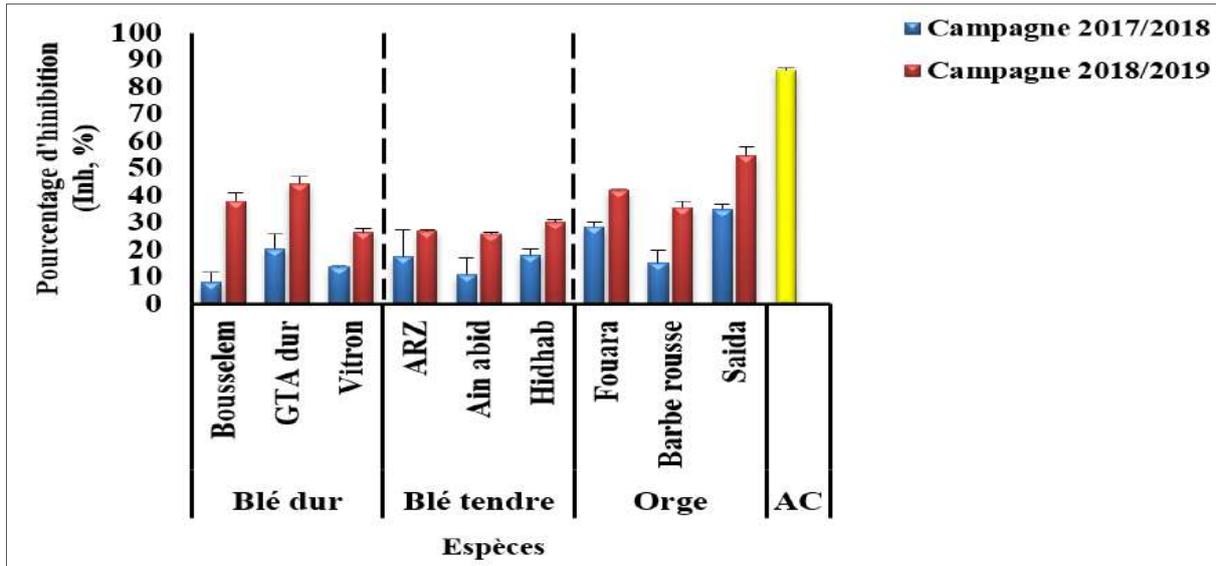


Figure 30. Variation des taux d'inhibition du DPPH chez les trois espèces au cours campagnes (2017/2018) et (2018/2019).

A partir de ces résultats, nous pouvons procéder au classement de nos variétés comme suit :

- Blé dur : GTA dur > Bousselem > Vitron.
- Blé tendre : Hidhab > ARZ > Ain abid.
- Orge : Saida > Fouara > Barbe rousse.

Également, il nous apparut que l'intensité de l'inhibition de radical du DPPH augmente avec l'augmentation de la concentration des composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes, tanins). Ceci est indiqué par le fait que les composés phénoliques jouent un rôle clé dans la neutralisation des radicaux libres qui se produit par le mécanisme du transfert d'hydrogène (Kaurinovic *et al.*, 2010). Des résultats similaires ont été rapportés par Morel *et al.* (2018) et Bourahima *et al.* (2021). Selon ces auteurs, le pouvoir antioxydant d'un extrait de plante est lié à sa teneur en composés phénoliques. Ces activités antioxydantes pourraient également s'expliquer par la présence de groupement hydroxyle dans les composés phénoliques pouvant piéger les radicaux libres (Gulçin *et al.*, 2010 ; Corrêa *et al.*, 2018).

Selon les résultats obtenus dans cette étude, il s'avère que les céréales ont une source potentielle de polyphénols possédants des propriétés antioxydantes d'origine naturelle qui justifient son utilisation traditionnelle dans le traitement de nombreuses affections lié au stress oxydatif. Les extraits méthanoliques des feuilles ont présenté des teneurs acceptables en polyphénols et une activité intéressante de piégeage des radicaux libres du DPPH. Ces résultats pourraient constituer une base scientifique solide pour la recherche de nouveaux composés ayant une importante application dans les industries pharmaceutiques et alimentaires.

L'analyse globale des valeurs obtenues des caractères étudiés indique des effets entre les paramètres et montre que les deux campagnes diffèrent fortement pour l'expression de l'ensemble des caractères. Fellahi, (2013) trouve que les meilleures valeurs moyennes sont variables, selon le caractère, d'un génotype à un autre et qu'aucun génotype ne se distingue par des valeurs élevées pour un grand ensemble de variables mesurées. La variation, d'une année à l'autre, des quantités de pluies reçues, de leurs distributions et du régime des températures hivernales et printanières induit une forte variation des rendements. Sous conditions pluviales, la durée de remplissage atteint rarement sa durée maximale, suite aux effets des stress climatiques qui ne permettent pas au grain d'atteindre son poids potentiel (Mekhlouf *et al.*, 2006).

### 3. Traitement et analyse statistique

#### 3.1. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Afin de mieux comprendre et d'évaluer les relations éventuelles entre les différentes variables étudiées, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales des 24 paramètres mesurés chez les deux genres (*Triticum et Hordeum*). Cette dernière présente l'avantage de caractériser un génotype donné par une valeur numérique, liée à un axe donné, représentant un ensemble des caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques des génotypes étudiés (Oosterom *et al.*, 1993).

##### 3.1.1. Blé dur

- **Campagne 2017/2018**

L'ensemble des paramètres mesurés ( $n = 24$ ) sur les trois variétés (Bousselem, GTA dur et Vitron) a fait l'objet d'une analyse en composantes principales (ACP). Les corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes 1 et 2 expliquent 62,38 et 37,61% respectivement, soit un total de 100 % d'information (Figure 31). Le plan formé par ces deux axes constitue une base d'interprétation des corrélations éventuelles entre ces variables et les relations comportementales des différentes variétés en fonction de ces paramètres.

L'axe 1 (axe horizontal) est formé du côté positif par la majorité des caractères de production tels la Chlt ( $r = 1,000$ ), le PMG ( $r = 0,999$ ) et le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = 0,978$ ) qui donnent le sens de productivité de ce côté. De son côté négative, se trouvent le MDA ( $r = -0,973$ ) et la HP ( $r = 0,888$ ) révèlent la sensibilité des variétés.

L'axe 02 (axe vertical) est désigné par la forte contribution de la DEp ( $r = -0,994$ ) et LC ( $r = -0,979$ ), du côté négatif indiquant une adaptation phéno-morphologique ; alors que du côté positif de cet axe, nous observons à la fois la Pro ( $r = 0,989$ ), les Ss ( $r = 0,882$ ) et la TRE ( $r = 0,848$ ) qui s'expriment par une adaptation biochimique et physiologique des variétés étudiées.

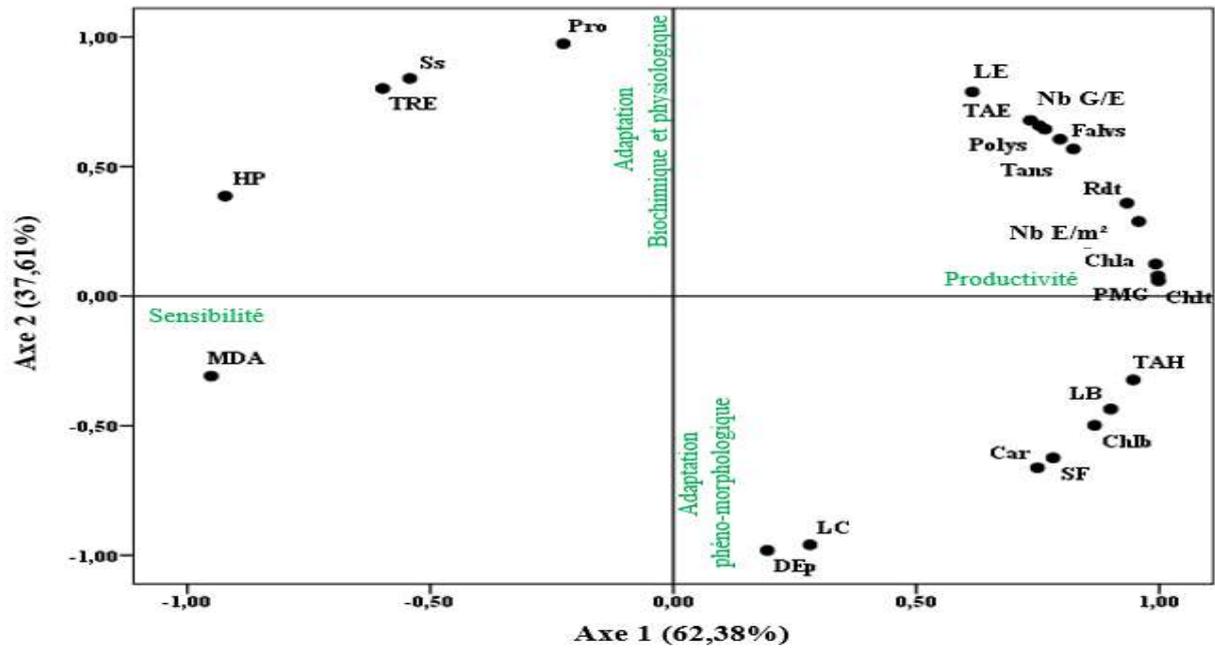


Figure 31. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur. Campagne (2017/2018).

La représentation graphique des trois variétés (Figure 32) permet de distinguer que : la variété GTA dur se distingue par une bonne productivité par rapport aux deux autres variétés, exprimée en un rendement élevé, résultant de ses composantes performantes (PMG, Nb E/m<sup>2</sup>, Nb G/E), une meilleure activité photosynthétique représentée par les teneurs, les plus importantes des pigments chlorophylliennes et une grande capacité à accumuler des composés phénoliques (Polyphénols, Flavonoïdes et Tanins). En plus, elle possède une large surface foliaire et un long épi accompagné d'une longue barbe, Cependant, cette variété présente une paille courte et une durée à l'épiaison relativement tardive. En outre, elle ne semble pas très sensible aux aléas climatiques qui ont prévalu lors de cette campagne et cela est attesté par les faibles valeurs de MDA enregistrées.

La variété Vitron se distingue par une précocité à l'épiaison et une hauteur élevée, une grande capacité à accumuler des osmolytes (proline et sucres solubles) qui jouent un rôle très important dans l'ajustement osmotique (TRE élevée) et dans la tolérance aux stress éventuels d'une part, d'autre part, elle montre une surface foliaire étroite et un col d'épi court. En analysant ces

caractéristiques, il semble qu'il soit possible de classer cette variété comme une variété tolérante.

Quant à la variété Bousselem, elle s'avère qu'il s'agit d'une variété tardive à long col d'épi, plus sensible que les autres aux conditions environnementales de l'expérimentation car elle a subi des dommages cellulaires importants exprimés par une importante accumulation de MDA, ce qui a conduit à une baisse de production chez cette variété.

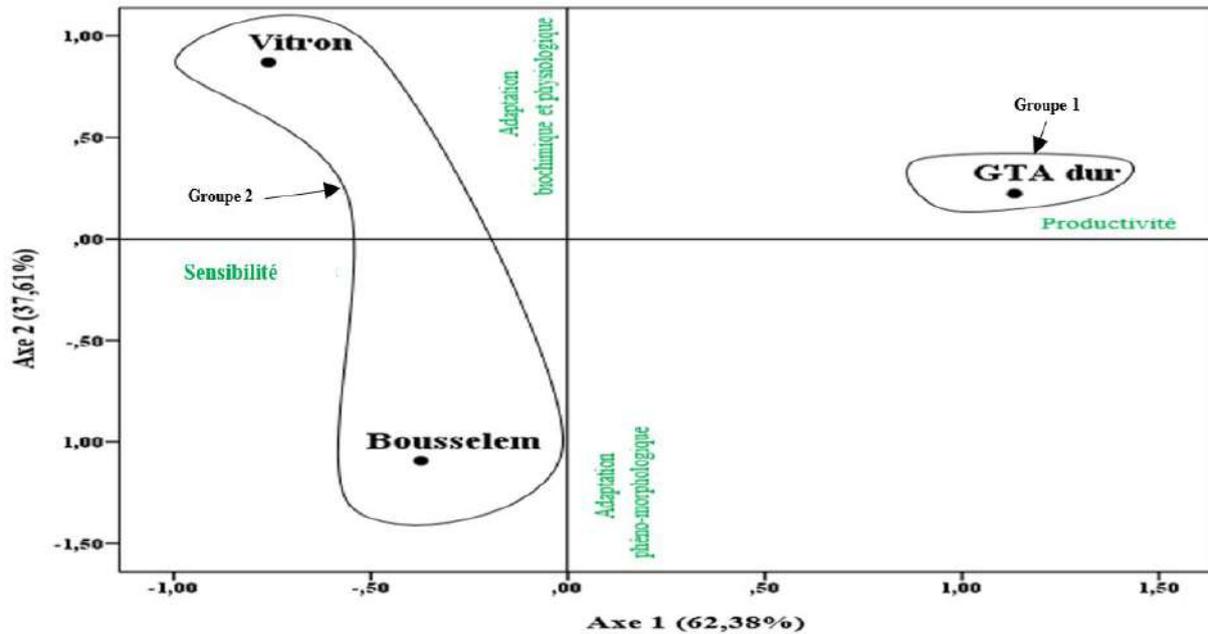


Figure 32. Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018)

L'ACP a permis de structurer la diversité phénotypique parmi nos trois variétés en deux groupes distincts en fonction de la productivité ; ce qui prouve que les variétés étudiées ne se comportent pas de la même manière vis-à-vis des conditions climatiques de l'année agricole 2017/ 2018, qui étaient plus ou moins favorables à une bonne agriculture.

- Groupe 1 : GTA dur.
- Groupe 2 : Bousselem et Vitron.

Pour corroborer ces résultats, une ANOVA à un facteur a été réalisée. Ce test se limite au paramètre qui discrimine au mieux les variétés étudiées, soit la Chlt (Tableau 03 ; annexe 02). Hopkins, (2003) a signalé que la chlorophylle constituant la base des systèmes photosynthétiques par le captage de l'énergie solaire. De plus, elle contient par le biais des chloroplastes des enzymes qui sont des catalyseurs et qui rendent ainsi possible les réactions chimiques des différentes étapes de la photosynthèse.

Le test d'homogénéité des variances donne une statistique de Levene de 4,768 (Sig. = 0,834), ce qui exprime une égalité des trois variances (Tableau 07).

Tableau 07. Test d'homogénéité des variances. (Blé dur ; campagne 2017/2018).

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
4,768	2	6	0,058

La valeur F observée est de 6,893 ; Sig. = 0,028 (Tableau 04 ; annexe 02) indique que les trois variétés n'ont pas le même comportement en termes de capacité photosynthétique. Le test *post hoc* de S-N-K a révélé l'existence de deux groupes (Tableau 08) : un 1<sup>er</sup> groupe formé par les variétés Bousselem et Vitron et un 2<sup>ème</sup> groupe constitué par la variété GTA dur.

Tableau 08. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé dur ; campagne 2017/2018).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Vitron	3	224,69 <sub>A</sub>	
Bousselem	3	228,288 <sub>A</sub>	
GTA dur	3		260,726 <sub>B</sub>
Signification		0,748	1,000

Les indications A et B indiquent les groupes homogènes.

### • Campagne 2018/2019

L'analyse des résultats de la seconde campagne montre que les deux axes principaux de l'ACP expliquent 52,49 et 47,51 % respectivement, soit un total de 100% (Figure 33). Le long de l'axe 1 s'opposent la SF, le Rdt et le PMG qui sont positivement liées à cet axe ( $r = 0,997$ ,  $r = 0,993$  et  $r = 0,936$  respectivement) donnant la signification de la morphologie et du rendement, aux valeurs de la Pro, les Ss et la TRE ( $r = -0,946$ ,  $r = -0,935$ ,  $r = -0,847$  respectivement) de ce côté de l'axe 1 qui peuvent prendre le sens d'adaptation biochimique et physiologique.

Pour l'axe 2, sur son côté positif apparaissent les variables Nb G/E ( $r = 0,994$ ), Chlt ( $r = 0,947$ ) permettant d'attribuer le sens de la fertilité d'épi et de l'activité photosynthétique pour ce côté, Alors que le TAH ( $r = -0,991$ ) et le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = -0,922$ ) sont négativement corrélés à cet axe, donc ce côté peut prendre le sens de capacité de tallage.

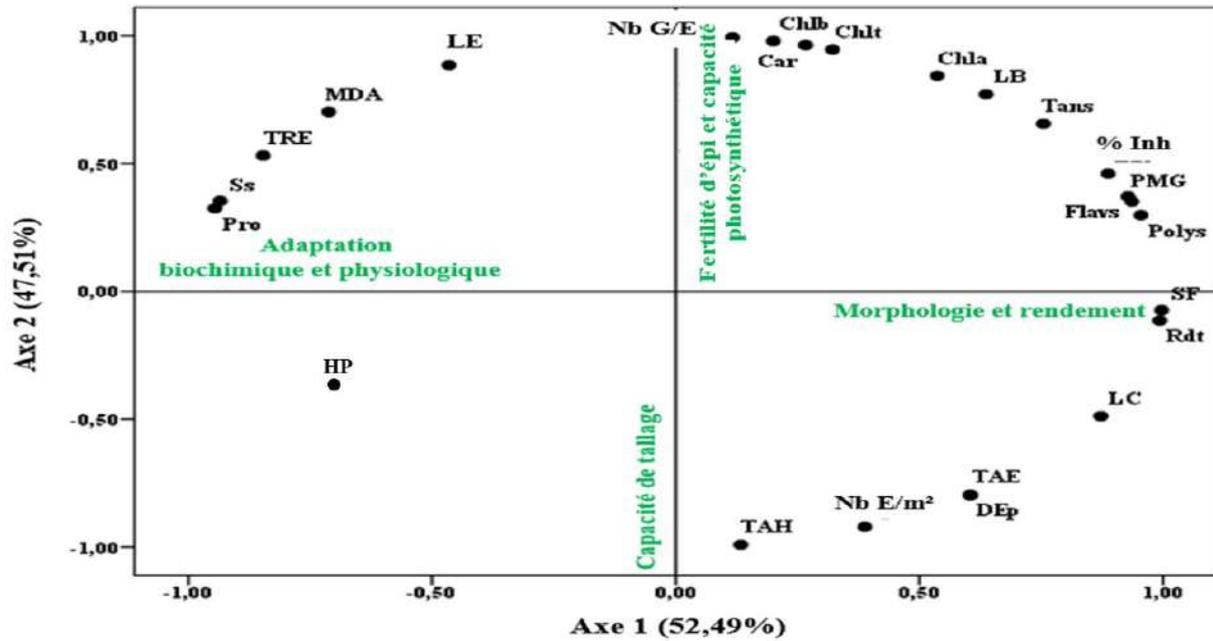


Figure 33. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur. Campagne (2018/2019).

Lors de la deuxième campagne (Figure 34), la variété GTA dur se distingue par une paille courte et une faible capacité de tallage (un léger TAH et un faible Nb E/m<sup>2</sup>), ce qui a entraîné une baisse de rendement par rapport à la première campagne. En revanche, elle montre une forte activité photosynthétique représentée par des concentrations élevées en pigments chlorophylliennes et traduite par un poids de mille grains important. De plus, elle se caractérise par un Nb G/E élevé, indiquant la bonne fertilité des épis de cette variété.

La variété Vitron se caractérise comme en première année par sa hauteur, sa précocité à l'épiaison, elle possède toujours la SF la plus étroite, le col et la barbe les plus courts ainsi qu'un bon ajustement osmotique exprimé par une forte TRE résultant de l'accumulation de grandes quantités d'osmolytes (Pro et Ss) qui maintiennent la turgescence cellulaire en abaissant son potentiel hydrique. Toutefois, cette variété se caractérise par le PMG et le Rdt les plus faibles au cours de cette campagne. Cette faiblesse peut être expliquée par l'exposition des membranes cellulaires à des dommages importants exprimés par des valeurs élevées de MDA au niveau des feuilles d'une part. D'autre part, les dommages membranaires peuvent être attribués à la faible teneur des feuilles en composés phénoliques, qui jouent un rôle important dans la protection des cellules contre les stress.

La variété Bousselem présente toujours une tardivité à l'épiaison et un long col d'épi. Cependant, elle se manifeste par une large SF et une grande capacité de tallage illustrée par un TAH dense et un Nb E/m<sup>2</sup> élevé.

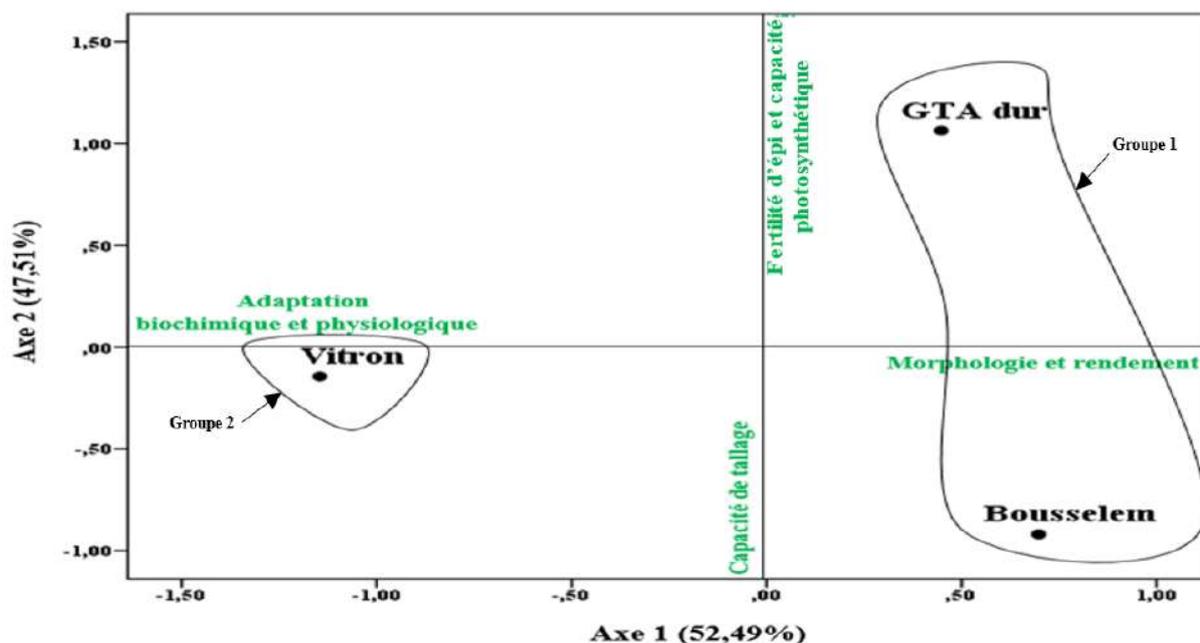


Figure 34. Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019)

La représentation graphique des variétés sur le plan 1-2 (Figure 34) de la 2<sup>ème</sup> campagne permet de distinguer deux groupes :

- Groupe 1 : Bousselem et GTA dur
- Groupe 2 : Vitron

Afin de renforcer les résultats obtenus en ACP, nous avons effectué une ANOVA à un facteur en fonction des valeurs du caractère, le plus différencié entre les variétés étudiées à savoir la SF (Tableau 05 ; annexe 02). Cet organe est un trait considérable en raison de sa contribution aux activités photosynthétiques notamment au cours du remplissage du grain. Une surface de la feuille étendard foliaire plus large, capte plus de lumière et fixe plus d'hydrates de carbone qui sont favorables à un haut rendement (Sorour *et al.*, 2010 ; Hamli, 2015). Le test d'homogénéité des variances (Tableau 09) donne une statistique de Levene 7,096 ; Sig = 0,026 ce qu'indique une inégalité des trois variances.

Tableau 09. Test d'homogénéité des variances. (Blé dur ; campagne 2018/2019)

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
7,096	2	6	0,026

Le F observé a une valeur de 78,227 ; Sig = 0,000 (Tableau 06 ; annexe 02) signale une différence entre les variétés étudiées, en particulier en termes de productivité. Le test *post hoc* de Dunnett montre l'existence de deux groupes distincts, Un groupe formé par la variété Vitron

et un autre groupe composé par le regroupement des deux autres variétés à savoir Bousselem et GTA dur (Tableau 10).

Tableau 10. Groupes homogènes selon le test de Dunnett. (Blé dur ; campagne 2018/2019).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Vitron	3	21,223 <sub>A</sub>	
Bousselem	3		34,726 <sub>B</sub>
GTA dur	3		31,916 <sub>B</sub>
Signification		1,000	0,377

Les indications A et B indiquent les groupes homogènes.

• **Campagne 2017/2018 X Campagne 2018/2019**

L'ACP réalisée sur les matrices des deux campagnes, indique que les deux premiers axes génèrent une information totale de 72,83 %. Ces deux composantes (axe1 horizontal et axe 2 vertical) expliquent respectivement 53,16 % et 19,67 % de la variation totale résumant ainsi l'information apportée par l'ensemble des 24 paramètres. Du côté positif de la première composante (axe 1), nous avons constaté une corrélation positive des paramètres : le PMG ( $r = 0,969$ ), et le Rdt ( $r = 0,895$ ), ce qui donne une signification de productivité à cette composante. Du côté négatif, le MDA ( $r = -0,934$ ), la Pro ( $r = -0,847$ ) et les Ss ( $r = -0,893$ ) signifient une adaptation biochimique des variétés à leur environnement. La variable TRE ( $r = 0,959$ ) définit pour l'axe 2, dans son côté positif, une adaptation physiologique, alors que la LC ( $r = -0,773$ ) du côté négatif désigne une adaptation morphologique (Figure 35).

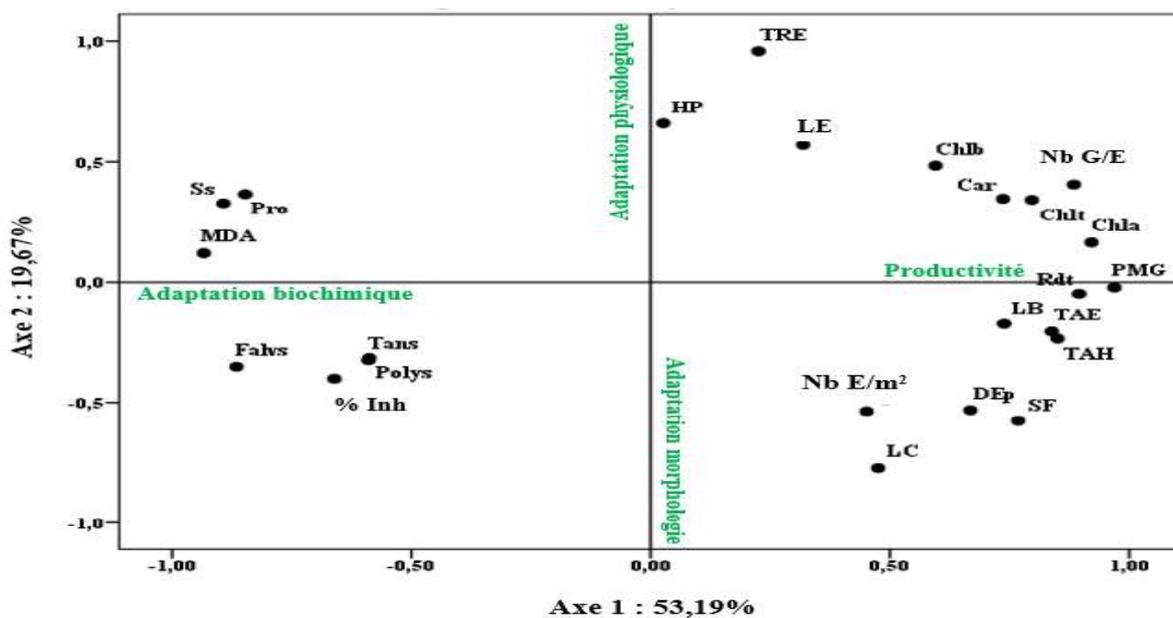


Figure 35. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé dur. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).

L'analyse du graphe des variétés (Figure 36) révèle une distribution variétale différente entre les deux campagnes. En effet, les variétés étudiées lors de la campagne 2017/2018 se distinguent par une longue durée à l'épiaison, des meilleurs paramètres morpho-physiologiques (surface foliaire, longueur du col, etc.) et une bonne productivité (Rdt, Nb E/m<sup>2</sup>). Contrairement à la campagne 2018/2019 où nous constatons une baisse dans les valeurs de ces paramètres mais une augmentation des taux du MDA, une meilleure tolérance représentée par des taux optimaux autant des métabolites primaires (osmolytes) que secondaires (composés phénoliques).

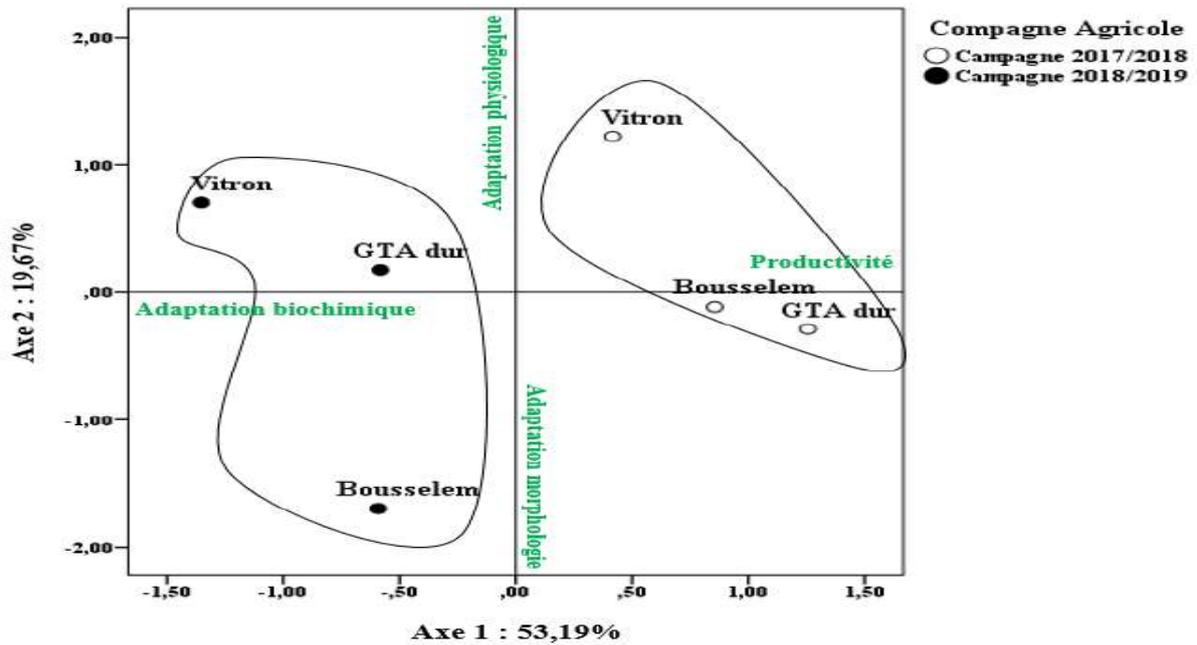


Figure 36. Distribution des variétés de blé dur en fonction des deux composantes principales (Campagne 1 et campagne 2 combinées).

Afin de corroborer la différence observée entre les deux campagnes, une ANOVA à deux facteurs (variétés et campagne) a été réalisée (Tableau 11) en se basant sur les valeurs observées du paramètre PMG (Tableau 07 ; annexe 02).

Tableau 11. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable PMG. (Blé dur).

Source	Somme des carrés	ddl	F	Signification
Variétés	8,651	2	67,511	0,000
Campagne	25,106	1	391,829	0,000
Variétés × Campagne	1,700	2	13,267	0,001
Erreur	0,769	12	-	-
Total corrigé	36,226	17	-	-

L'étude de l'effet variété montre une différence significative entre les trois variétés du point de vue productivité ( $F = 67,511$  ;  $p = 0,000$ ). Le test *post-hoc* de S-N-K révèle trois groupes homogènes : le premier groupe est formé par la variété Vitron (Groupe A), le deuxième groupe inclut la variété Bousselem (Groupe B) et le troisième groupe (Groupe C) représente la variété GTA dur (Tableau 12).

Tableau 12. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
Vitron	3	43,606 <sub>A</sub>		
Bousselem	3		44,455 <sub>B</sub>	
GTA dur	3			45,305 <sub>C</sub>
Signification		1,000	1,000	1,000

L'étude de l'effet campagne montre une différence significative entre les deux campagnes du point de vue rendement ( $F = 391,829$  ;  $p = 0,000$ ). Le test *post-hoc* de S-N-K montre l'existence de deux groupes homogènes : Un groupe formé par la première campagne et un deuxième formé par la deuxième campagne (Tableau 13).

Tableau 13. Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Effet	Signification	Groupes homogènes	
2017-2018 X 2018/2019	0,000	A (2017/2018)	B (2018/2019)

D'après la figure 37, nous constatons que la distribution des trois variétés diffère significativement entre les deux campagnes. En effet, le PMG de chaque variété en campagne 2018/2019 est inférieure à celle de 2017/2018. De plus lors de la deuxième campagne le PMG moyen ne dépasse pas 44,15 g alors qu'en première campagne le plus bas PMG correspond à 45,17 g.

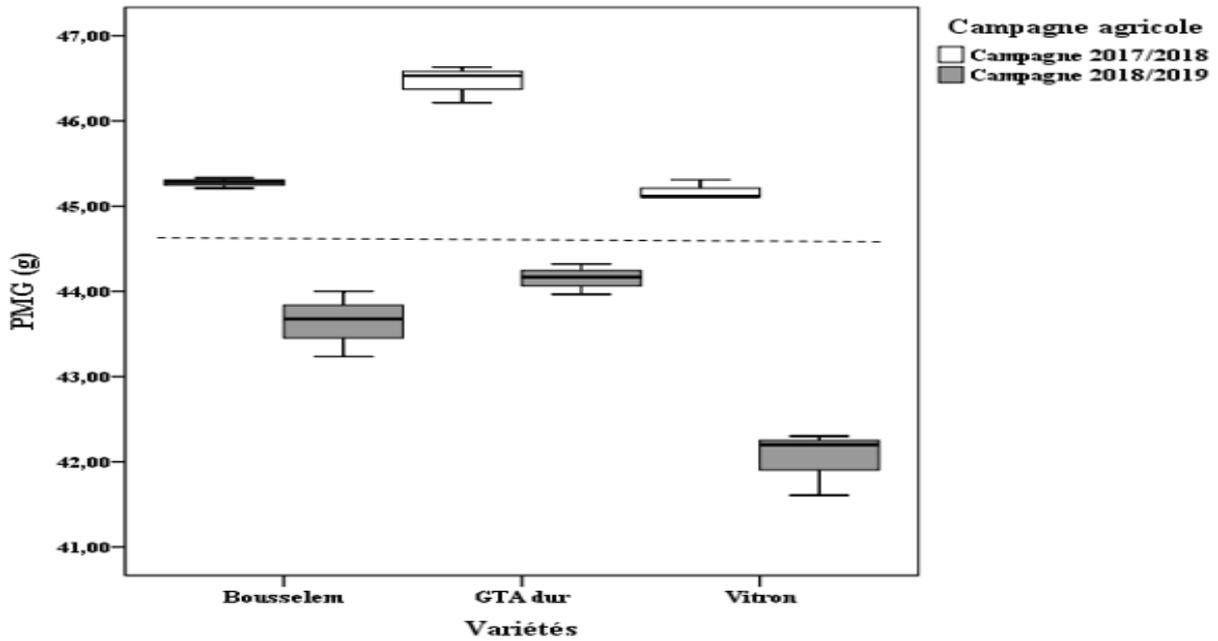


Figure 37. Comparaison graphique des moyennes pour le PMG sur deux campagnes chez le blé dur.

L'analyse globale de la variance indique un effet campagne significatif qu'explique une importante partie de la variation disponible dans les données soumises à l'analyse. Cet effet met en relief l'influence des fluctuations des conditions de croissance d'une campagne à l'autre et les différences de comportement vis à vis de ces changements externes par les variétés étudiées. De plus, l'analyse montre un effet variété significatif qui est attribué au patrimoine génétique de chaque variété. Enfin, l'interaction Variété X Campagne est significative ( $F = 13,267$  ;  $Sig = 0,001$ ).

A la lumière des résultats obtenus, il nous apparaît que quel que soit les conditions de l'année d'essai, la sélection suggère que la variété GTA dur possède le plus grand potentiel en productivité (Rdt, PMG, Nb G/E,...). Alors que, la sélection de la variété Vitron est faite surtout sur la base des performances des traits liés à la tolérance au stress éventuel car elle semble la variété la plus tolérante, vu qu'elle présente une hauteur élevée, un bon ajustement osmotique exprimé par une teneur relative en eau élevée, ainsi qu'une grande capacité à accumuler des composés directement liés à la résistance et à la tolérance des plantes (Pro, Ss, composés phénoliques) aux aléas environnementaux. La sélection pour le caractère LC suggère la variété Bousselem, la plus performante pour ce caractère. En outre, Il est également recommandé de sélectionner cette variété en fonction du Nb E/m<sup>2</sup> lors d'une campagne défavorable.

### 3.1.2. Blé tendre

- **Campagne 2017/2018**

La figure 38 montre que la variabilité totale des paramètres étudiés atteint 100 %, soit 71,12 % pour l'axe 1 et 28,87 % pour l'axe 2. Sur le côté positif du premier axe figure la majorité des paramètres étudiés principalement le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = 0,973$ ), le PMG ( $r = 0,971$ ) et aussi la LC, la Chl et la TRE. Ainsi, ce côté fait allusion à la productivité des variétés. Concernant le côté négatif de cet axe, il ressort la HP ( $r = -0,996$ ), Ss ( $r = -0,984$ ), Pro ( $r = -0,981$ ), en plus de la SF et la DEp exprimant ainsi la tolérance et l'adaptation.

Sur le côté positif de l'axe 2, se trouve le MDA ( $r = 0,893$ ), qui est considéré comme un biomarqueur fournissant des informations sur le niveau de dommages des membranes cellulaires. Autrement dit, ce côté nous renseigne sur la sensibilité des variétés étudiées aux conditions expérimentales.

Cependant, le côté négatif de cet axe illustre le tallage ( $r = -0,820$ ) et le Nb G/E ( $r = -0,708$ ), ce qui donne une indication sur la capacité de tallage et la fertilité des épis.

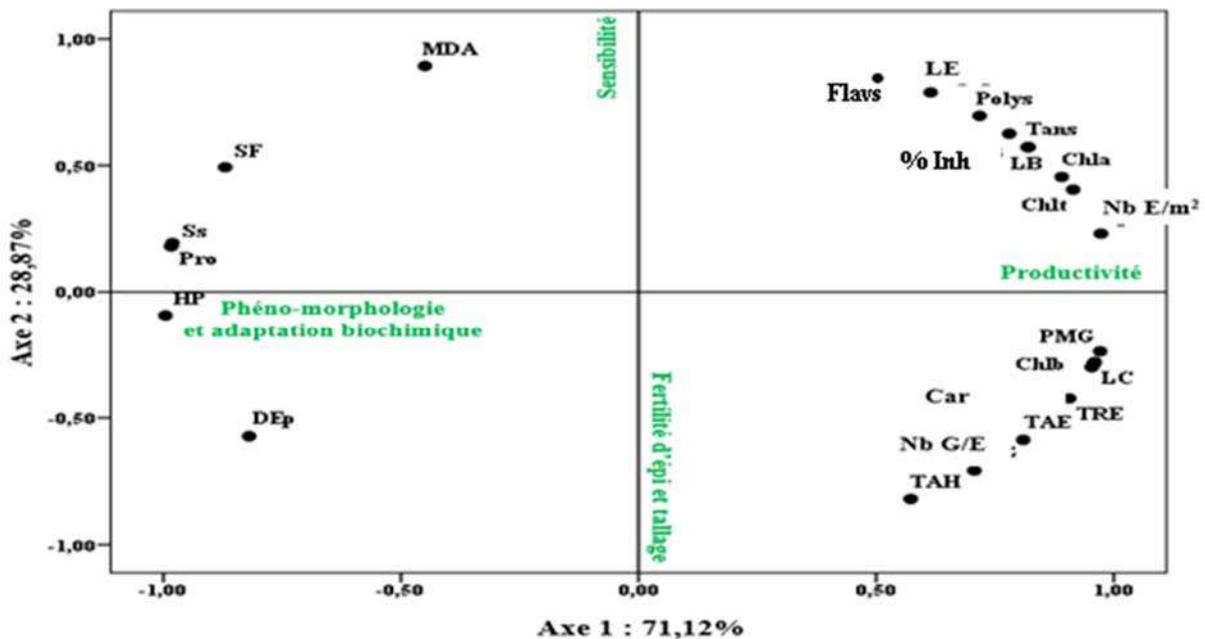


Figure 38. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. Campagne (2017/2018).

Il ressort de la figure 39 que la variété ARZ est une variété assez précoce, courte avec une surface foliaire étroite ayant une forte productivité parce qu'elle possède les caractères de production les plus performants (Rdt, Nb E/m<sup>2</sup>, Nb G/E, PMG, TAH, TAE). Elle se caractérise

également par un col d'épi long et des teneurs élevées de pigments chlorophylliens, ce qui lui attribue une activité photosynthétique optimale, se traduite par un rendement élevé. De son côté, la variété Ain abid se caractérise par sa hauteur, sa tardivité à l'épiaison et sa grande capacité à accumuler des osmolytes (Pro et Ss). L'ensemble de ces traits justifie sa forte tolérance par rapport aux deux autres variétés de blé tendre. Cette même variété présente un faible rendement en grain car elle possède le PMG et le Nb E/m<sup>2</sup> les plus bas. De plus, cette faiblesse peut être due à l'activité photosynthétique insuffisante en raison de la faible teneur en pigments chlorophylliens des feuilles d'une part, et aussi des courtes longueurs de son épi, col et barbe.

Par ailleurs, la variété Hidhab est la plus influencée par les conditions expérimentales de la première campagne. Ceci est dû à la grande teneur en MDA indiquant qu'elle a subi des dommages importants au niveau des membranes cellulaires. En outre, cette variété possède une large surface foliaire et un long épi, qui sont des paramètres morphologiques souhaitables dans les zones semi-aride.

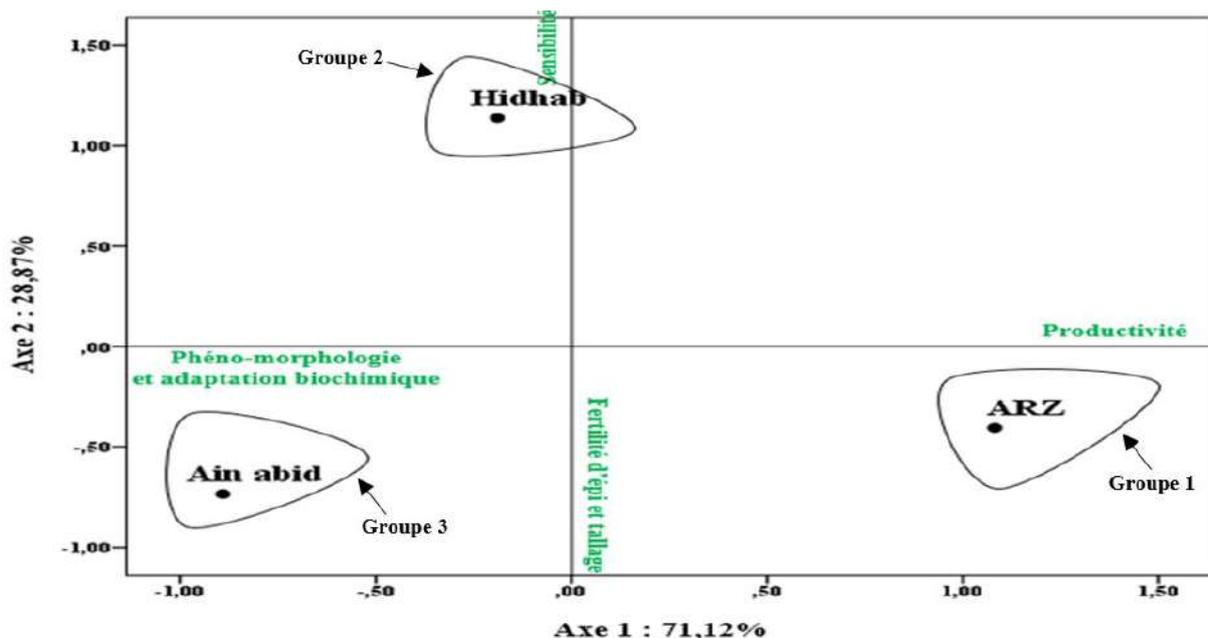


Figure 39. Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018).

La figure 39 fait ressortir trois groupes distincts relatifs aux trois variétés à savoir : ARZ, Hidhab et Ain abid respectivement.

Un test ANOVA à un facteur a été effectuée pour conforter les résultats obtenus en ACP en fonction de la HP (Tableau 08 ; annexe 02) ; paramètre considéré comme un critère important de sélection pour les régions arides et semi- arides selon Zerafa *et al.* (2017). Le test

d'homogénéité des variances donne une statistique de Levene de 0,577 ; Sig = 0,590, ce qui exprime une égalité des trois variances (Tableau 14).

Tableau 14. Test d'homogénéité des variances. (Blé tendre ; campagne 2017/2018).

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
0,577	2	6	0,590

La valeur F observé de 12,859 ; Sig = 0,007 (Tableau 09 ; annexe 02) indique que les trois variétés sont morphologiquement différentes les unes des autres, notamment en termes de HP qu'exprime l'adaptation. Le test *post hoc* de de S-N-K a révélé l'existence de trois groupes (Tableau 15) : le 1<sup>er</sup> groupe inclut la variété ARZ, le 2<sup>ème</sup> la variété Hidhab et le 3<sup>ème</sup> la variété Ain abid.

Tableau 15. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre ; campagne 2017/2018).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
ARZ	3	94,250 <sub>A</sub>		
Hidhab	3		100,100 <sub>B</sub>	
Ain abid	3			106,166 <sub>C</sub>
Signification		1,000	1,000	1,000

Les indications A, B et C indiquent les groupes homogènes.

#### • Campagne 2018/2019

Les résultats de l'ACP indiquent que les deux premières composantes totalisent 100% de la variation, avec 66,40% pour l'axe 1 et 33,59% pour l'axe 2. Le plan formé par ces deux axes constitue une bonne base d'interprétation de la typologie des variétés évaluées et des relations entre les différentes variables mesurées.

En effet, le Rdt ( $r = 0,997$ ), le Chlt ( $r = 0,988$ ), la LB ( $r = 0,962$ ) et de nombreux autres paramètres de la productivité, comme le Nb E/m<sup>2</sup>, le PMG...etc. sont positivement corrélés avec le premier axe. Ce côté représente donc la productivité des variétés. Cependant, les critères qui renseignent sur la tolérance et la résistance des variétés aux stress sont bien corrélés avec cet axe, mais dans son côté négatif, citons à titre d'exemple la HP ( $r = -0,999$ ), les Ss ( $r = -0,995$ ) et DEp. ( $r = -0,849$ ).

Sur le côté négatif du deuxième axe, figurent la LE ( $r = 0,993$ ) et le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = 0,998$ ). Le premier paramètre nous renseigne sur la morphologie de l'épi, tandis que le deuxième paramètre nous informe sur l'aptitude des variétés au tallage, précisément sur leur capacité à l'adaptation physiologique (Figure 40).

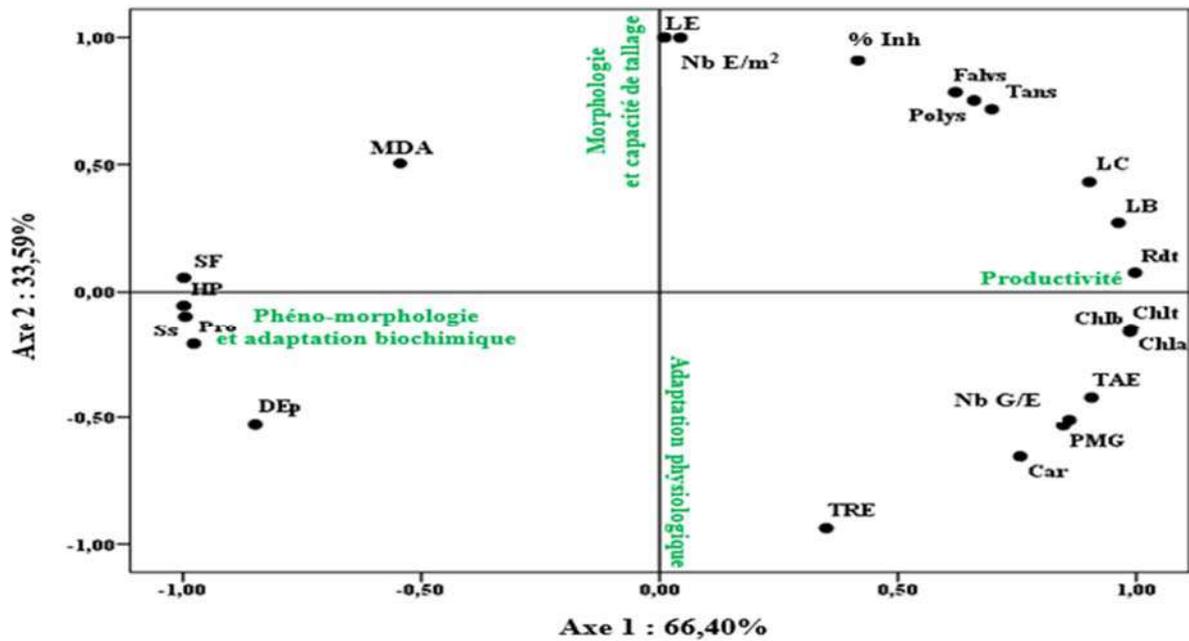


Figure 40. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. Campagne (2018/2019).

La Figure 41 montre que la variété ARZ a conservé la plupart des caractéristiques acquises lors de la première campagne, telles qu'une productivité élevée et une épiaison précoce...etc. Cependant, cette variété a perdu la capacité de produire le plus grand nombre d'épis en faveur de la variété Hidhab. Cette dernière montre un faible Nb G/E indiquant que la production d'un grand nombre d'épis dans les conditions restrictives augmente la possibilité de stérilité des épis. En plus, elle semble toujours être la plus sensible aux circonstances ambiantes (un taux du MDA élevé), ce qui affecte négativement la TRE des feuilles chez cette variété (TRE la plus bas). A l'instar de la première campagne, la variété Ain abid se distingue par sa hauteur, sa feuille large, son épiaison tardif et son épi court. Cependant, elle expose les taux, les plus élevés d'osmolytes (Pro et Ss). À la lumière de ces constatations, nous pouvons considérer cette variété comme une variété tolérante.

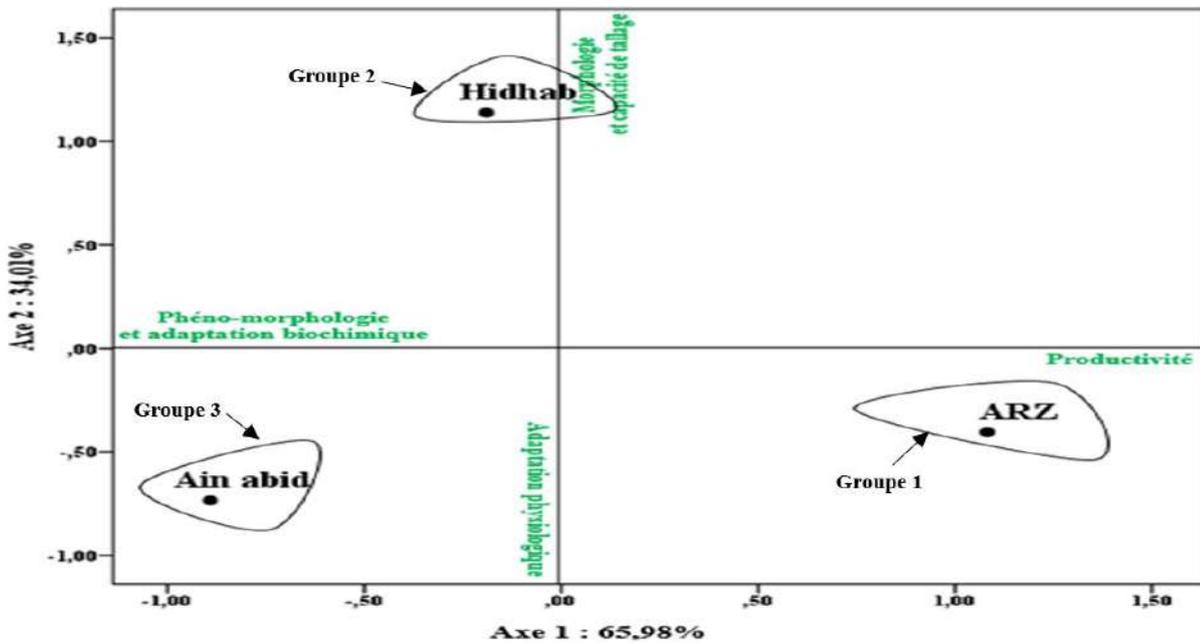


Figure 41. Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019).

Il ressort d’emblée trois groupes distincts relatifs aux trois variétés à savoir : ARZ, Hidhab et Ain abid respectivement.

Afin de vérifier la validité de ces résultats, un test ANOVA à un facteur a été effectué sur la base de la HP (Tableau 10 ; annexe 02). Le test d’homogénéité des variances révèle une statistique de Levene égale à 1,514 (Sig = 0,294), ce qui signifie une égalité des trois variances (Tableau 16).

Tableau 16. Test d’homogénéité des variances. (Blé tendre ; campagne 2018/2019).

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
1,514	2	6	0,294

La valeur du F observée est égale à 374,281 ; Sig = 0,000 (Tableau 11 ; annexe 02). Cela signifie que les trois variétés enregistrent une différence en termes de longueur de plante, qui est l’un des critères d’adaptation au milieu. Le test *post hoc* de de S-N-K montre l’existence de trois groupes (Tableau 17) : le 1<sup>er</sup> groupe inclut la variété ARZ, le 2<sup>ème</sup> la variété Hidhab et le 3<sup>ème</sup> la variété Ain abid.

Tableau 17. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre ; campagne 2018/2019).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
ARZ	3	84,200 <sub>A</sub>		
Hidhab	3		98,400 <sub>B</sub>	
Ain abid	3			104,600 <sub>C</sub>
Signification		1,000	1,000	1,000

Les indications A, B et C indiquent les groupes homogènes.

#### • Campagne 2017/2018 X Campagne 2018/2019

L'ensemble des paramètres mesurés ( $n = 24$ ) au cours des deux campagnes sur les trois variétés (ARZ, Ain abid et Hidhab) a fait l'objet d'une analyse en composantes principales (ACP). Les corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes 1 et 2 sont représentées dans la figure 42. Ces deux axes totalisent 85,30% de la variation, avec 60,12% pour le premier axe et 25,18 % pour le deuxième. Le plan formé par ces deux axes constitue une base d'interprétation des éventuelles corrélations entre ces variables et les relations comportementales des différentes variétés.

L'axe 1 détient plus d'information avec 60,12 %. On distingue au niveau de son côté positif treize variables dont les caractères de production comme le PMG ( $r = 0,992$ ), la Chlt ( $r = 0,955$ ) et le Rdt ( $r = 0,920$ ). Ainsi, ce côté exprime la productivité des variétés étudiées. Au côté négatif de cet axe se trouvent le MDA ( $r = -0,974$ ), les Ss ( $r = -0,873$ ) et la Pro ( $r = -0,809$ ), qui sont considérés comme paramètres de sensibilité de nos variétés et de leurs réponses biochimiques au milieu d'étude.

D'autre part, le côté positif du deuxième axe représente trois variables fortement corrélées à savoir les Polys ( $r = 0,927$ ), les Tans ( $r = 0,895$ ) et les Flavs ( $r = 0,768$ ). Ces paramètres signifient une activité élevée des systèmes antioxydants non enzymatiques des plantes afin de neutraliser les produits secondaires des stress environnementaux, en particulier les ERO. Cependant, les variables HP, DEp et SF sont négativement corrélées à cet axe ( $r = -0,928$ ), ( $r = -0,833$ ) et ( $r = -0,777$ ) respectivement. Ceci montre que ce côté concerne la phénologie.

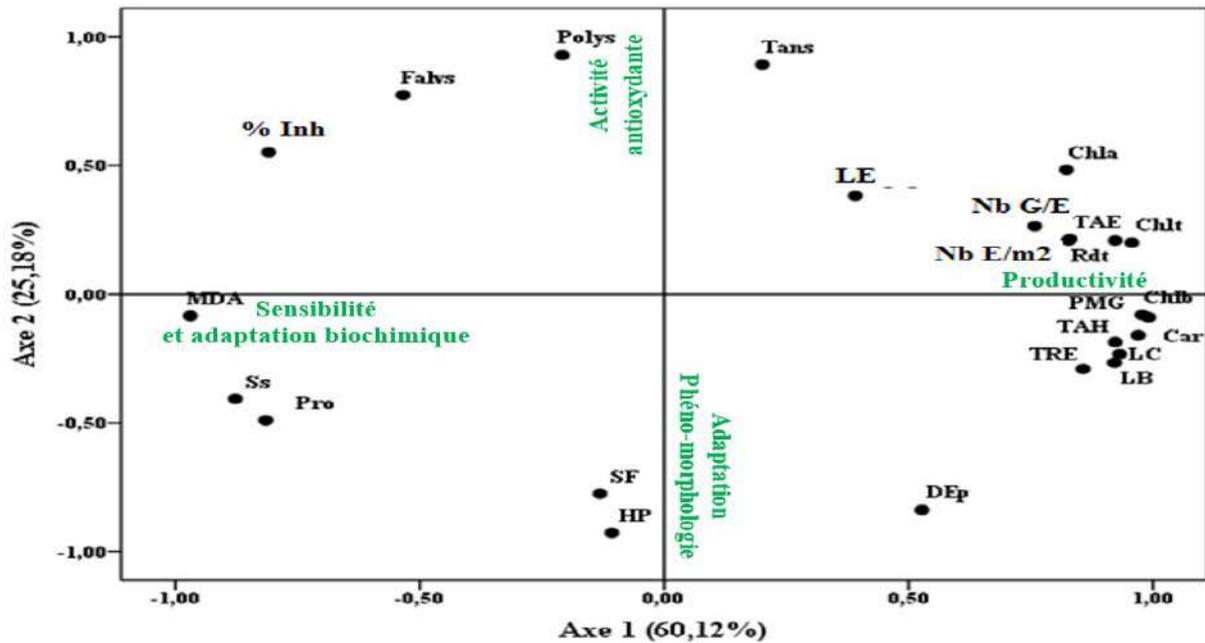


Figure 42. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez le blé tendre. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).

La représentation graphique des individus (Figure 43) laisse apparaître clairement une répartition variétale différente entre les deux campagnes. Les variétés de la première campagne se caractérisent par une activité photosynthétique considérable (des teneurs importantes pour l'ensemble des pigments chlorophylliens) qui se manifeste par une productivité élevée des variétés (Rdt, Nb E/m<sup>2</sup>, PMG et Nb G/E...). Cependant, les variétés de la deuxième campagne ont enregistré une diminution des valeurs de tous les paramètres liés à la morphologie, la physiologie et la productivité. En revanche, nous avons noté une augmentation d'accumulation du MDA attestant que les conditions prévalaient lors de la deuxième campagne étaient plus influentes sur les plantes que les conditions de la première campagne. En réaction à ces conditions, les plantes développent des mécanismes et des stratégies d'adaptation qui leur permettent de survivre dans des conditions de stress tels que le raccourcissement de la période d'épiaison (l'esquive), l'accumulation de quantités importantes des osmolytes (Pro,Ss) et des composés phénoliques (tolérance).

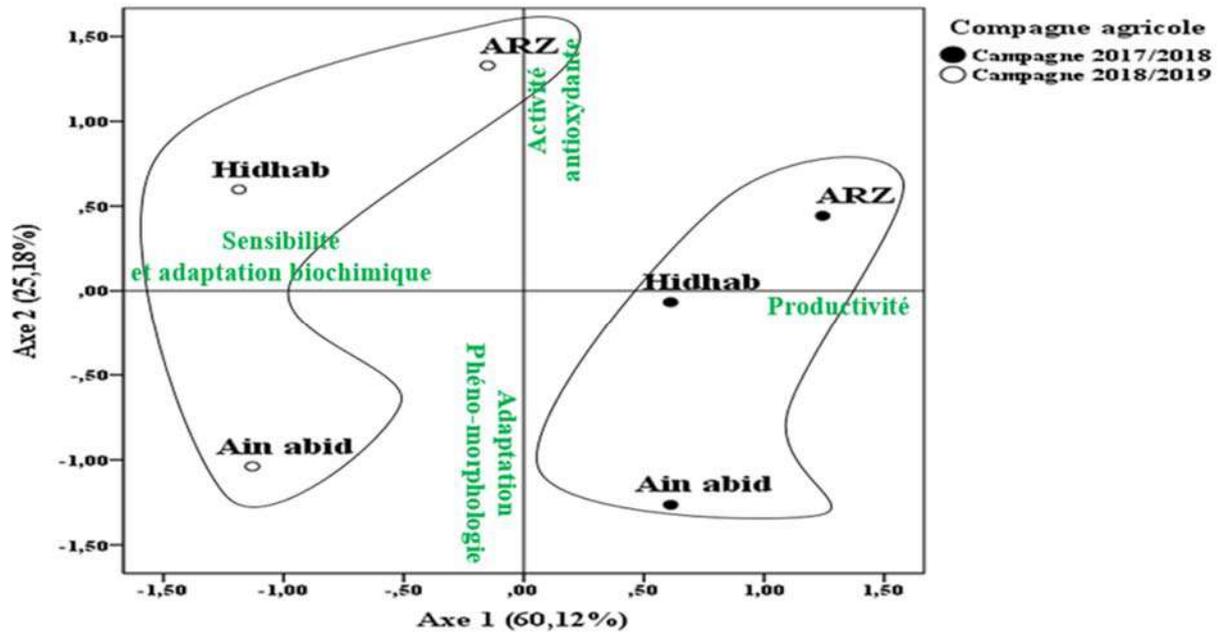


Figure 43. Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).

Pour confirmer davantage les résultats obtenus en ACP, un test ANOVA à deux facteurs a été effectué. Ce test se limite au paramètre discriminant au mieux les variétés étudiées à savoir le PMG. Selon Hammami *et al.* (2017), le PMG est un caractère important de sélection notamment dans les environnements secs correspondant à la taille des grains (Tableau 12 ; annexe 02).

Tableau 18. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable du PMG. (Blé tendre).

Source	Somme des carrés	ddl	F	Signification
Variétés	8,651	2	2,636	0,022
Campagne	5,273	1	71,874	0,000
Variétés × Campagne	1,296	2	1,319	0,304
Erreur	5,896	12	-	-
Total corrigé	47,779	17	-	-

L'étude de l'effet variété montre une différence significative entre les trois variétés du point de vue rendement ( $F = 2,636$  ;  $p = 0,022$ ). Le test *post-hoc* de S-N-K révèle deux groupes : un groupe représenté par la variété ARZ et un deuxième groupe formé par les deux autres variétés à savoir Ain abid et Hidhab (Tableau 19).

Tableau 19. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Blé tendre pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Hidhab	3	32,498 <sub>A</sub>	
Ain abid	3	32,727 <sub>A</sub>	
ARZ	3		33,743 <sub>B</sub>
Signification		0,582	1,000

Les indications A et B indiquent les groupes homogènes.

De plus, nous avons noté une différence hautement significative (Sig =0,000) entre les deux campagnes en termes de productivité. Le test *post-hoc* de S-N-K montre l'existence de deux groupes homogènes : un groupe représenté par la campagne 2017/2018 et un deuxième représenté par la campagne 2018/2019 (Tableau 20).

Tableau 20. Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Effet	Signification	Groupes homogènes	
2017/2018 X 2018/2019	0,000	A (2017/2018)	B (2018/2019)

Il ressort de la figure 44 que les variétés étudiées se différencient d'une campagne à l'autre notamment par leur PMG. Autrement dit, le PMG de chaque variété de la campagne 2018/2019 est inférieur à celui de 2017/2018. En effet, le PMG moyen ne dépasse pas 32,65 g lors de la deuxième campagne alors qu'en première, le PMG, le plus faible était de 34,09 g.

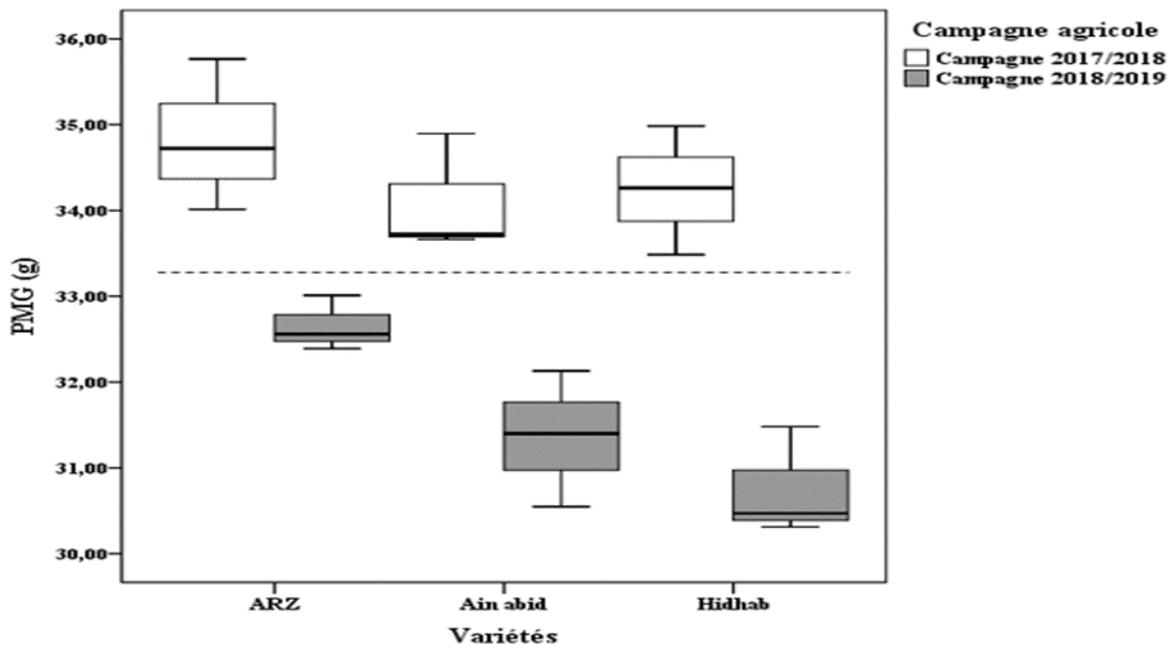


Figure 44. Comparaison graphique des moyennes pour le PMG sur deux années, chez le blé tendre.

L'analyse de la variance combinée fait état sur un effet campagne très hautement significatif qui représente une partie importante de la variabilité dans les données évaluées. Cet effet met en évidence l'impact des changements climatiques sur le développement des plantes d'une campagne à l'autre et les différences dans les interactions des variétés étudiées vis-à-vis de ces changements externes. De plus, cette analyse a montré un effet variété significatif provenant du patrimoine génétique de chaque variété. Cependant, la différence est non significative pour l'interaction Variété X campagne ( $F= 1,319$  ;  $Sig = 0,304$ ).

En conclusion, ces résultats nous permettent d'orienter la voie de sélection des variétés de blé tendre étudiées. La variété ARZ a montré de grandes capacités productives au cours des deux années de l'étude. Cette capacité se traduit par un rendement en grain élevé dû à la fécondité des épis (Nb G/E élevé) et un pouvoir à remplir ses grains (PMG élevé). De plus, cette variété se remarque par une activité photosynthétique appréciable représentée par des taux élevés des pigments chlorophylliens et un long col d'épi qui contribue de manière significative au remplissage des grains. Par conséquent, la sélection basée sur la productivité nous amène à suggérer la variété ARZ au moins dans des conditions expérimentales similaires.

La sélection sur la base de la tolérance préconise la variété Ain Abid, et ce pour plusieurs raisons : Cette variété se distingue par sa hauteur, qui est souvent liée à un système racinaire profond, ce qui permet aux plantes d'absorber plus facilement l'eau du sol dans des conditions difficiles. De plus, elle a montré une grande capacité à accumuler des composés directement liés à la tolérance au stress, tels que la proline et les sucres solubles. Cette variété présente une tardivité à l'épiaison, ce qui la rend plus adaptée aux régions où les gelées printanières sont tardives.

La sélection d'un épi long fait référence à la variété Hidhab qui est caractérisé par les meilleures performances pour ce trait au cours des deux années de notre étude. De plus, la sélection de cette variété en termes du Nb E/m<sup>2</sup> est privilégiée lors d'une campagne défavorable.

### 3.1.3. Orge

- **Campagne 2017/2018**

Pour déterminer la nature et le degré de divergence entre les variétés étudiées, nous avons effectué une ACP sur la base des 24 paramètres mesurés.

Sur l'axe 1 (Figure 45), avec ses 71,97 % de contribution, ce sont les variables Rdt, Chlt, TAE, TAH, SF, LC, Pro, Ss, MDA, HP et DEp qui expriment les meilleures corrélations avec cette composante. Celle-ci est définie, du côté positif, par les paramètres liés à la productivité tels que le tallage ( $r = 0,965$ ), la SF ( $r = 0,942$ ) et la Chlt ( $r = 0,942$ ) et du côté négatif par la HP ( $r = -1,000$ ) et la DEp ( $r = -0,965$ ) exprimant une adaptation phéno-morphologique des variétés.

Le deuxième axe (vertical) avec 28,20% d'information, est défini du côté positif par TRE ( $r = 0,963$ ) et LE ( $r = 0,932$ ) traduisant une adaptation morpho-physiologique et du côté négatif par le Nb G/E ( $r = -0,996$ ) qui renseigne sur la capacité à la production des grains ou sur la fertilité d'épis.

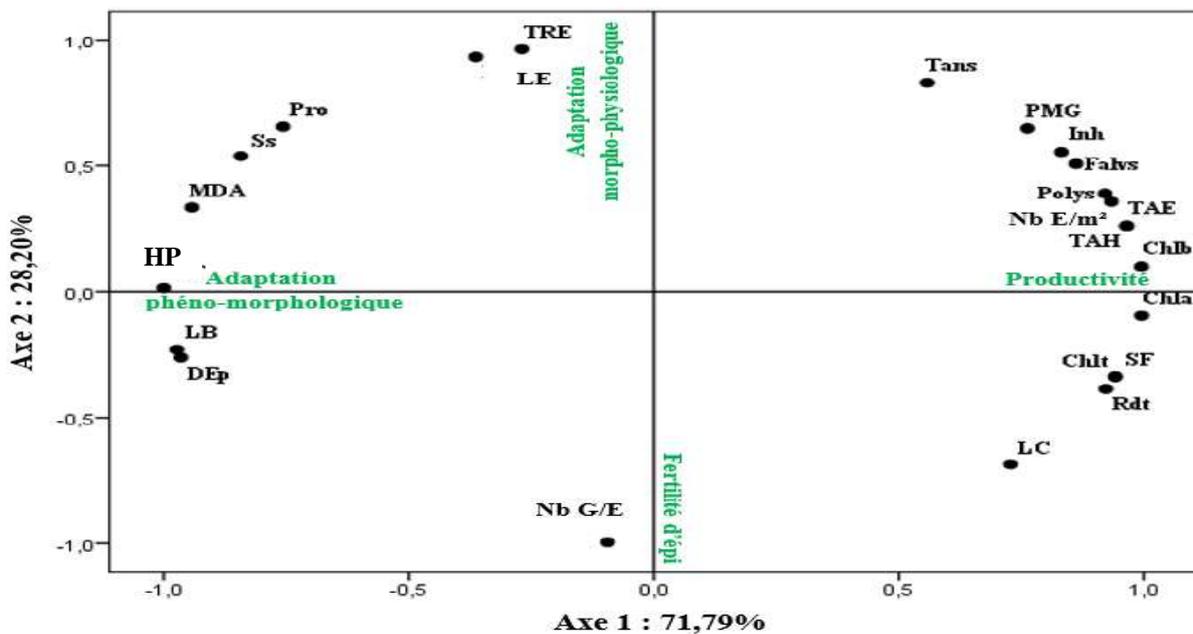


Figure 45. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. Campagne (2017/2018).

La dispersion des variétés (Figure 46) révèle que les épis de la variété Fouara présentent une bonne fertilité, s'exprimant par une augmentation du nombre de grains par épi, ce qui conduit à un rendement en grain maximal. De plus, elle a une large feuille contenant de grandes quantités de pigments chlorophylliens, ce qui suggère une haute capacité de photosynthèse pour la production de composés nécessaires à la croissance des plantes. Cette variété affiche une

TRE faible, qui peut être expliquée par les baisses de concentration d'osmoticums (Pro, Ss) au niveau des feuilles de cette variété d'une part, d'autre part, par la largeur de la surface foliaire où la perte en eau par transpiration est plus importante.

La variété Saida se caractérise par un grand Nb E/m<sup>2</sup>, cela revient à sa grande capacité au tallage combinée à une bonne transformation des talles herbacées en talles épis. Elle présente un faible Nb G/E signifiant un taux de stérilité élevé dans les épis de cette variété. En revanche, elle a enregistré un poids de PMG en compensation du faible nombre de grains (phénomène de compensation entre les composantes du rendement). Elle se distingue également par une TRE élevée qui peut être interprétée par la présence de grandes quantités de composés phénoliques dans leurs feuilles qui réduisent la détérioration des membranaires cellulaires et maintiennent ainsi la turgescence des cellules. En ce qui concerne la variété Barbe rousse, elle se spécifie par sa hauteur et sa tardivité à l'épiaison. Elle semble plus tolérante car ses feuilles contiennent de grandes quantités de proline et des sucres solubles. En plus, elle a été caractérisée par l'accumulation de quantités importantes du MDA, signalant des dommages importants au niveau des membranes cellulaires des feuilles, ce qui explique le faible rendement de cette variété.

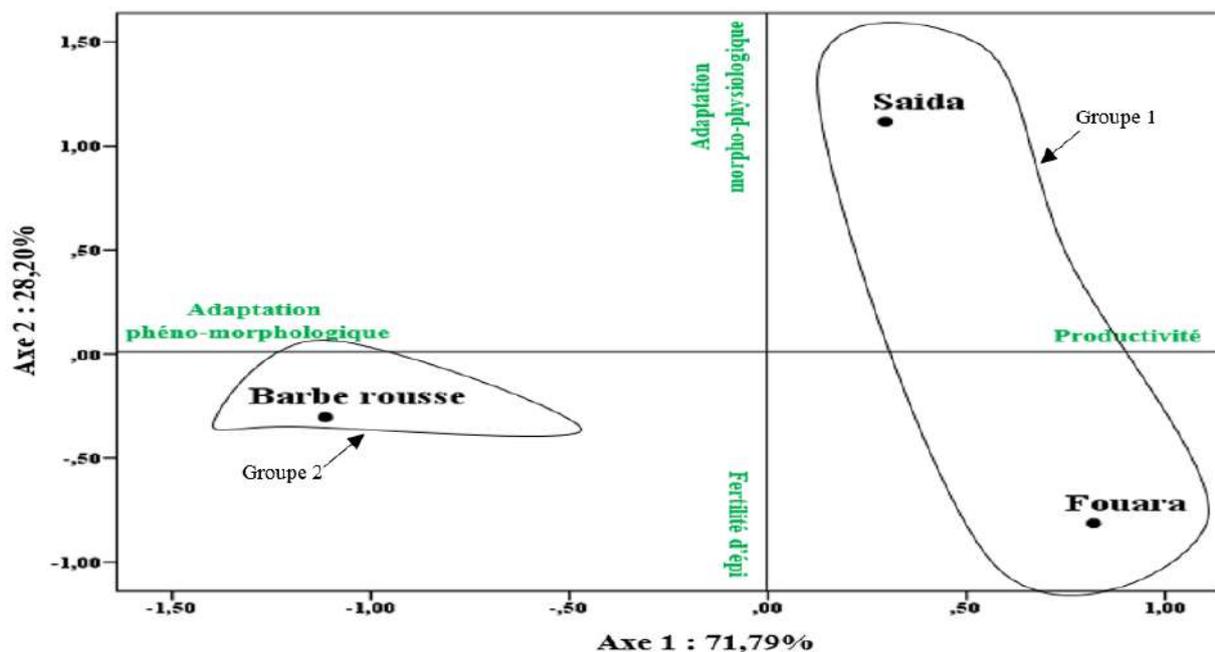


Figure 46. Distribution des variétés de l'orge en fonction des deux composantes principales. Campagne (2017/2018).

La figure 46 montre l'émergence de deux groupes :

- Groupe 1 : Fouara et Saida
- Groupe 2 : Barbe rousse

Pour étayer ces résultats, nous avons eu recours à l'application du test ANOVA à un facteur, qui se limite au paramètre le mieux discriminant entre nos variétés, à savoir la HP (Tableau 13 ; annexe 02). Le test d'homogénéité des variances montre une statistique de Levene 2,378 ; Sig = 0,174, ce qu'indique que les trois variances sont égales (Tableau 21).

Tableau 21. Test d'homogénéité des variances. (Orge ; campagne 2017/2018).

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
2,378	2	6	0,174

Le F observé a une valeur de 10,208 ; Sig = 0,012 (Tableau 14 ; annexe 02). Cette valeur est synonyme d'une différence significative dans le comportement des trois variétés, notamment en termes d'adaptation morphologique. Le test *post-hoc* de S-N-K révèle l'apparition de deux groupes (Tableau 22). Le premier groupe est composé des deux variétés Fouara et Saida, et le deuxième comprend la variété Barbe rousse.

Tableau 22. Groupes homogènes selon le teste de S-N-K. (Orge ; campagne 2017/2018).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
Fouara	3	95,500 <sub>A</sub>	
Saida	3	98,600 <sub>A</sub>	
Barbe rousse	3		106,400 <sub>B</sub>
Signification		0,259	1,000

Les indications A et B indiquent les groupes homogènes.

### • Campagne 2018/2019

Afin d'évaluer la variabilité entre nos espèces durant la 2<sup>ème</sup> campagne, nous avons appliqué une ACP en fonction des 24 paramètres mesurés. Cette analyse a révélé que deux axes (composante 1 et composante 2) sont les plus informatifs avec 65,35 et 34,64% respectivement, avec un total de 100% (Figure 47).

L'axe 1, sur son côté positif, est formé principalement par les variables suivantes ; la Chlt ( $r = 0,988$ ), le Rdt ( $r = 0,971$ ) et le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = 0,928$ ), ce qui dénote une productivité. Les variables HP ( $r = -0,999$ ), Ss ( $r = -0,977$ ) et DEp ( $r = -0,962$ ) sont corrélées avec le côté négatif

de cet axe signifiant ainsi une adaptation phéno-morphologique et biochimique des variétés aux conditions climatiques de cette campagne.

La variable Nb G/E ( $r = -0,997$ ) se situe du côté négatif de l'axe 2, renseignant une fertilité des épis, alors que du côté positif les deux variables LE ( $r = 1,00$ ) et les Polys ( $r = 0,913$ ) désignent une adaptation morphologique et une activité antioxydante.

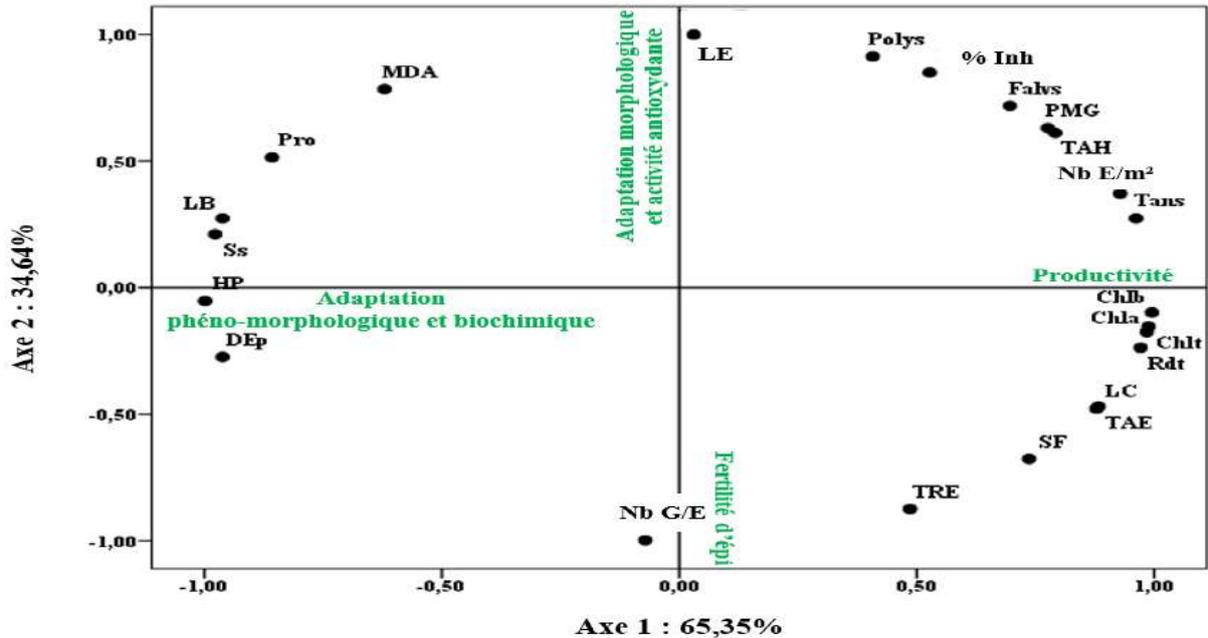


Figure 47. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. Campagne (2017/2018).

Lors de la deuxième campagne, nous avons remarqué que la variété Fouara a un meilleur comportement en termes de productivité, comparativement aux deux autres variétés, vu sa large feuille étandard contenant des quantités importantes de pigments chlorophylliens et son long col d'épi ; ce qui lui confère une bonne efficacité dans la photosynthèse. De plus, ses épis se distinguent par une bonne fertilité, entraînant une augmentation du nombre de graines d'où un rendement positif.

La variété Saida semble la plus affectée par les circonstances qui ont prévalu dans cette campagne (manque d'eau et des températures élevées) en raison de l'accumulation de grandes quantités du MDA résultant de l'endommagement des membranes cellulaires. Cependant, elle montre une activité antioxydante puissante (Polys, Flavs et Tans élevés) en réaction de la plante aux stress environnementaux. Cette variété se discrimine par le Nb E/m<sup>2</sup>, le PMG et la LE considérés comme étant les paramètres les plus performants au cours des deux années d'études, en comparaison avec les deux autres variétés.

Identiquement à la première campagne, la variété Barbe rousse se caractérise par sa hauteur et son épiaison tardive. Elle a également un grand potentiel d'accumulation des osmolytes (Pro et les Ss) mais une faible productivité. Toutes ces caractéristiques indiquent une grande capacité de tolérance (Figure 48).

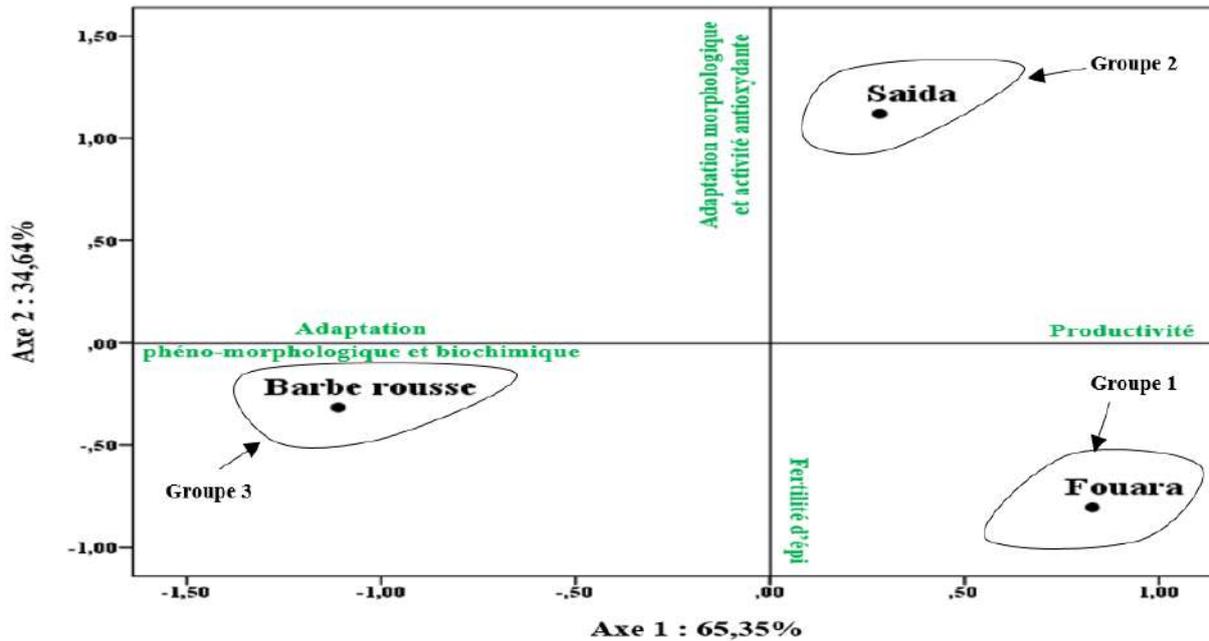


Figure 48. Distribution des variétés de l'orge en fonction des deux composantes principales. Campagne (2018/2019).

La lecture de la figure 48 nous a permis de visualiser trois groupes. Chacun étant représenté par une des variétés étudiées :

- Groupe 1 : Fouara
- Groupe 2 : Saida
- Groupe 3 : Barbe rousse

Le test d'homogénéité exprimé par une statistique de levene égal à 0,033 (Sig = 0,968) indique que les trois variances sont égales (Tableau 23).

Tableau 23. Test d'homogénéité des variances. (Orge ; campagne 2018/2019).

Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
0,033	2	6	0,968

L'ANOVA à un facteur a montré un effet variété significatif F observé égal 123,735 ; Sig = 0,000 (Tableau 15 ; annexe 02) ; ce qu'indique une différence dans le comportement des

variétés étudiées, notamment d'un point de vue morphologique (HP). Le test *post hoc* de S-N-K montre l'existence de trois groupes distincts relatifs aux trois variétés (Tableau 24).

Tableau 24. Groupes homogènes selon le test de S-N-K. (Orge ; campagne 2018/2019).

Variétés	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
Fouara	3	85,500 <sub>A</sub>		
Saida	3	90,300 <sub>B</sub>		
Barbe rousse	3	106,100 <sub>C</sub>		
Signification		1,000	1,000	1,000

Les indications A, B et C indiquent les groupes homogènes.

• **Campagne 2017/2018 X Campagne 2018/2019**

Le pourcentage d'information donnée par l'axe 1 est de 64,86 et celui donné par l'axe 2 est de 20,22%, soit 85,08% de la variation totale (Figure 49).

Du côté positif, l'axe 1 est défini par la majorité des caractères liés à la productivité parmi lesquelles la Chlt ( $r = 0,991$ ), LC ( $r = 0,980$ ) et le Nb E/m<sup>2</sup> ( $r = 0,943$ ). Du côté négatif de cet axe apparaissent la Pro ( $r = -0,887$ ), le MDA ( $r = -0,875$ ) et les Ss ( $r = -0,845$ ) qu'indiquent sur la réponse biochimique des plantes aux conditions expérimentales.

La HP ( $r = 0,919$ ) et la LB ( $r = 0,873$ ) déterminent le côté positif de l'axe 2 exprimant une adaptation morphologique et le PMG ( $r = -0,846$ ) sur le côté négatif informe une taille et un taux de remplissage des grains.

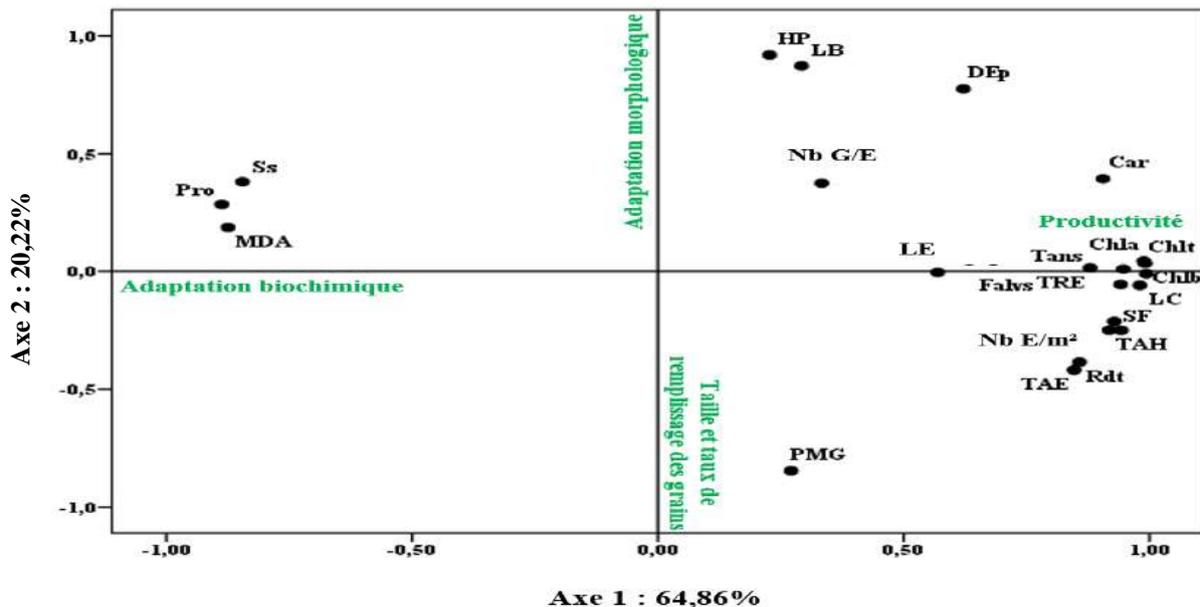


Figure 49. Graphique des corrélations des 24 paramètres analysés chez l'orge. (campagne 1 et campagne 2 combinées).

La figure 50 révèle une distribution variétale différente entre les deux campagnes. En effet, les variétés étudiées étaient caractérisés par une productivité élevée et englobent les meilleurs paramètres morpho-physiologiques durant la campagne 2017/2018. Contrairement à la campagne suivante, durant laquelle nos variétés se caractérisaient par une forte accumulation des osmolytes (Pro, Ss) et des dommages importants dans les membranes cellulaires.

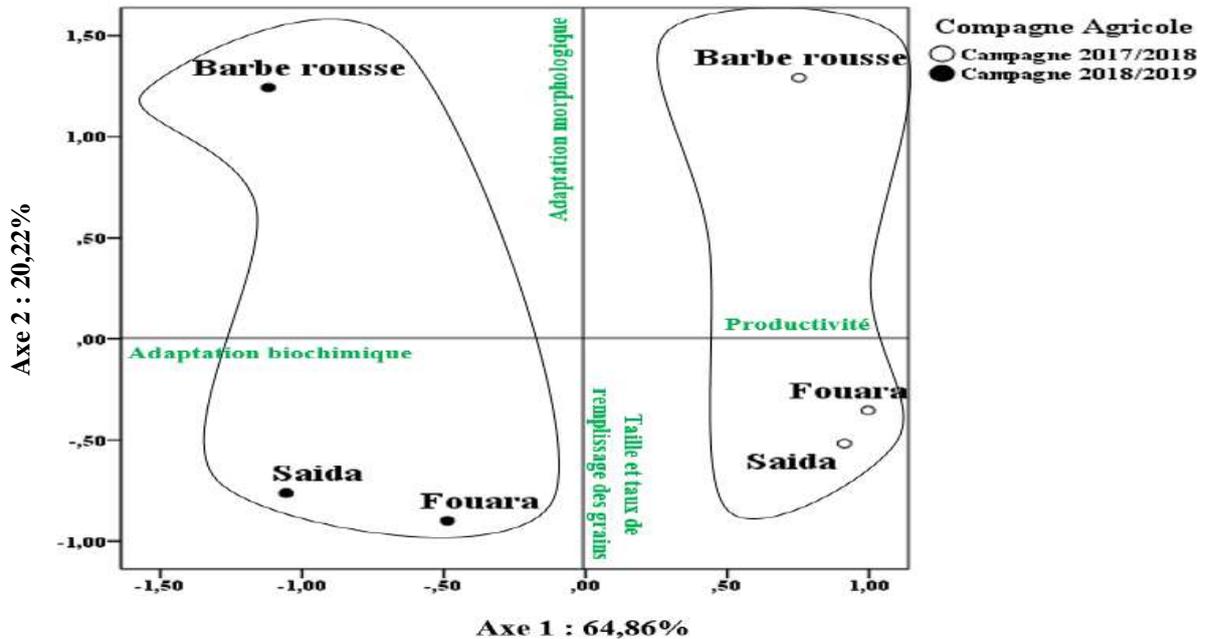


Figure 50. Distribution des variétés de blé tendre en fonction des deux composantes principales. (Campagne 1 et campagne 2 combinées).

Afin de mieux visualiser les différences enregistrées entre les trois variétés au cours des deux campagnes, une ANOVA à deux facteurs (Variétés x Campagne) a été réalisée en s'appuyant sur le paramètre Chlt (Tableau 17 ; annexe 03).

Tableau 25. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Variété et campagne) pour la variable Chlt. (Orge).

Source	Somme des carrés	ddl	F	Signification
Variétés	1413,591	2	8,134	,006
Campagne	82170,526	1	945,694	,000
Variétés x Campagne	1184,530	2	6,816	,011
Erreur	1042,669	12		
Total corrigé	85811,316	17		

L'étude de l'effet variété a montré des différences hautement significatives (Sig. = 0,006) indiquant une forte variabilité génétique au sein des variétés testées. Le test *post-hoc* de S-N-K a montré l'existence de deux groupes distincts (A et B). Le groupe A est représenté par la variété Barbe rousse, alors que les deux variétés Fouara et Saida forment le groupe B.

Tableau 26. Groupes homogènes de l'effet variété selon le test de S-N-K. (Orge pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Espèces	N	Sous-ensemble	
		1	2
Barbe rousse	6	169,311 <sub>A</sub>	
Fouara	6		183,905 <sub>B</sub>
Saida	6		190,525 <sub>B</sub>
Signification		1,000	0,242

Les indications A et B indiquent les groupes homogènes.

Concernant l'effet campagne, nous avons constaté une différence hautement significative (Sig = 0,000) entre les deux années du point de vue Chlt. Le test *post-hoc* de S-N-K montre l'existence de deux groupes homogènes : Un groupe représenté par la campagne 2017/2018 et un deuxième représenté par la campagne 2018/2019 (Tableau 27).

Tableau 27. Groupes homogènes de l'effet campagne selon le test de S-N-K. (Orge pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

Effet	Signification	Groupes homogènes	
2017/2018 X 2018/2019	0,000	A (2017/2018)	B (2018/2019)

La figure 51 révèle une nette différence entre nos variétés sur le plan de la capacité photosynthétique. La teneur des feuilles en chlorophylle de chaque variété durant la campagne 2017/2018 est supérieure à celle de 2018/2019. De plus, lors de la deuxième campagne la Chlt moyenne ne dépasse pas 132,40  $\mu\text{g.ml}^{-1}/\text{MF}$  alors qu'en première campagne, la teneur la plus faible est de 247,240  $\mu\text{g.ml}^{-1}/\text{MF}$ .

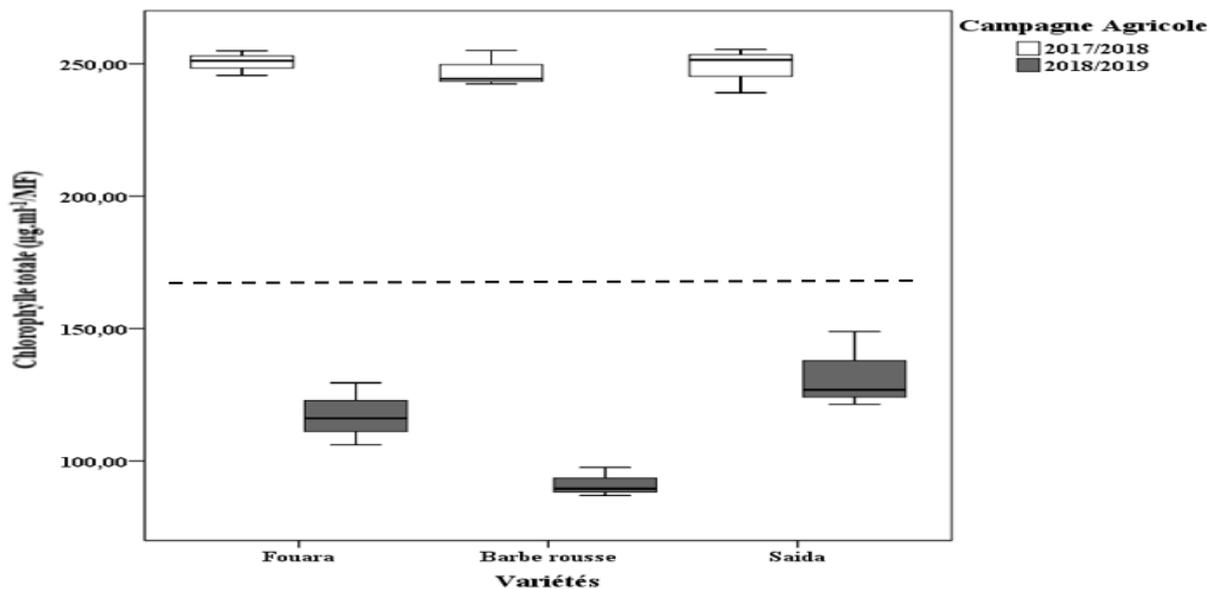


Figure 51. Comparaison graphique des moyennes pour la Chlt sur deux campagnes chez l'orge.

L'analyse de la variance combinée a mis en évidence l'existence d'une variabilité importante pour le paramètre Chlt, l'effet année absorbe la plus grande part de la variation analysée ( $F=945,694$  ;  $Sig=0,000$ ). Cet effet met en évidence l'influence des fluctuations des conditions de croissance d'une campagne à l'autre et les différences de comportement de variétés testées. De même, l'effet est non significatif pour le facteur variété ( $F=8,134$  ;  $Sig.=0,006$ ) ainsi que l'interaction variété x campagne ( $F=6,816$  ;  $Sig.=0,011$ ).

Les résultats obtenus au cours des deux années de l'étude nous permettent de suggérer la sélection de la variété Fouara sur la base de la productivité, en raison de son rendement en grains élevé résultant de sa large feuille contenant des grandes quantités de pigments chlorophylliens, qui la confèrent une activité photosynthétique performante. Ainsi que la fertilité de ses épis qui entraîne une augmentation du nombre de grains par épi, une composante directement liée au rendement.

La variété Barberousse peut être sélectionnée en fonction de sa hauteur, sa tardivité et de sa capacité à accumuler des osmolytes, ces caractéristiques indiquent que cette variété est plus tolérante par rapport aux deux autres variétés.

La sélection de la variété Saida faite principalement de sa capacité au tallage qui permet d'obtenir un grand nombre d'épis aussi bien sur la taille de ses grains.

### **3.2. Analyse des corrélations inter-caractères**

Les multiples programmes de sélection qui sont réalisés dans les différents centres d'amélioration des céréales de notre pays s'intéressent principalement au critère de rendement afin d'atteindre des niveaux de production stables et élevés.

La sélection sur la base du rendement grain ou directe n'est efficace que si les conditions du milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement grain donné, se répètent de façon régulière. En milieux relativement plus stables, les progrès de la sélection directe sont donc plus évidents qu'ils ne le sont en milieux variables où les interactions génotype X environnements amenuisent le gain génétique réalisé (Hamli, 2015).

L'inefficacité de la sélection directe est expliquée par des interactions génotypes X milieu qui réduisent la variance génotypique et le coefficient de l'héritabilité du rendement (Annichiarico *et al.*, 2006; Kamoshita *et al.*, 2008). De ce fait, le rendement devient un critère de sélection complexe et peu efficace, d'où il est nécessaire de tester le matériel végétal à travers un éventail de sites pendant plusieurs saisons pour obtenir des résultats relativement précis (Kadi *et al.*,

2010). Par conséquent, il est indispensable de passer à une sélection indirecte pour le rendement via des caractères facilement mesurables très tôt au cours du cycle de développement de la plante.

L'étude des corrélations entre caractères est une étape primordiale dans le domaine de la sélection. Il est important de savoir de quelle façon l'amélioration d'un caractère fera varier d'autres caractères.

Concernant la campagne agricole 2017/2018, l'étude des corrélations entre les différentes variables mesurées indique que le Rdt est négativement corrélé avec la DEp. dans le cas du blé tendre ( $r = -0,624$ ) et pour l'orge ( $r = -0,789$ ), alors que pour le blé dur, une corrélation négative non significative a été enregistrée entre ces deux caractères ( $r = -0,172$ ). Durant la campagne suivante (2018/2019), nous remarquons que le Rdt est toujours négativement corrélé à la DEp. Pour le cas du blé tendre ( $r = -0,886$ ) et pour l'orge ( $r = -0,870$ ), tandis que une corrélation positive a été enregistrée entre ces deux variables pour le blé dur ( $r = 0,691$ ) ; cela signifie qu'une croissance plus ou moins précoce conduit à un gain dans le rendement en grains chez les céréales étudiées. Ceci est également observé par Mansouri *et al.* (2018).

De même Chennafi *et al.* (2010) ont constaté dans leurs travaux, que les cultivars à épiaison précoce sont plus productifs que les cultivars qui se caractérisent par une épiaison tardive. Mekhlouf *et al.* (2006) considèrent que la précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive au stress de fin de cycle chez le blé dur. Compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations dans les régions arides à semi-arides, l'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire. Ce mécanisme biologique constitue une caractéristique souhaitable et pourrait être quantifié d'échappement puisque les génotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (Megherbi *et al.*, 2012).

Néanmoins, l'augmentation de la précocité des céréales, bien qu'elle ait donné des résultats incontestables, n'est toutefois pas sans inconvénients. Elle contribue, entre autres, à la réduction de la productivité et ne convient que pour une sécheresse tardive et de courte durée (Melki et Dahmane, 2008). Slafer *et al.* (2005) montrent que les génotypes tardifs sont généralement plus productifs que les précoces, ceci est dû au fait que les génotypes précoces font une moindre utilisation des disponibilités offertes par le milieu de production. De même, Dekkaki *et al.* (2000) enregistrent une relation positive entre le rendement grain et le nombre de jours à l'épiaison ( $r = 0,86$ ). D'après, Ibn Maaouia- Houimli *et al.* (2012), le retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress, avant

que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles.

Les céréales sont généralement cultivées en conditions pluviales dans le bassin méditerranéen qui impose souvent un certain nombre de contraintes environnementales sur les variétés tardives. La sélection variétale sur la base de la précocité doit privilégier l'obtention des variétés dont la date de précocité d'épiaison, peu variable 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. Pour y parvenir, cette sélection devrait porter à la fois sur les exigences thermo périodique et photo périodique de la plante (Mekhlouf *et al.*, 2006).

De plus, il ressort que le Rdt est corrélé positivement avec ses composantes (Nb G/E, Nb E/m<sup>2</sup>, PMG) chez les deux genres au cours des deux années de l'étude. Ces résultats sont en accord avec plusieurs recherches qui révèlent que le rendement est constitué de différentes composantes qui se mettent en place successivement ou simultanément au cours du développement de la culture (Lopes, 2012 ; Mansouri *et al.*, 2018). De plus, Ghennai *et al.* (2017) ont rapporté que le rendement en grain est déterminé par ses composantes telles que le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi et la biomasse. Cela signifie que tous les composantes du rendement ont une contribution considérable au rendement en grains et que toute perturbation directe ou indirecte affectant l'un des composantes du rendement qui va à son tour influencer inévitablement le rendement en grains.

Selon Tattaris *et al.* (2016), la sélection de l'un des composants de rendement pourrait améliorer considérablement les rendements. Globalement ces résultats corroborent ceux rapportés par Fellahi *et al.* (2013), Kandel *et al.* (2017) et Safarova *et al.* (2019).

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

De plus, le Rdt affiche des corrélations positives avec le TAH et le TAE aussi bien en blé qu'en orge. Selon Bennaceur *et al.* (1997), le tallage est un caractère variétal qui en conditions favorables pourrait renseigner sur le potentiel des variétés. Leur importance se dirige sur le

choix des géotypes dans le cadre de l'amélioration des plantes. Khan et Naqvi, (2011) ont noté que le nombre de talles par plante a une contribution directe au rendement en grains. Cela signifie que l'augmentation du nombre de talles productifs entraîne une augmentation du rendement. Nos résultats rejoignent les observations faites par Sang *et al.* (2014) qui ont conclu que la formation des talles affecte le nombre de grains et le poids des grains, donc il est étroitement lié au rendement. Hazmoune et Benlaribi, (2004) ont également constaté que la capacité d'une plante à former un grand nombre de talles est très avantageuse pour l'augmentation et la stabilité du rendement dans des milieux variables. La compréhension de cette contribution peut aider à la sélection des géotypes adaptés et hautement productifs (Elhani *et al.*, 2007).

Une autre constatation importante montre une corrélation négative chez l'orge entre le Nb G/E et le PMG pendant la première et la deuxième campagne. Ce résultat est la conséquence d'une compétition qui s'établit entre les grains pour les assimilats ; ce qui engendre souvent la chute du PMG, c'est-à-dire que la production d'un grand nombre de grains/épi influence le PMG négativement, ce qui correspond à un faible remplissage des graines. Ceci est parfaitement cohérent avec les résultats obtenus par Bouziani et Benmoussa (2015) et Chahredine et Benderradji (2019).

Le Rdt présent également des corrélations positives avec la SF et l'ensemble des pigments chlorophylliens, qui sont à leurs tours liés positivement chez le blé dur et l'orge au cours des deux années d'étude. Globalement, ces résultats sont en accord avec les travaux de Salmi *et al.* (2015), Himani *et al.* (2018) qui ont signalé qu'une feuille étandard aux larges dimensions est certainement désirable en milieux favorables, vu que cet organe est le dernier qui reste en activité, avec l'épi et les barbes. Une augmentation de la SF induit une augmentation de la capacité photosynthétique pour la synthèse des composés organiques qui sont favorables à un haut rendement.

En outre, Sallam *et al.* (2019) ont mentionné que la chlorophylle a un rôle important dans la production d'énergie chez les plantes, étant donné qu'elles souffrent d'une énergie insuffisante nécessaire à une croissance normale. Pour cette raison, les sélectionneurs et les généticiens doivent choisir des variétés de blé et d'orge capables de soutenir le système de photosynthèse sous des conditions défavorables pour réduire les pertes de rendement céréalier.

En revanche, nous avons noté une corrélation négative entre le Rdt et la SF dans le cas du blé tendre qui peut être expliqué par le fait 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, comme elle peut être avantageuse du fait qu'elle réduit effectivement les pertes en eau totale de la plante (Kirkham *et al.*, 1980 ; Abbassenne, 1997). Bouzerzour et Benmahammed, (2009) ont mentionné que sous conditions semi-arides, la sélection sous stress, des feuilles de tailles relativement réduites est désirable.

Il convient également de signaler les corrélations positives enregistrées entre les caractéristiques de l'épi (LE, LC, LB) et le Rdt avec ses composantes (Nb G/E, Nb E/m<sup>2</sup> et PMG) chez les deux genres au cours des deux campagnes. Kahali *et al.* (2016) ont expliqué le rôle du col par la quantité d'assimilats photosynthétiques stockées dans cette partie de la plante qui sont susceptibles d'être transférés vers les grains. De leur part, Kong *et al.* (2010) ont également estimé que le col contribue d'une manière cruciale durant les étapes finales du remplissage du grain. En ce qui concerne la LE, des nombreux auteurs ont souligné le rôle important d'un épi long (Iftikhar *et al.*, 2012 ; Rebetzke *et al.*, 2016 ) et ont mentionné que la LE exerce un effet positif direct et élevé sur le rendement/plante. De même, Djekoun *et al.* (2002) ont signalé qu'une longueur élevée de l'épi est un paramètre prédictif d'un indice de récolte et d'un potentiel de rendement élevé. De ce fait, une augmentation de la longueur de l'épi contribue à une augmentation de la capacité photosynthétique. Ainsi 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.

Merah et Monneveux, (2014) ont rapporté que les barbes jouent un rôle important dans la tolérance au stress et le remplissage des grains par leur surface développée, leur port dressé et leur position au voisinage immédiat de la graine favorisent sa formation qui ferait un gain au rendement.

Les mécanismes d'adaptation et de tolérance aux contraintes abiotiques sont diverses. Par exemple, la mesure de la teneur relative en eau (TRE) permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante, reflétant l'activité métabolique des tissus et peut être utilisée comme l'indice le plus significatif de tolérance au stress notamment la déshydratation (Sallam *et al.*, 2019). Elle a également été proposée comme caractère utile pour sélectionner des variétés du blé tolérantes au stress (Hasheminasab *et al.*, 2012 ; Farshadfar *et al.*, 2014).

Les résultats obtenus montrent que la TRE révèle des corrélations négatives avec le Rdt chez le blé dur ( $r = -0,271$  pour la 1<sup>ère</sup> année et  $r = -0,902$  pour la 2<sup>ème</sup> année). Ceci est parfaitement cohérent avec les résultats obtenus par Khennaoui *et al.* (2016) qui ont enregistré une

corrélation négative ( $r = -0,466$ ) entre la TRE et le Rdt. De plus, sur la base d'études précédentes, ils ont montré que les génotypes tolérants aux stress abiotiques sont moins productifs et perdent moins d'eau foliaire par unité de temps. Chez le blé tendre, nous avons observés des corrélations positives entre ces deux paramètres ( $r = 0,989$  en 1<sup>ère</sup> année et  $r = 0,276$  en 2<sup>ème</sup> année).

Nezhadahmadi *et al.* (2013) suggèrent que les génotypes avec une bonne gestion d'eau peuvent produire des rendements élevés sous des conditions stressantes et peuvent donc être utilisés pour créer de nouvelles lignées de sélection et des cultivars ayant développé une résistance au stress. Pour l'orge, le Rdt est négativement corrélé à la TRE en 1<sup>ère</sup> année ( $r = -0,620$ ) et positivement en 2<sup>ème</sup> année ( $r = 0,679$ ). Les variétés Barbe rousse et Saida présentant les TRE en eau les plus élevées durant la 1<sup>ère</sup> année, 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.

Sur l'ensemble des individus analysés (Annexe 03), le MDA est corrélé négativement avec la TRE, le Rdt et l'ensemble des pigments chlorophylliens. Ceci suggère que la peroxydation des lipides membranaires serait associée à un défaut de fonctionnement et peut mener aux dommages des composants cellulaires principaux. Par conséquence, la membrane perd alors son intégrité en devenant perméable, se plasmolyse et libère son contenu vers l'espace extracellulaire ; Ce qui affecte sérieusement la productivité de la plante. Des résultats similaires ont été obtenus chez de nombreuses espèces, telles que le colza (*Brassica napus* L.) (Toumi *et al.*, 2014), le blé tendre (*Triticum aestivum*) (Khalilzadeh *et al.*, 2016) et le blé dur (*Triticum durum*) (Bouchemal *et al.*, 2018).

De plus, durant les deux années de notre étude, nous avons enregistré une corrélation négative de la teneur en MDA des feuilles avec leurs teneurs en composés phénoliques et en pigments chlorophylliens. En effet, Osmond, (1994) a affirmé que l'exposition des plantes à des stress prolongés conduit à la destruction du centre réactionnel du photosystème II et provoque ainsi l'apparition de formes réactives d'oxygène dans les chloroplastes. L'accumulation de ces formes réactives de l'oxygène entraîne la décomposition de la chlorophylle et la peroxydation des lipides membranaires. Les modifications dans la composition lipidique ainsi que les changements dans le degré de l'insaturation des acides gras peuvent avoir des conséquences

graves sur la structure et les propriétés physiques de la membranes cellulaire et en particulier sur la fluidité et la perméabilité sélective de la membrane (Zhang *et al.*, 1997).

Selon Wang *et al.* (2012), Les composés phénoliques ont été couramment associés à la détoxification d'espèces réactives d'oxygène (ROS). Ils forment un groupe important de métabolites secondaires dans les végétaux, tant par leurs diversités, leurs concentrations et leurs fonctions, dont possiblement un rôle photoprotecteur (Edreva, 2005).

La grande capacité des composés phénoliques à contrecarrer les radicaux libres est directement reliée à leurs caractéristiques structurales. Il est prouvé que cette activité est due au nombre de groupements hydroxyles présents sur les cycles benzoïques et aussi à la proximité des groupes alkyls (Rice-Evans *et al.*, 1996). Les propriétés anti-radicalaires des composées phénoliques et des flavonoïdes sont comparables en raison de la présence de groupe hydroxyles sur le cycle aromatique en mesure de donner des électrons ou des atomes d'hydrogène (Saqib *et al.*, 2015).

Les tanins ont également de grandes capacités antioxydantes dues à leurs noyaux phénols (Peronny, 2005). Ils ont la particularité d'inhiber la peroxydation des lipides, en agissant comme donneur de protons et accepteur de radicaux libres, stoppant ainsi le mécanisme d'auto oxydation (Perret, 2001). Ceci nous permet de suggérer que les composés phénoliques contribuent à la protection des membranes cellulaires contre les dommages lors du stress, en neutralisant les radicaux libres, ce qui assure le maintien du bon fonctionnement cellulaire et conduit inévitablement à de bonnes performances.

En outre, nous avons enregistré une corrélation négative entre la HP et Le Rdt et ses composantes chez les deux genres (*Triticum* et *Hordeum*). Ces résultats signifient que les variétés courtes présentent de meilleurs caractères agronomiques que les variétés hautes. Nos résultats sont en accord avec plusieurs études montrant que les plantes courtes sont plus productives que les plantes à paille haute. Etant donné que les premières ont une capacité de tallage importante, chaque talle va s'allonger et mettra une inflorescence, ce qui augmente le peuplement épi, par conséquent un accroissement du rendement (Benniou *et al.*, 2018). Kirouani *et al.* (2019) ont attribué la raison au fait que les variétés hautes n'ont pas la capacité de fournir l'énergie et les assimilats nécessaires pour la formation des épis et l'élongation des talles au même temps. A l'opposé, il a été observé qu'une plus grande hauteur de la plante a un effet positif sur rendement en conditions pluviales méditerranéennes sèches. Pour cette raison, il est souhaitable que les génotypes conservent leurs hauteurs dans les zones arides pluviales (Royo *et al.*, 2014) par rapport au zones irriguées (Mwadzingeni *et al.*, 2016).

De plus, Mansouri *et al.* (2018) ont signalé que le cycle et la taille de la plante ne doivent pas être trop courts car ces caractéristiques réduisent les rendements sous des conditions à la fois stressantes et optimales. Cela peut être attribué à la faible capacité d'accumuler suffisamment de réserves de tiges pour les distribuer vers les grains. D'autre part, Mazouz et Bouzerzour, (2017) ont déclaré que pour obtenir de meilleurs rendements, il est recommandé de s'orienter vers l'utilisation des variétés à un chaume de taille intermédiaire pour réduire des effets indirects négatifs sur le nombre de grains/m<sup>2</sup>.

Le HP est corrélé positivement à la Pro et les Ss, ces résultats rejoignent ceux rapportés par Boudersa *et al.* (2021) qui ont conclu dans leur étude que les variétés de grande taille se caractérisent par une grande capacité à accumuler de la Pro et des Ss, indiquant qu'elles sont plus résistantes au stress par rapport aux variétés courts.

Chez le blé dur, il ressort que les variétés ayant une taille haute possèdent une TRE élevée, ces résultats correspondent à ceux obtenus par Jatou *et al.*, (2011). En effet, le maintien d'une TRE élevée est une forme de résistance qui résulte probablement d'une osmorégulation active, par un mécanisme de tolérance au stress par ajustement osmotique qui se traduit par une augmentation du potentiel osmotique grâce à une accumulation d'osmolytes dans le cytoplasme tels la Pro et les Ss.

Chaib *et al.*, (2015) ont clarifié le rôle important de ces osmolytes dans l'osmorégulation afin d'assurer le fonctionnement physiologique optimal de la cellule, notamment sous des conditions stressantes. Des corrélations positives ont été observées dans notre études entre la TRE et la Pro ( $r = 0,974$ ) et les Ss ( $r = 0,980$ ). Ces résultats suggèrent que les variétés ayant la teneur relative en eau la plus élevée accumulent plus de sucres solubles et de proline. Ces résultats sont étayés par les conclusions de Sassi *et al.* (2012).

De plus, nous avons remarqué une relation négative entre la tolérance au stress (accumulation des osmolytes) et la productivité dans toutes les variétés étudiées pendant les deux années d'études. Hacini et Brinis, (2012) soulignent que l'osmoprotection est un autre trait pour lequel les chercheurs sont unanimes quant à sa participation dans la tolérance des génotypes.

La diversité des réponses, même si au fond, la protéolyse débouche nécessairement vers une accumulation de solutés tels la proline et les sucres solubles, prouve que les génotypes réagissent différemment selon leur origine génétique. D'autre part, des résultats de plusieurs études (Salmi, 2015) suggèrent que l'accumulation de ces osmolytes semble beaucoup plus destinée à la tolérance au stress, mais elle n'est pas en mesure d'avoir un apport avec

l'expression du rendement dans les zones semi-arides. Hazmoune et Benlaribi, (2004) mentionnent que les mécanismes biologiques fondamentaux de tolérance à la sécheresse tels que la réduction de la surface foliaire, la régulation stomatique, qui contribuent au maintien d'un équilibre hydrique entre la plante et le sol, perturbent autant le bon fonctionnement de la plante et limitent par conséquent sa production. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Fellah *et al.* (2002) qui observent une corrélation négative entre l'adaptation mesurée par la tolérance au stress calorique et le rendement en grains. Les variétés sensibles produisent plus en présence de stress comparativement aux variétés tolérantes.

De même une corrélation négative a été notée entre la Pro et l'ensemble des pigments chlorophylliens chez la plus part des variétés étudiées durant les deux saisons. Ce résultat nous amène à suggérer que les plantes qui accumulent plus la proline sont aussi ceux qui connaissent la plus forte réduction de teneurs en pigments chlorophylliennes. Tahri *et al.* (1997) ont supposé l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. La compétition entre ces deux composés vis-à-vis de leur précurseur commun, le glutamate serait à l'origine de cette corrélation négative. Nos résultats sont également soutenus par Ledily *et al.* (1993) ; Laala *et al.* (2013) ; Hana *et al.* (2014). Des résultats contradictoires sont rapportés par Merabta *et al.* (2018) qui ont parvenu à conclure qu'il n'y avait aucune relation entre l'évolution de la proline et celle de la chlorophylle sous des conditions de stress.

## 4. Evaluation du polymorphisme protéique chez les variétés étudiées

Les résultats obtenus en appliquant la technique SDS-PAGE sur les grains récoltés de trois espèces au cours des deux années d'étude, révèlent l'existence de différences intra et interspécifique en termes de présence ou d'absence de certains bandes de protéines, le nombre de bandes, leurs poids moléculaires, ainsi que leurs densités.

### 4.1. Blé dur

L'examen de l'électrophorégramme de la première campagne indique que le nombre total des bandes observées était de 24. L'intervalle de poids moléculaire de ces bandes varie entre 109,2 et 32 KDa chez les trois variétés, avec un polymorphisme estimé par 75,00%. Ces bandes ont été réparties en six bandes communes (bandes monomorphes) et 18 bandes polymorphes. La variété GTA dur se caractérise par la présence d'un nombre maximal de bandes égal à 15 comparativement aux deux autres variétés, qui marquent un nombre similaire équivalent à 14 bandes. La totalité des variétés présentent des bandes uniques dont cinq bandes chez la variété GTA dur avec des poids moléculaires de : 107,5 ; 94,6 ; 84,9 ; 73,6 et 69,5 KDa, deux chez la variété Bousselem de taille 102,2 et 42,2 KDa et quatre bandes uniques chez la variété Vitron dont leurs poids moléculaires sont respectivement : 109,2 ; 105,5 ; 92,2 et 76,5 KDa. En outre, nous pouvons noter que chacune des deux variétés GTA dur et Vitron ont été distinguées par l'absence de trois bandes protéiques ; les bandes du poids moléculaire 95,5 ; 72,0 et 58,5 KDa chez la variété GTA dur et 90,6 ; 40,0 et 34,3 KDa chez la variété Vitron, pendant que la variété Bousselem se présente également par l'inexistence de la bande de poids moléculaire égal à 60,1 KDa.

Lors de la deuxième campagne, nous avons observé un polymorphisme moins que la campagne précédente égal à 52,94% ainsi qu'un nombre total de bandes de 17. Ces bandes ont été réparties en huit bandes communes (bandes monomorphes) et neuf bandes polymorphes dont cinq sont des bandes uniques ayant des poids moléculaires confinés entre 105,5 KDa (chez la variété Vitron) et 27,1 KDa chez les deux variétés Vitron et GTA dur-respectivement.

La variété GTA dur possède le nombre des bandes le plus élevé 14 bandes dont deux sont des bandes uniques de taille 84,9 et 27,1 KDa. On observe aussi chez la même variété la disparition des bandes dont les poids moléculaires sont : 107,5 ; 94,6 ; 90,6 ; 73,6 ; 60,1 ; 44,2 ; 40 et 34,3 KDa et l'émergence des nouvelles bandes avec de poids moléculaire de 102,2 ; 96,5 ; 88,3 ; 72 ; 58,6 et 27,1 KDa. La variété Vitron se distingue par un nombre de bandes le plus faible équivalent à 11 bandes avec la présence d'une seule bande unique (105,5 KDa). En outre, nous constatons l'absence de bandes ayant les poids moléculaires suivants : 96,5 ; 92,2 ; 76,5 ; 60,1 et 44,2 KDa ainsi que l'apparition de deux nouvelles bandes (88,3 et 47,9 KDa). Alors que chez la variété Bousselem, le nombre total de bandes enregistrées est de 12 bandes. Cette variété se caractérise par l'existence d'une seule bande unique (82,7 KDa), la disparition de cinq bandes (90,6 ; 44,2 ; 40 ; 36 ; 34,3 KDa) et l'émergence de trois nouvelles bandes (88,3 ; 82,7 et 69,5 KDa) (Figure 52 ; tableaux 28 et 29).

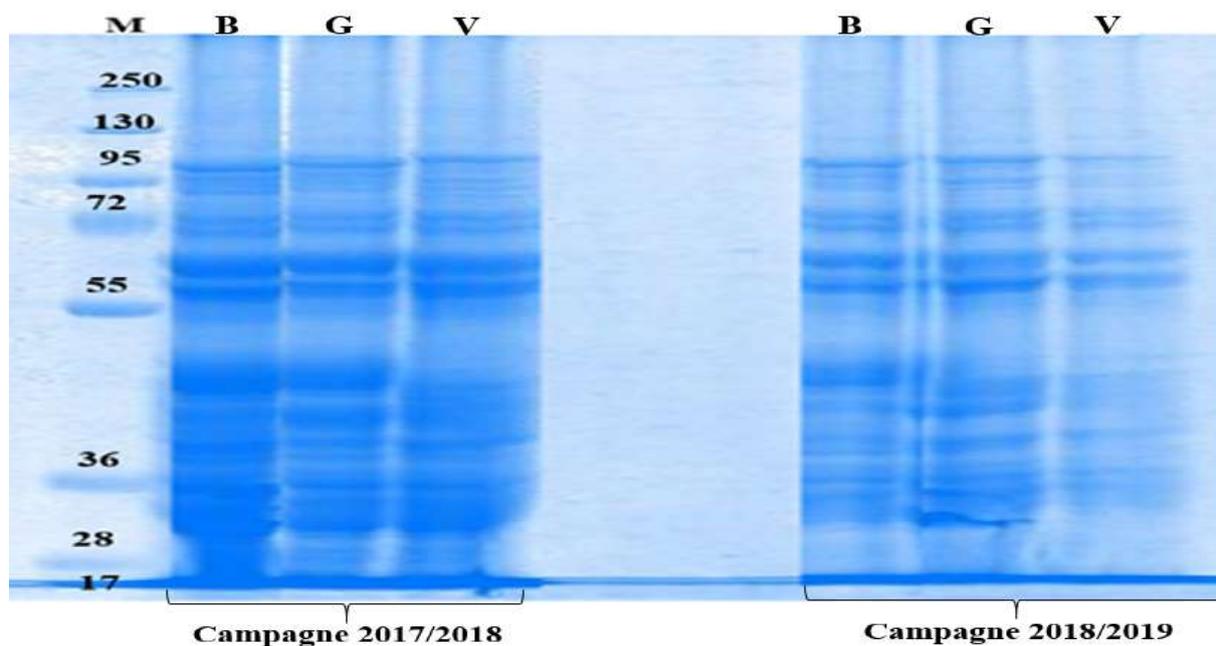


Figure 52. Profil des protéines totales des graines de blé dur en utilisant SDS-PAGE.  
(M) marqueur de taille, (B) Bousselem, (G) GTA dur, (V) Vitron.

Tableau 28. Présentation des bandes protéiques révélées chez les grains des variétés de blé dur. Présence de bande (1), absence de bande (0). Bousselem (B), GTA dur (G), Vitron (V).

PM en KDa	Campagne agricole					
	2017/2018			2018/2019		
	B	G	V	B	G	V
109,2	0	0	1	0	0	0
107,5	0	1	0	0	0	0
105,5	0	0	1	0	0	1
102,2	1	0	0	1	1	0
96,5	1	0	1	1	1	0
94,6	0	1	0	0	0	0
92,2	0	0	1	0	0	0
90,6	1	1	0	0	0	0
88,3	0	0	0	1	1	1
84,9	0	1	0	0	1	0
82,7	0	0	0	1	0	0
76,5	0	0	1	0	0	0
73,6	0	1	0	0	0	0
72,0	1	0	1	1	1	1
69,5	0	1	0	1	1	1
64,6	1	1	1	1	1	1
60,1	0	1	1	0	0	0
58,6	1	0	1	1	1	1
47,9	0	0	0	0	0	1
46,8	1	1	1	1	1	1
44,2	1	1	1	0	0	0
42,2	1	0	0	1	1	0
40,0	1	1	0	0	0	0
38,7	1	1	1	1	1	1
36,0	1	1	1	0	1	1
34,3	1	1	0	0	0	0
32,0	1	1	1	1	1	1
27,1	0	0	0	0	1	0
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>11</b>

Tableau 29. Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés de blé dur.

	Bandes Polymorphes					Polymorphisme%
	PM en KDa	Bandes monomorphes	Bandes polymorphes non uniques	Bandes polymorphes uniques	Bandes Totales	
Campagne 1	109,2- 32	6	7	11	24	<b>75,00</b>
Campagne 2	105,5-27,1	8	4	5	17	<b>52,94</b>

La lecture du dendrogramme A (Figure 53) a fait dégager, d'une part, un clade constitué de deux individus Vitron et Bousselem qui sont distants de l'ordre de 52,63%. Cette valeur exprime la variabilité globale observée entre les bandes électrophorétiques de ces deux variétés. Tandis que, la variété GTA dur se différencie des deux variétés précédentes par une dissimilarité de 68,18% (Tableau 27 ; annexe 03).

D'autre part, l'analyse du dendrogramme B (Figure 53) révèle que les individus Bousselem et GTA dur forment un clade avec une dissimilarité estimée à 21,43%. Alors que la variété Vitron a montré une différence de 43,75% avec ce clade. Ces observations confirment les résultats de l'ACP ou nous avons noté un rapprochement entre la variété Bousselem et Vitron au cours de la première campagne et entre Bousselem et GTA dur en deuxième campagne (Tableau 28 ; annexe 03).

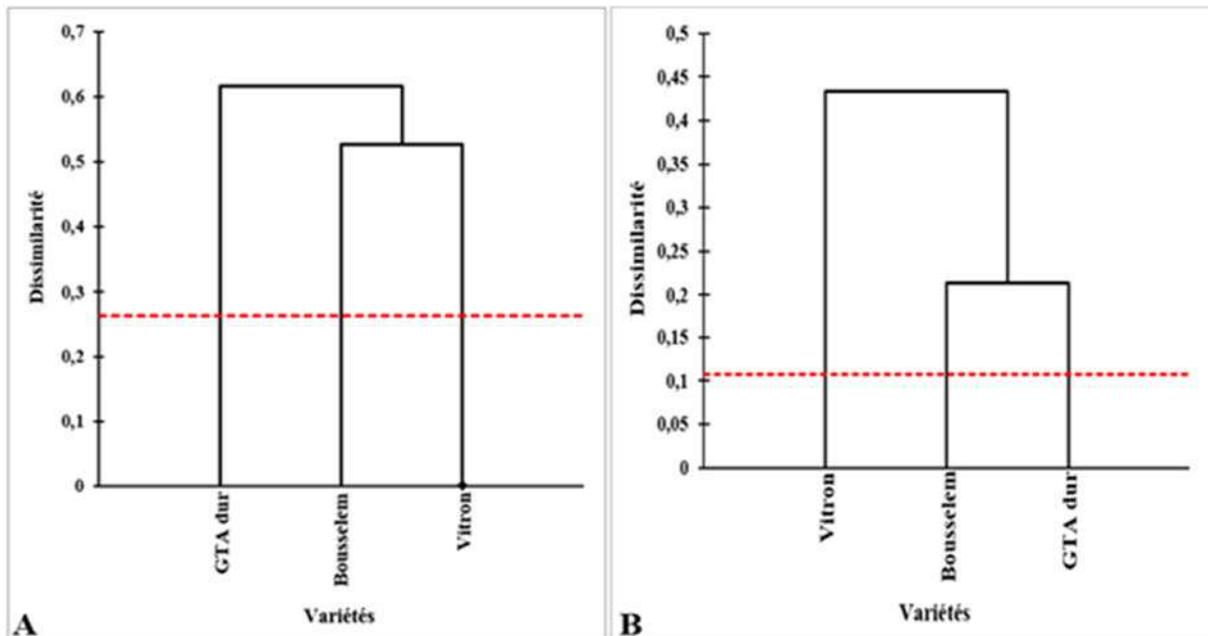


Figure 53. Classification hiérarchique des protéines totales de blé dur.  
(A) Campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.

#### 4.2. Blé tendre

Les résultats présentés dans les deux tableaux 30 et 31 et illustrés par la figure 54 montrent que la taille moléculaire des bandes varie de 123,2 à 11,0 KDa. En première année, le nombre total des bandes qui a été remarqué était de 19 dont trois bandes monomorphes et 16 polymorphes. 11 bandes uniques ont été observées : cinq bandes chez la variété Hidhab (123,2 ; 88,5 ; 82 ; 48,6 et 27,7 KDa), quatre bandes chez la variété ARZ (78,3 ; 76,8 ; 36,7 et 21,7 KDa) et deux bandes chez la variété Ain abid (69,5 et 34,4 KDa). Quant à la valeur de polymorphisme enregistrée, elle était égale à 84,21%. Il est à noter que la variété Hidhab se caractérise par le manque de trois bandes protéiques dont leurs poids sont 93,6 ; 79,8 et 19,6 KDa, alors que nous avons relevé l'absence de bande 64,4 KDa chez la variété Ain abid et la bande 16,5 KDa chez la variété ARZ.

D'autre part, l'électrophorégramme des variétés en deuxième campagne dégage un taux de polymorphisme inférieur à celui de la première campagne estimé à 42,85% et un nombre total de bandes égal à 14, représenté par huit bandes monomorphes, six polymorphes réparties en cinq bandes non uniques et une seule spécifique de taille 72,60 KDa.

La variété Ain abid inclut le plus grand nombre de bandes qui est estimé à 13 dont huit sont des bandes monomorphes, quatre bandes polymorphes et une bande unique (72,6 KDa). Comparativement aux résultats de la première année, cette variété s'est montrée l'émergence de neuf nouvelles bandes ayant des poids moléculaires respectifs de : 123,2 ; 98,6 ; 95,6 ; 88,5 ; 86,3 ; 72,6 ; 40,5 ; 21,9 et 18,6 KDa ainsi que l'absence de cinq bandes de poids moléculaire 93,6 ; 79,8 ; 69,5 ; 34,4 et 19,6 KDa. Alors que la variété ARZ comprend le nombre minimal des bandes 10 bandes partagées en huit bandes monomorphes et deux polymorphes. Les résultats obtenus ont également révélé l'apparition de six nouvelles bandes ayant des poids moléculaires de : 123,2 ; 95,6 ; 88,5 ; 86,3 ; 68 et 40,5 KDa, ainsi que la disparition de sept bandes de poids moléculaires de 93,6, 79,8, 78,3, 76,8, 64,4, 36,7 et 19,6 KDa. En ce qui concerne la variété Hidhab, elle présente un nombre total de bandes égal à 12 dont huit sont monomorphes et quatre sont polymorphes. En outre, elle se caractérise par l'émergence de sept nouvelles bandes de poids moléculaire de 98,6 ; 95,6 ; 86,3 ; 68 ; 40,5 ; 21,9 et 18,6 KDa et l'absence de quatre bandes de poids moléculaire de 64,4 ; 48,6 ; 27,7 et 14,9 KDa.

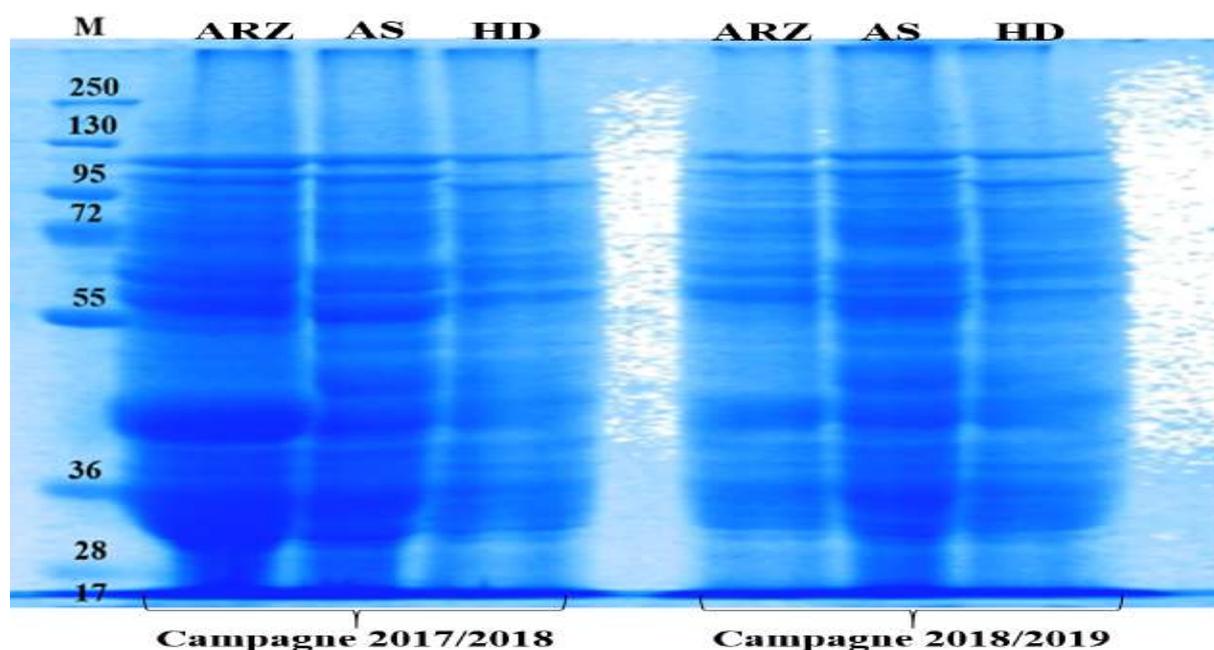


Figure 54. Profil des protéines totales des graines de blé tendre en utilisant SDS-PAGE. (M) marqueur de taille, (ARZ) ARZ, (AS) Ain abid, (HD) Hidhab.

Tableau 30. Présentation des bandes protéiques révélées chez les grains des variétés de blé tendre.

La présence de bande (1), absence de bande (0).

ARZ (ARZ), Ain abid (AS), Hidhab (HD).

PM en KDa	Campagne agricole					
	2017/2018			2018/2019		
	ARZ	AS	HD	ARZ	AS	HD
123,2	0	0	1	1	1	1
98,6	0	0	0	0	1	1
95,6	0	0	0	1	1	1
93,6	1	1	0	0	0	0
88,5	0	0	1	1	1	1
86,3	0	0	0	1	1	1
82,0	0	0	1	0	0	0
79,8	1	1	0	0	0	0
78,3	1	0	0	0	0	0
76,8	1	0	0	0	0	0
72,6	0	0	0	0	1	0
69,5	0	1	0	0	0	0
68,0	0	0	0	1	0	1
64,4	1	0	1	0	0	0
48,6	0	0	1	0	0	0
40,5	0	0	0	1	1	1
36,7	1	0	0	0	0	0
34,4	0	1	0	0	0	0
27,7	0	0	1	0	0	0
21,9	1	0	0	1	1	1
19,6	1	1	0	0	0	0
18,6	0	0	0	0	1	1
16,5	0	1	1	0	1	1
14,9	1	1	1	1	1	0
13,0	1	1	1	1	1	1
11,0	1	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>12</b>

Tableau 31. Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés de blé tendre.

	Bandes Polymorphes					Polymorphisme%
	PM en KDa	Bandes monomorphes	Bandes polymorphes		Bandes Totales	
			non uniques	uniques		
Campagne 1	123,2 - 11	3	5	11	19	<b>84,21</b>
Campagne 2	123,2 - 11	8	5	1	14	<b>42,85</b>

L'analyse du dendrogramme A (Figure 55) montre que les variétés ARZ et Ain abid forment ensemble un groupe, tandis que la variété Hidhab représente un groupe à part. La plus longue distance est celle notée entre la variété Hidhab et la variété ARZ (76,47%). Une distance de 73,33% sépare la variété Hidhab et Ain abid. Quant à la plus faible distance, elle est de 57,14% et elle sépare la variété ARZ et Ain abid (Tableau 29 ; annexe 03).

Il ressort du dendrogramme B (Figure 55) que les variétés Ain abid et Hidhab se sont réunies dans un seul groupe, tandis que la variété ARZ s'isole pour élaborer un groupe distinct. En effet, la plus grande dissimilarité est celle enregistrée entre la variété Ain abid et ARZ (35,71%). Pareillement, nous observons une dissimilarité de 30,77% entre la variété ARZ et Hidhab. La plus faible valeur de dissimilarité de 21,43% existe entre la variété Ain abid et Hidhab (Tableau 30 ; annexe 03).

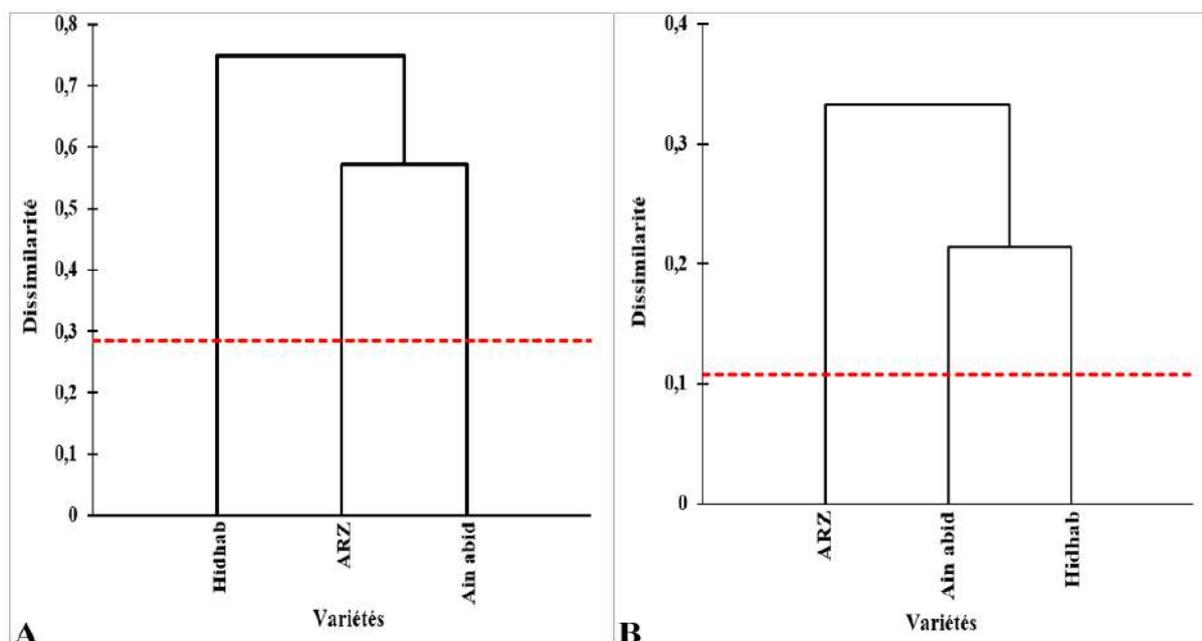


Figure 55. Classification hiérarchique des protéines totales de blé tendre.  
(A) campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.

### 4.3. Orge

L'analyse des résultats enregistrés dans les deux tableaux 32 et 33 et illustrés dans la figure 56 révèlent que les poids moléculaire des bandes de protéines chez l'orge s'étalent entre 104,5 et 11 KDa en première année et entre 103 et 11 KDa en deuxième année. Nous constatons d'un côté que le nombre total de bandes présenté par les variétés étudiées était plus élevé en première année 18 bandes en comparaison avec celui obtenu en deuxième année de 16 bandes. De l'autre côté, le polymorphisme varie d'une année à l'autre où des taux de 83,33 et 68,75% ont été observés respectivement en première et en deuxième campagne.

En détail, l'électrophorégramme de la première année montre que la variété Fouara se caractérise par un nombre maximal de bandes qui est estimé par 11 bandes. Ces dernières sont constituées par trois monomorphes et huit polymorphes, réparties en trois bandes non uniques

et cinq bandes uniques. Tandis que, la variété Saida possède le nombre minimal des bandes (neuf bandes) comprenant trois monomorphes et six polymorphes dont quatre sont non uniques et deux bandes uniques avec la taille de 74,0 et 62,3 KDa respectivement. Le nombre total des bandes constaté chez la variété Barbe rousse a atteint 10 bandes, exprimées en trois bandes monomorphes et sept bandes polymorphes dont cinq bandes sont non uniques, et deux bandes spécifiques de taille 103,0 et 68,0 KDa successivement. Egalement, l'électrophorégramme de la première année révèle l'absence de trois bandes 84,2 ; 51,0 et 30,2 chez la variété Fouara, deux bandes 80,0 et 72,4 chez la variété Saida et une seule bande 80,0 KDa chez la variété Barbe rousse.

En revanche, les résultats obtenus en deuxième année ont décelé que la variété Fouara possède au total 12 bandes, dont cinq étaient monomorphes, trois polymorphes non uniques et quatre bandes marqueurs. Nous avons aussi constaté que cette variété a été marquée par l'apparition de six nouvelles bandes 100 ; 77,6 ; 65,7 ; 62,3 ; 49,4 ; 30,2 et 17 KDa et la disparition de six bandes, qui étaient préalablement présentes en première année 104,5 ; 86,6 ; 80 ; 61 ; 35 et 19 KDa. La variété Saida affiche neuf bandes composées par cinq bandes monomorphes, et quatre polymorphes dont deux sont non uniques et deux bandes sont uniques. Elle se discrimine par l'absence de cinq bandes ayant les poids moléculaires suivants : 104,5 ; 84,2 ; 74 ; 62,3 et 51 KDa, et la présence de cinq nouvelles bandes : 103 ; 80 ; 59,2 ; 55 et 49,4 KDa. La variété Barbe rousse s'est montré un nombre total de bandes égal à dix bandes (cinq polymorphes non uniques et cinq monomorphes). Par ailleurs, elle est caractérisée par l'émergence de six nouvelles bandes : 100 ; 77,6 ; 95,2 ; 55 ; 49,4 et 17 KDa et la disparition de six bandes : 103 ; 84,2 ; 80 ; 72,4 ; 68 et 51 KDa.

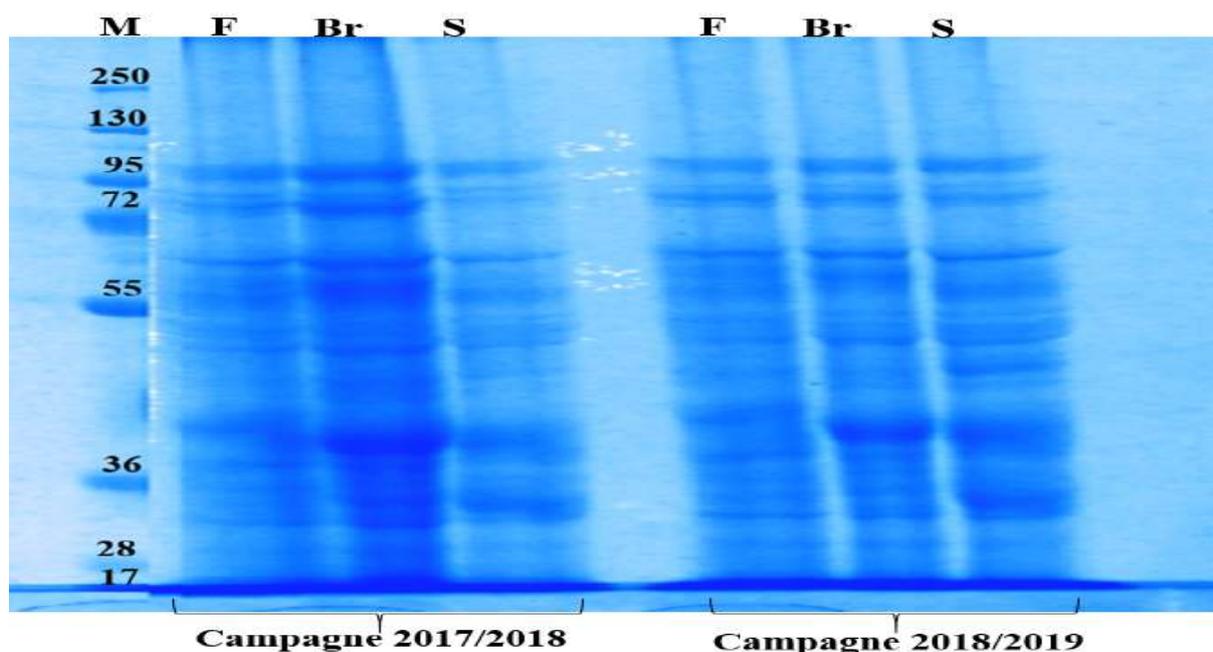


Figure 56. Profil des protéines totales des grains de l'orge en utilisant SDS-PAGE.  
(M) marqueur de taille, (F) Fouara, (Br) Barbe rousse, (S) Saida.

Tableau 32. Présentation des bandes protéiques révélées chez les grains des variétés de l'orge.  
La présence de bande (1), absence de bande (0).  
Fouara (F), Barbe rousse (Br), Saida (S).

PM en KDa	Campagne agricole					
	2017/2018			2018/2019		
	F	Br.	S	F	Br	S
104,5	1	0	1	0	0	0
103	0	1	0	0	0	1
100	0	0	0	1	1	0
86,6	1	0	0	0	0	0
84,2	0	1	1	0	0	0
81,8	1	0	0	1	0	0
80,0	1	1	0	0	0	1
77,6	0	0	0	1	1	0
74,0	0	0	1	0	0	0
72,4	1	1	0	1	0	0
68,0	0	1	0	0	0	0
65,7	0	0	0	1	0	0
62,3	0	0	1	1	0	0
61,0	1	0	0	0	0	0
59,2	0	0	0	0	1	1
55,0	0	0	0	0	1	1
51,0	0	1	1	0	0	0
49,4	0	0	0	1	1	1
35,0	1	0	0	0	0	0
30,2	0	1	1	1	1	1
19,0	1	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	1	1	0
14,2	1	1	1	1	1	1
12,4	1	1	1	1	1	1
11,0	1	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>9</b>

Tableau 33. Nombre et type de bandes protéiques des grains produites par SDS-PAGE et pourcentage du polymorphisme détecté dans les variétés de l'orge.

	PM en KDa	Bandes Polymorphes			Polymorphisme%
		Bandes monomorphes	Bandes polymorphes non uniques	Bandes polymorphes uniques	
Campagne 1	104,5 -11	3	6	9	<b>83,33</b>
Campagne 2	103 -11	5	6	5	<b>68,75</b>

Le dendrogramme A (Figure 57) indique une structuration en deux groupes ; le premier est formé des deux variétés ; Barbe rousse et Saida, et le deuxième par la variété Fouara. En effet, la plus longue distance de 75,00% est affichée entre la variété Fouara et Saida, une distance de 68,75% est notée entre la variété Fouara et Barbe rousse, enfin, la plus faible distance 53,85% est constatée entre la variété Saida et la variété Barbe rousse (Tableau 31 ; annexe 03).

Pour le dendrogramme B (Figure 57), la plus longue distance est celle qui sépare la variété Fouara de la variété Saida de 68,75%. A l'instar de la première année, nous remarquons que les deux variétés Saida et Barbe rousse sont les plus proches avec un taux de dissimilarité estimé à 41,67%. La structuration en groupe demeure invariable comparée à celle de la première année (Tableau 32 ; annexe 03).

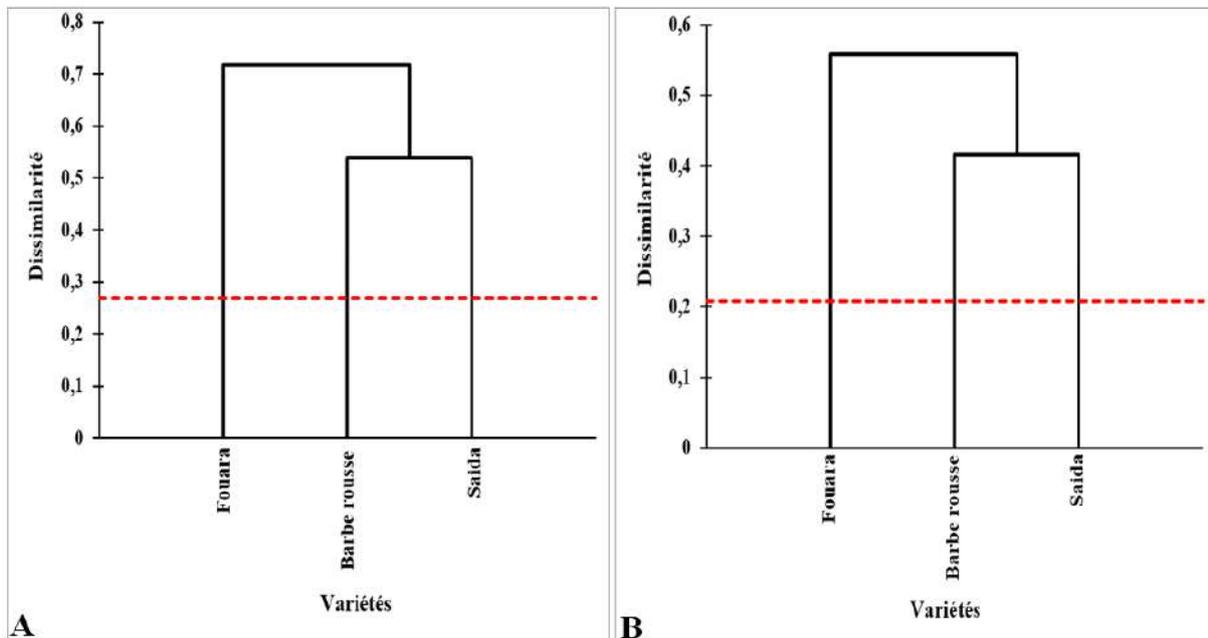


Figure 57. Classification hiérarchique des protéines totales de l'orge. (A) campagne 2017/2018 ; (B) Campagne 2018/2019.

Grâce à leur abondance et à leur importance alimentaire dans le monde entier, les protéines des grains ont fait l'objet de plusieurs études depuis la première publication de Beccari (1745).

Notre essai a été mené pour révéler le polymorphisme protéique des variétés étudiées qui facilitera à l'avenir l'amélioration des cultures. La technique électrophorétique du SDS-PAGE est largement utilisée pour la séparation et la caractérisation des protéines des grains (Shuaib *et al.*, 2010). D'après Ghafoor et Ahmad, (2005) et Kakaei et Kahrizi, (2011), ces protéines constituent un marqueur indispensable pour étudier la diversité génétique au sein des accessions, la classification des cultivars, les relations entre les génomes d'amélioration des cultures et les programmes de domestication et de sélection.

De manière générale, les profils des protéines et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des protéines des grains obtenus chez les différentes variétés ont permis de discerner une différence dans le nombre de bandes protéiques, leurs poids moléculaires et leurs densités, ainsi que dans la structuration des groupes et le positionnement des variétés dans les deux campagnes agricoles.

D'après ces résultats, nous pouvons considérer le facteur variété pour nos interprétations. En effet, nous avons observé que toutes les variétés ne présentaient pas les mêmes profils électrophorétiques en fonction des conditions environnementales. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Purccino *et al.* (1998) ; Legouis *et al.* (2000) ; Masclaux, (2001) et Laperche *et al.* (2007) qui ont montré que la quantité d'azote absorbée par les racines et la remobilisation des composés azotés à partir des feuilles durant la phase du remplissage des grains, sont influencées par le génotype des plantes. Dans le même sens, Gerba *et al.*(2013) ont rapporté que la qualité des grains dépend de la formation de protéines, qui sont affectées par le génotype et les différentes conditions environnementales. Selon Ladizinsky et Hymowitz, (1979), la présence d'une variation dans le nombre, la position et l'intensité des bandes suggère que celles-ci sont sous le contrôle d'un système de gènes quantitatifs. Fyad-Lamèche *et al.* (1996) ont affirmé dans leurs travaux sur des espèces annuelles du genre *Medicago* que la variation des bandes (absence ou présence) peut être due à l'expression d'un seul locus où chaque bande est contrôlée par un allèle et qu'elle correspond à un monomère. Une autre suggestion proposée par Shepherd (1968) et Kalinova (2006) indique que chaque bande est gouvernée par plusieurs gènes localisés sur différents chromosomes.

D'autre part, l'analyse des résultats a révélé l'incidence du milieu de culture (environnement) sur les variations quantitatives des bandes protéiques. La première campagne a été caractérisée

par des conditions climatiques favorables à la culture, car elle a enregistré une quantité de pluie importante (498,5 mm), bien répartie sur tous les stades de croissance des plantes accompagnée par des températures modérées, contrairement à la deuxième saison où les conditions ont quasiment inhibé la croissance des plantes (manque de pluie et températures élevées en fin de cycle de développement). Donc, Il est possible d'attribuer les raisons des fortes proportions de protéines dans les grains de la première campagne (nombre de bandes, densité, position) à l'interférence des conditions environnementales dans la formation de ces protéines.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par Khelifi *et al.* (2004) qui ont déduit que le milieu de culture pouvait influencer la quantité de protéines contenues dans le grain de blé. Abdel-Hady *et al.* (2001) ; Abdel-Hady et El-Naggar, (2007) et Farshadfar *et al.* (2008) ont montré que le manque d'eau induit une diminution des protéines solubles par rapport aux témoins, et des protéines insolubles au niveau du grain mature du blé (Singh *et al.*, 2008 ; Bousba *et al.*, 2010). D'autres travaux menés sur le blé ont montré que les protéines totales subissent de nombreux changements de composition liés aux conditions environnementales pendant le remplissage du grain. Plusieurs recherches ont montré que ces modifications sont liées à l'élévation de température (Majoul, 2004). Les travaux de Smith (1990) ont également montré que la teneur en protéines des grains de l'orge est facilement affectée par les conditions environnementales, comme la disponibilité de l'azote et de l'eau, la température et l'intensité lumineuse.

L'apparition de certaines bandes protéiques dans les profils électrophorétiques des variétés en deuxième campagne suggère que ces bandes peuvent être impliquées dans le contrôle de la tolérance et l'adaptation au stress chez les céréales étudiées la bande du poids moléculaire 88,3 KDa chez le blé dur, la bande de 49,4 KDa chez l'orge et les bandes de 95,6 ; 86,3 ; 40,5 KDa chez le blé tendre. En plus, la présence des bandes uniques augmente les chances de distinguer les différentes variétés et d'obtenir une empreinte distinctive pour chaque variété (Sood *et al.*, 2007).

Finalement, cette analyse a mis en évidence l'existence d'une variabilité génotypique pour les protéines totales des grains. Ces dernières peuvent donc constituer des critères potentiels d'amélioration et ouvrent de nouvelles perspectives pour le sélectionneur.

A decorative horizontal scroll graphic with a grey fill and a black outline. The scroll is unrolled in the middle, with the ends curling upwards. The text "Conclusion et perspectives" is written in a bold, black, serif font across the unrolled portion.

# **Conclusion et perspectives**

Dans tout schéma d'amélioration, le sélectionneur ne peut agir qu'en présence d'une certaine diversité génétique des caractères. En effet, afin d'évaluer cette diversité, il faut d'abord connaître les caractéristiques génétiques du matériel végétal étudié qui sont matérialisées, d'une part, par les caractères phénotypiques apparaissant dans la morpho-physiologie et la phénologie et d'autre part par les caractères de production représentée par le rendement et ses composantes. La bonne connaissance de cette diversité constitue un préalable à l'amélioration variétale par des manipulations génétiques adéquates.

A travers cette étude, nous avons tenté d'évaluer et de caractériser la diversité biologique et agronomique de deux genres céréaliers à partir de l'étude d'un ensemble de caractéristiques associées à la productivité et à l'adaptation, ainsi que le comportement global des plantes vis-à-vis de la variation environnementale dans le but d'extraire les plus utiles et qui peuvent être utilisées par les améliorateurs dans un programme de sélection.

Lors de la première expérimentation, nous avons visé comme objectif d'évaluer le comportement de trois espèces de céréales (blé dur, blé tendre et orge) au cours des deux années d'essai vis-à-vis les conditions environnementales, en abordant certains traits phéno-morphologiques, physiologiques et biochimiques ; vue leurs importances en tant que critères de sélection et leurs utilisations dans la caractérisation des variétés adaptées et performantes.

La présente étude révèle la présence d'une variabilité notable pour plusieurs caractéristiques évaluées qui peuvent être mises à profit dans un programme d'amélioration génétique. Notre étude a montré que les différentes variétés ont utilisé pratiquement les mêmes stratégies de réponses aux conditions climatiques défavorables qui ont prévalu lors de la deuxième campagne, mais avec des degrés différents.

✚ L'examen de la phénologie et notamment la date d'épiaison révèle l'existence d'une variation intra-spécifique et inter-spécifique au sein des variétés testées, il a été constaté que le genre *Hordeum* se caractérise par une épiaison précoce par rapport au genre *Triticum*, ceci est en plein accord avec ce que pratiquent les agriculteurs algériens, qui cultivent de l'orge dans des zones soumises à une sécheresse précoce. En revanche, il dégage une variabilité intra-spécifique chez les trois espèces étudiées, qui classe les variétés comme suite : pour le blé dur, les deux variétés Vitron et GTA dur se caractérisent par une durée d'épiaison courte par rapport à la variété Bousselem que l'on peut qualifier comme une variété tardive en raison de son épiaison assez longue. Pour le blé tendre, les variétés ARZ et Hidhab montrent la durée d'épiaison la plus précoce contrairement à la variété Ain abid qui est la plus tardive, alors que

chez l'orge les deux variétés Fouara et Saida peuvent être décrites comme des variétés précoces par rapport à la variété Barbe rousse.

✚ Les résultats obtenus nous permettent de conclure que les variétés étudiées développent un mécanisme adaptatif en réduisant leur période d'épiaison en présence des conditions de croissance défavorables. Ce mécanisme est avantageux pour éviter les contraintes de fin de cycle de la culture notamment dans les zones à climat fluctuant.

✚ L'enregistrement d'une corrélation positive entre la date d'épiaison et le rendement en grain dans la plus part des cas, nous a mène à conclure que les variétés des céréales précoces sont plus productives. Donc, les sélectionneurs peuvent profiter de cette caractéristique afin d'augmenter la productivité dans les zones semi-arides.

L'évaluation des paramètres morpho-physiologiques chez les trois espèces, soumises aux mêmes conditions a permis de révéler une variabilité importante et des différences significatives existent entre les variétés étudiées pour les variables mesurées.

✚ A partir de l'ensemble des résultats que nous avons obtenus, il ressort que les changements climatiques provoquent des modifications au niveau morphologique (Diminution des paramètres liés à la croissance tels la hauteur de la plante, la surface foliaire, la longueur de l'épi...). et physiologique (Diminution de la turgescence des feuilles (estimée par la TRE), chute de la photosynthèse suite à la réduction des pigments chlorophylliennes) qui sont soit un signe de sensibilité ou un signe d'adaptation. Ces paramètres peuvent être utilisés comme des critères de sélection et d'amélioration d'adaptation chez les céréales dans les régions semi-arides.

✚ Globalement, dans notre étude, ce sont les variétés GTA dur et Bousselem de blé dur, ARZ de blé tendre et Fouara de l'orge qui ont montré un comportement intéressant pour la plupart des caractères morpho-physiologiques étudiés. Ces variétés peuvent donc être exploitées dans le processus de sélection et peuvent ainsi être suggérés comme des géniteurs dans les croisements en vue de l'obtention de nouvelles variétés plus performantes et moins impactées par les changements climatiques.

Au niveau biochimique, La capacité d'accumuler des osmolytes (Proline et sucres solubles) chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress. En condition de la

bonne campagne (2017/2018), nous constatons que les teneurs en proline en en sucres solubles restent faibles et relativement proches d'une variété à une autre chez les trois espèces.

✚ L'augmentation de ces teneurs sous les conditions de la deuxième campagne (2018/2019) laisse supposer que ces composés ont le rôle d'ajuster le statut hydrique (par augmentation de la pression osmotique) des cellules et de les protéger, afin d'assurer ses fonctions physiologiques. En effet, l'accumulation de ces osmolytes n'est qu'un phénomène d'adaptation au stress environnementaux.

✚ Dans de nombreuses études, l'accumulation des osmolytes est considérée comme un indicateur de tolérance au stress. D'après nos résultats, il ressort que le genre *Hordeum* est plus tolérant que le genre *Triticum* en raison des quantités importantes d'osmolytes accumulées par le premier par rapport au second d'une part. D'autre part, nous considérons que la variété Vitron de blé dur, Ain abid de blé tendre et Barbe rousse de l'orge sont les plus tolérantes au stress par rapport aux autres variétés.

✚ De plus, nos résultats montrent que les conditions climatiques stressantes engendrent des espèces réactives d'oxygène, cela se traduit par une peroxydation lipidique indiquant l'instabilité de la membrane cellulaire déterminée à travers le dosage du malondialdéhyde (MDA). La teneur élevée en MDA dans les feuilles indique des dommages importants aux membranes cellulaires et nous renseigne dans une certaine mesure sur la sensibilité des variétés étudiées et quelle sont les plus affectées par les conditions du milieu.

✚ En réponse au stress, les plantes ont recours à l'activation d'un système d'oxydation non enzymatique, les résultats obtenus ont montré une augmentation de l'accumulation de métabolites secondaires (polyphénols, flavonoïdes et tanins) chez toutes les variétés testées, en réaction de ces variétés afin de lutter contre les espèces réactives d'oxygène en empêchant leur apparition ou de les détruire une fois apparues dans le but d'éviter ou limiter leurs effets néfastes. Dans ce travail, le rôle antiradicalaire de nos métabolites issu des extraits céréaliers est démontré contre le DPPH qui est un radical stable représentant les radicaux libres existant dans les cellules.

✚ Tout cela nous amène à dire que les plantes développent des mécanismes adaptatifs (phéno-morphologiques, physiologiques et biochimiques) pour surmonter les différents effets néfastes du stress et qui leur permettent de tolérer leur environnement stressant. Ces

mécanismes peuvent être utilisés comme des critères de sélection et d'amélioration de l'adaptation chez les céréales dans les régions semi-arides.

En terms de productivité, les résultats de deux campagnes (2017/2018 et 2018/2019) indiquent des différences de performance entre variétés, qui varient selon les campagnes tout en notent que les meilleures variétés présentent un rendement qui varie significativement d'une année à l'autre.

✚ En effet, la campagne agricole (2017/2018) est caractérisée par un rendement grain favorable pour l'ensemble des espèces testées. Alors que la seconde campagne (2018/2019) a été défavorable pour la variable rendement grain. De plus, les variétés évaluées présentent des valeurs différentes pour les caractères qui sont liés au rendement, tels que le nombre de grains par mètre carré (Nb G/m<sup>2</sup>), le poids de 1000 grains (PMG), le nombre d'épis par mètre carré (Nb E/m<sup>2</sup>), les tallages épi et herbacé, mettant ainsi en relief, l'effet année et l'interaction (variété x campagne) comme principaux facteurs responsables de la variation.

✚ En général, les variétés GTA dur du blé dur ARZ du blé tendre et Fouara de l'orge se sont avérées comme les meilleures de point de vue rendement en grains quel soit les conditions environnementales, cette performance est attribuée à l'effet d'interaction entre ses différentes composantes. Tandis que les variétés Bousselem du blé dur, Hidhab du blé tendre et Saida de l'orge possèdent des potentialités à minimiser la variation du rendement grain, ainsi elles peuvent être recommandées à plusieurs zones agro-climatiques pour la production des céréales.

✚ L'analyse en composantes principales (ACP) montre que le rendement en grains est lié à des valeurs élevées pour le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis par mètre carré, la surface foliaire, la teneur des feuilles en pigment chlorophylliens. Alors que l'adaptation et la tolérance aux stress sont liés à la précocité, la hauteur de plante, la teneur relative en eau, le contenu des feuilles en osmolytes et en métabolites secondaires et le niveau de dommage cellulaire. Donc, la sélection sur la base de l'une de cette caractéristique ne conduit pas à l'identification de variétés qui se caractérisent par des valeurs désirables pour les autres caractéristiques. Cette sélection apparait difficile à réaliser dans des milieux similaires à celui dans lequel la présente étude a été conduite. Dans ce cas une sélection multi-caractères devient nécessaire, d'où l'utilité de conduire l'étude à des liaisons entre les variables mesurées et le rendement surtout qui est une source de sélection.

Dans le deuxième volet de cette étude, nous avons procédé à l'analyse du polymorphisme protéique au sein des trois espèces en appliquant la technique électrophorétique du SDS-PAGE, les résultats obtenus révèlent un polymorphisme important entre toutes les variétés étudiées, les profils protéiques obtenus ont permis de détecter une différence dans le nombre de bandes protéiques, leurs poids moléculaires, ainsi que leurs densités d'une variété à une autre. Ce qui signifie que les protéines des grains sont affectées par le facteur variété et leur formation est sous le gouvernement d'un système de gènes quantitatifs.

✚ D'autre part, la comparaison des résultats obtenus au cours des deux années d'études montrent que les conditions environnementales interfèrent dans la formation des protéines des grains ce qui est confirmé par les résultats de la classification hiérarchique ascendante (CHA) des protéines totales de différentes variétés qui a dévoilé une différence dans la structuration des groupes et le positionnement des variétés d'une campagne agricole à l'autre.

✚ L'apparition de certaines bandes protéiques dans les profils électrophorétiques des variétés sous les conditions contraignantes suggère que ces bandes peuvent être impliquées dans le contrôle de la tolérance et l'adaptation au stress chez les céréales étudiées. Dans notre étude, nous avons constaté que les variétés GTA dur du blé dur, Ain abid du blé tendre et Barbe rousse de l'orge sont caractérisées par l'apparition du plus grand nombre de bandes protéiques au cours de la deuxième campagne. Une constatation intéressante est l'émergence de nouvelles bandes communes chez les trois espèces, des bandes qui peuvent être valorisées et exploitées afin de déterminer les gènes responsables de leur synthèse, utilisables dans des programmes d'amélioration de la tolérance et l'adaptation des céréales.

En guise de conclusion, il est à signaler que le but principal en amélioration des céréales destinées aux zones arides et semi-arides est l'augmentation du rendement en grain. Pour atteindre ce but, il devient plus que nécessaire de caractériser le milieu de production d'une façon complète et précise pour identifier les stress, les plus fréquents auxquels la culture est sujette, pour leur trouver une stratégie d'évitement ou une source génétique de tolérance. De plus, il est nécessaire d'appliquer une meilleure gestion des itinéraires techniques en place et d'avoir des connaissances plus approfondies sur la diversité des plantes et sur leur comportement sous conditions limitantes afin de créer des variétés plus productives, mieux adaptées, et plus régulières.

Les perspectives et les recommandations les plus importantes auxquelles nous nous référons à travers cette étude sont :

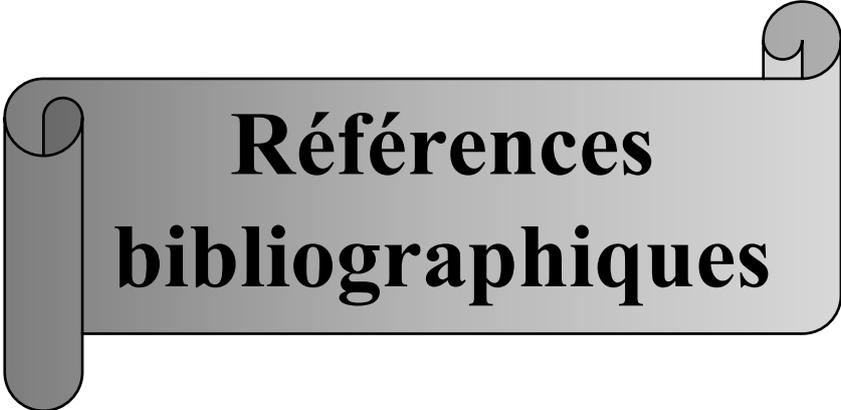
- Elargissement de la collection du blé et de l'orge pour mieux comprendre les critères de sélection (phéno-morphologiques, physiologiques, biochimiques et agronomiques) vis à vis du stress éventuelle. IL est également nécessaire de conduire des essais comportementaux multi sites et pluriannuels pour déterminer et caractériser les génotypes performants avec une bonne approximation pour le milieu ciblé.

- Le choix des variétés les plus adaptées et les plus productives tels que les variétés GTA dur et Bousselem de blé dur, ARZ et Hidhab de blé tendre et Fouara et Saida de l'orge.

- La nécessité de mener une étude génétique (croisement intra-spécifique entre les variétés précitées afin de développer de nouvelles variétés plus performantes dans les conditions climatiques actuelles). Il serait également souhaitable d'incorporer les outils de la biotechnologie et du génie génétique dans les stratégies conventionnelles d'amélioration des céréales car ces techniques réduiraient grandement les effets de l'interaction (génotypes X environnement) et offrent l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce.

- D'autres travaux seraient nécessaires afin de mieux caractériser les protéines des graines. De nombreuses techniques existent et peuvent être exploitées dans ce but, à titre d'exemples la technique de spectrométrie de masse et l'électrophorèse bidimensionnel des protéines. Une nouvelle technique nommée « la FPLC (Fast Protein Liquid Chromatography), est très efficace pour l'étude de la composition en protéines chez les céréales.

- La valorisation de la capacité des deux variétés GTA dur et Bousselem du blé dur dans l'amélioration des variétés plus performantes adaptées et productives pour apporter une contribution dans les programmes d'amélioration de la productivité et de l'adaptation de ces céréales dans le programme ministériel. **Recherche et Développement de la filière Blé dur.**



**Références  
bibliographiques**

## -A-

- Abbassenne F., (1997). Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister, INRA Alger. p 81.
- Abbaspour H., Saeidisar S., Afshari H., (2011). Improving drought tolerance of *Pistacia vera* L. seedlings by arbuscular mycorrhiza under greenhouse conditions. Journal of Medicinal Plants Research. 5(32): 7065-7072.
- Abdel-Hady M.S., El-Sayed O.E., Solaiman E.A.M., Esmail R.M., Hassan A.H.M., (2001). Genetic detection of protein markers in some drought tolerant wheat cultivars regeneration from somatic embryogenesis. Journal of Agricultural Science, Mansoura University. 26: 5981-5997.
- Abdel-Hady M.S., El-Naggar H M.H., (2007). Wheat Genotypic Variation and Protein Markers in Relation with *in Vitro* Selection for Drought Tolerance. Journal of Applied Sciences Research. 3(10): 926-934.
- Abebe T., Guenzi A. C., Martin B., Cushman J. C., (2003). Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. Plant physiology. 131(4): 1748-1755.
- Abdipur M., Reza Ramezani H., Bavei V., Talae S., (2013). Effectiveness of Canopy Temperature and Chlorophyll Content Measurements at Different Plant Growth Stages for Screening of Drought Tolerant Wheat Genotypes. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 13: 1325-1338.
- Adjel F., Kadi Z., Bouzerzour H., Benmahammed A., (2013). Salt stress effects on seed germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotypes. Journal of agriculture and Sustainability. 3 (2): 223-237.
- Alem CH., Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasralhaq N., Filali Maltouf A., (2002). Adaptation hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. Comptes Rendus Biologies. 325: 1097-1109.
- Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y., EL Aouni M. H., (2000). Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. Annales de l'INRGREF. 4: 138- 61.
- Allam A., Tirichine A., Madani H., Benlamoudi W., 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.
- Ali Dib T., Monneveux Ph., Araus J.L., (1992). Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie. 12: 381-393.
- Ames B.N., Shigenaga T.M., Hagen T.M., (1993). Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 90: 7915-7922.
- Annicchiarico P., Pecetti L., (1993). Contribution of some agronomic traits to durum wheat performance in a dry Mediterranean region of Northern Syria. Agronomie. 13(1): 25-34.

- Annicchiarico P., (2002). Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Production Paper N°. 174. Food and Agriculture Organization Rome.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T., (2005). Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Science*. 45: 1741-1749.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T., (2006). Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *European Journal of Agronomy*. 24: 7081.
- Aoun M., (2009). Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne [*Brassica juncea* (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat. L'université de Bretagne occidentale.
- Auriau P., Doussinault G., Jahier J., Lecomte C., Pierre J., (1992). Le blé tendre. Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA. 2-7380-0383-4. (hal-02850114).
- Autran J.C., Berrier R., Jourdiar P., Kobrehel K., (1981). Emplois de l'électrophorèse dans la filière" céréales" possibilités et limites actuelles. *Industrie des céréales*. 8: 3-19.

**-B-**

- Bachiri H., (2020). Comportement de quelques génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous différents niveaux de régime hydrique et dans deux zones Agro-climatiques contrastées en Algérie (Subhumide et semi-aride) (Doctoral dissertation). p 84.
- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Assous K. L., (2006). Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilés de la tige du blé dur (*Triticum durum* L.). *Annales de l'institut national agronomique- El- Harrach*. 27: N° 1et 2.
- Bagga A.K., Ruwali K.N., Asana R.D., (1970). Comparison of responses of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 40 : 421-427.
- Bagues M., Zaghdoud C., Nagaz K., (2020). Composés phénoliques, activités antioxydantes et rendement en grains de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)" Ardhaoui" sous irrigation déficitaire à l'eau salée dans le Sud Tunisien. *Revue des Régions Arides*. 46: 211-220.
- Bajji M., Lutts S., Kinet J.M., (2000). La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. *Options Méditerranéennes series A*. 40: 227-231.
- Baldy C., Ruelle P., Fernandes A., (1993). Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse*. 4: 85-93.
- Baribeau H., Lemieux S., (2005). Quelques mots sur le blé. Blé-passeportsanté\_net. htm.
- Barrs HD., (1968). Determination of water deficits in plant tissues. *Water Deficit and Plant Growth*. 235-368.
- Battinger R., (2002). La photosynthèse, Educagri éditions. Dijon.

- Bayoumi T. Y., Manal H., Metwali E. M., (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*. 14: 2341-2352.
- Beaugrand J., (2004). Bases cytologiques et moléculaires de la dégradation enzymatique du son de blé tendre. Thèse de Doctorat. Université de reims Champagne – Ardenne. Coll. INRA.
- Beccari J.B., (1745). De frumento. De bononiensi scientarium et artium. Instituto atque Acadernia Commentarii, Bologna. 2: 122-1 27.
- Bedard A., Galibois I., (2005). L'orge : profil de santé .Org.Passeport-santé.net.html.
- Belahcene N., Bensid A., Benbelkacem H., Bouzerzour H., (2006). Contribution des nouvelles obtentions de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) à l'amélioration du rendement dans le Constantinois. *Céréaliculture*. 50: 13-19.
- Belaid D., (1986). Aspect de la céréaliculture algérienne. Edition- O.P.U. p 217.
- Belaid D., (1996). Aspects de la céréaliculture Algérienne. Edition office des publications universitaires, Ben Aknoun .Alger. p 206.
- Belkharchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A., Chellal N., (2009). Vigueur de croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*. 09: 17-24.
- Belkharchouche H., Benbelkacem A., Bouzerzour H., Benmahammed A., (2015). Flag leaf and awns ablation and spike shading effects on spike yield and kernel weight of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) under rainfed conditions. *Advances in Environmental Biology*. 9: 184-191.
- Belkharchouche H., (2016). Analyse de la contribution des hydrates de carbone de la tige au remplissage du grain du blé dur (*Triticum turgidum* l. var. *durum*) sous conditions semi-arides (Doctoral dissertation).
- Bellinger Y., Bensaouda A., Larher F., (1989). Physiology breeding of winter cereals for stress environments. Colloque, N°3. France: Montpellier.
- Bendjama A., Bouzerzour H., Benbelkacem A., (2014). Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var *durum*) to contrasted locations. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 8(6): 390-396.
- Benhamdi A., (2014). Etudes des enzymes de stress oxydatif chez *Hedysarum pallidum* Desf. et *Lygeum spartum* L. en réponse à la pollution du sol par l'antimoine. p 23.
- Benkaddour M., Slimani S., Nedjeh I., Bourouhou M., Djahra A. B., Ladjama A., Boudelaa M., (2013). Effet du NaCl sur Les Paramètres Physiologiques et Les Enzymes Antioxydantes de blé Dur (*Triticum durum* Desf.) Durant la Croissance. *Editors-in-Chief*. 108(2): 240-252.
- Benlaribi M., (1984). Facteurs de productivité chez six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Cultivées en Algérie. Thèse de Magister, I.S.B.- Université de Constantine. p 111.
- Benlaribi M., Monneveux P., (1988). Etude comparée du comportement, en situation de déficit hydrique de deux variétés Algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *Comptes-rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France*. 74 (5): 73-83.

- Benlaribi M.**, (1990). Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'Etat, I.S.N.- Université de Constantine. p 164.
- Benmahammed A.**, Bouzerzour H., Mekhlouf A., Benbelkacem A., (2008). Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) conduites sous contraintes hydrique. Recherche Agronomique, INRA. 21: 37-47.
- Bennaceur M.**, Chorfi M., Rahmoune C., El Jaafri S., Opaul R., (1997). Potentialités de production de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au Magreb. Revue Sciences et Technologie. Université Constantine. 08: 69-74.
- Bennaceur M.**, Rahmoun C., Sdiri H., Medahi M., Selmi M., (2001). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. Sécheresse, 12 (3): 167-174.
- Benniou R.**, Badache F., Regoub A., Bendada H., (2018). Comparative study of the comportment and adaptation of different genotypes durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in a semi-arid area in eastern Algeria. Revue Agriculture. 9: 16-31.
- Benrejeb K.**, Abdelly C., Savouré A., (2012). La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. Biologie Aujourd'hui. 206 (4): 291-299.
- Ben Salem M.**, Boussen H., Salma A., (1997). Evaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : Recherche des paramètres précoces de sélection. 6ème journées scientifiques du réseau Biotechno-génie génétique des plantes. Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF). Orsay.
- Bensari M.**, Camés J., Viala G., (1990). Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja. Influence d'un déficit hydrique. Plant Physiology and Biochemistry. 28: 17-26.
- Berka S.**, Aïd F., (2009). Réponses physiologiques des plants d'Arganier *spinosa* L. Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse. 20 (3): 296-302.
- Berthet J.**, (2006). Dictionnaire de biologie. De Boeck et Larcier s.a. 1ère édition. Edition de Boeck Université : 15-16.
- Bharti K.**, Pandey N., Shankhdhar D., Srivastava P. C., Shankhdhar S. C., (2014). Effect of different zinc levels on activity of superoxide dismutases & acid phosphatases and organic acid exudation on wheat genotypes. Physiology and Molecular Biology of Plants. 20(1): 41-48.
- Blum A.**, (1985). Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. Journal of Experimental Botany. 36: 432-440.
- Blum A.**, (1988). Plant Breeding for Stress Environment. CRC. Press (éds), Boca Raton, Florida, USA. p 123.
- Boisgontier D.**, (1985). Maîtrise de la densité de semis des céréales. Cultivar. 185: 85-88.
- Boizot N.**, Charpentier J.P., (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Méthodes et outils pour d'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques. INRA. 79-82.

- Bonjean A., (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA. 21: 29-37.
- Bolskakova I.V., (1989). Antioxydants properties of number of plants extracts. Biofisika 43 (2): 186-188.
- Bouassaba K., Chougui S., (2018). Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annuum* L.) À Mila/Algérie. European Scientific Journal. 14(15): 159-174.
- Bouatrous Y., (2013). Water stress correlated with senescence in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Advances in Environmental Biology. 7(7): 1306-1314.
- Bouchemal K., Bouldjadj R., Belbekri M.N., Ykhlef N., Djekoun A., (2017). Differences in antioxidant enzyme activities and oxidative markers in ten wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes in response to drought, heat and paraquat stress. Archives of Agronomy and Soil Science. 63: 710-722.
- Bouchemal K., Bouldjadj R., Belbekri M., Ykhlef N., Djekoun A., (2018). Pigments photosynthétiques, enzymes antioxydantes et potentiel osmotique foliaire de dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : effet du stress hydrique. Phytoprotection 98(1):13-24.
- Boudersa N., Chaib G., Atoui A., Cherfia R., Bouderbane H., Boudour L., (2021). Assessment of biological and agronomic diversity of seven durum wheat varieties cultivated in the Northeastern region of Algeria. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 22 (2): 1025-1036.
- Boufenar Z.F., Zaghouane O., (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC, El-Harrach, Alger, 1<sup>ère</sup> Edition. p 152.
- Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M., Rezgui S., (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Edition. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie. 176.
- Bourahima B., Comoé Koffi D., Ouattara A., Doukourou D. N., Kamou R. K., Ouattara K., (2021). Teneurs en phenols totaux, activités antioxydantes des macérés et décocté des feuilles de *Uvaria chamae* P. Beauv. (Annonaceae). International Journal of Biological and Chemical Sciences. 15(1): 54-67.
- Bourras L., (2001). Effet du stress hydrique sur les composantes du rendement de quelques génotypes de blé dur. Thèse de Magistère. INRA El Harrach.
- Bousba R., Ykhlef N., Djekoun A., (2009). Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). World Journal of Agricultural Sciences. (5) 5: 609 -616.
- Bousba R., Djekoun A., Ykhlef N., (2010). Identification des marqueurs biochimiques et physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Revue des Régions Arides. 24 (2/2010).
- Bousba R., Djekoun A., Duraa S., Ykhlef N., (2013). Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). European Scientific Journal. 9: 186-201.

- Bouzerzour H., Benmahammed A., (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*. 12: 11-14.
- Bouzerzour H., Djekoun A., (1996).** Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Science et Technologie*. 7: 16-28.
- Bouzerzour H., (1998).** Sélection pour le rendement en grain, la précocité, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi- aride. Thèse de doctorat en sciences naturelles. Université Constantine. 165p.
- Bouzerzour H., Djekoun A., Benmahammed A., Hassous L.K., (1998).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahiers d'agricultures*. 8: 133-137.
- Bouzerzour H., Benmahammed A., Makhluof A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., (2002).** Variabilité génétique, héritabilité et corrélation entre caractères mesurés sur orge en zone semi-aride. *Céréaliculture*. 37: 4-13.
- Bouzerzour H., Benmahammed A., (2009).** Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi-arid conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 5(2):142-154.
- Bouziani Y., Benmoussa M., (2015).** Impact de l'interaction génotype-environnement sur le rendement et ses composantes d'une gamme variétale de blé tendre (*Triticum aestivum* em thell). *Revue agro biologique*. 7: 51-56.
- Buckman., (1990).** Agriculture et fertilization. Edition Norsk hydro a.s. p 258.

-C-

- Canadas D., (2006).** Evaluation du procédé Oxygreen® pour son potentiel de décontamination en ochratoxine A du blé. Les effets toxiques liés à une exposition sub-chronique à l'ochratoxine A sont-ils atténués ? Thèse de Dctorat. INPT.Toulouse.
- Chadefaut M., Emberger L., (1960).** Traité de Botanique systématique. p 382.
- Chahredine S., Benderradji L., (2019).** Evaluation of genetic progress in fifteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties growing in Algeria. *Agriculture and Forestry Journal*. 3: 15-22.
- Chakhchar A., Ferradous A., Lamaoui M., Wahbi S., El Modafar C., (2011).** Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative damage in four *Argania spinosa* ecotypes under water stress conditions. *Nature Precedings*. 1-1.
- Chaib G., Benlaribi M., (2006).** Proline accumulation in durum wheat (*Triticum durum* desf) under water deficit. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*. 14(1): 235-247.
- Chaib G., Benlaribi M., Hazmoune T., (2015).** Accumulation d'osmotocums chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. *European Scientific Journal*. 11 (24): 378-395.
- Chaib G., Benkhokha A., Benlaribi M., Abdelsalem A. Z. E., (2018).** Effect of water stress on proline accumulation and stomatal resistance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Moroccan Journal of Biology*. 15: 42-51.

- Chen T.H., Murata N., (2002). Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current opinion in plant biology*. 5(3) :250-257.
- Chen T.H.H., Murata N., (2008). Glycine betaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in plant science*. 13(9): 499-505.
- Chennafi H., Makhlouf M., Ayadi A. L., (2010). Réponse des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la date d'implantation sous semis direct en milieu semi-aride. Actes des quatrième rencontres méditerranéennes du semis direct. *Revue INRA*. N°. Spécial. 31-38.
- Chiara C., Maria V., (2014). Chapter Five - Genetic Control of Reproductive Development in Temperate Cereals, In: Fabio Fornara, Editor(s), *Advances in Botanical Research*. Academic Press. 72: 131-158.
- Chourghal N., Tarik H., (2020). Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s'adapter au changement climatique ?. *Cahiers Agricultures*. 29: 22.
- Chunthaburee S., Sanitchon J., Pattanagul W., Theerakulpisut P., (2015). Effects of salt stress after late booting stage on yield and antioxidant capacity in pigmented rice grains and alleviation of the salt-induced yield reduction by exogenous spermidine. *Plant Production Science*. 18(1): 32-42.
- Clarke J. M., McCaig T.N., (1982). Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 62(3): 571-578.
- Clarke J.M., Romagosa I., DePauw R. M., (1991). Screening durum wheat germplasm for dry growings conditions. Morphological and physiological criteria. *Crop Science*. 3(1): 770-775.
- Clément J.M., (1981). *Dictionnaire Larousse Agricole*. Librairie Larousse. ISBN 2-03-514301-2. p 1207.
- Collinson S., Clawson E., Azam-Ali S., Black C., (1997). Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L.) *Journal of Experimental Botany*. 48: 877-84.
- Close T. J., (1996). Dehydrins: emergence of a biochemical role of a family of plant dehydration proteins. *Physiologia Plantarum*. 97(4): 795-803.
- Cooper P.J.M., Keating J.D.H., Hughes G., (1983). Crop evapo-transpiration techniques for calculation of its components by field measurements *Field Crops Research*. 7: 299-312.
- Cooper M., Van Eeuwijk F.A., Hammer G.L., Podlich D.W., Messina C., (2009). Modeling QTL for complex traits: detection and context for plant breeding. *Plant Biology*. 12: 231-240.
- Corrêa W.R., Alessandra F.S., Leticia A N., Jane V.N.M., Arielle C.A., Diana F.S.A., Ângela M.K.O., Armando J.J., Laura P.T.B., Cândida A.L., Marcos J.S., (2018). Anti-inflammatory and antioxidant properties of the extract, tiliroside, and patuletin 3-O- $\beta$ -d-glucopyranoside from *Pfaffia townsendii* (Amaranthaceae). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2018/6057579>.

Cruz de Carvelho M.H., Laffray D., Louguet P., (1998). Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*. 40 (3):197-207.

**-D-**

Darbyshire B., (1974). The function of the carbohydrate units of three fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant physiology*. 54: 717-721.

Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., Guiot J., Contributors D., (2003). The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*. 22 (15-17): 1701-1716.

Dekkaki M., Amssa M., Qariani L., (2000). Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. *Durum wheat improvement in the Mediterranean region* : 245-249.

Diaz P., Borsani O., Monzon J., (1999). Proline accumulation in plants as response to osmotic stress. *Agrociencia- Montevideo* p 3, 1, 110.

Dicko M.H., (2006). Travaux pratiques de biochimie structurale et d'enzymologie. Centre de Recherche en Sciences Biologiques Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN), Université d'Ouagadougou. p 19- 33.

Djekoun A., Ykhlef N., Bouzerzour H., Hafsi M., Hamada Y., Kahali L., (2002). Production du blé dur en zone semi-aride : identification des paramètres d'amélioration du rendement .Journées scientifiques sur le blé 11, 12,13 Février. Université .Mentouri. Constantine.

Din J., Khan U., Ali I., Gurmani R.A., (2011). Physiological and agronomic response of Canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 21(1): 78-82.

Dorfling K., Askman A., (1989). Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardened winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. XII Eucarpia Congress: in spring wheat cultivars. 1. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29: 897-912.

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton P.A., Ruberg A., Smith F., (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28(3): 350- 356.

Dubos C., (2001). Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I : p 225.

Doussinault G., Kaan F., Lecomte C., Monneveux P., (1992). Les céréales à paille : présentation générale. *In* : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées. Edition. INRA. Paris.13-21.

**-E-**

Edreva A., (2005). The importance of non-photosynthetic pigments and cinnamic acid derivatives in photoprotection. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106: 135-146.

Elhani S., Martos V., Rharrabti Y., Royo C., Garcia Del Moral L.F., (2007). Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grain yield and

- its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research*. 103: 25-35.
- El hassani T.A., Persoons E., (1994). *Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale*. Edition. AUPELF-UREF : p 544.
- El Jaafari S., (1993). Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de Doctorat. Université Gembloux. Belgique : p 214.
- Eliane C., Gruszka V., Ivan S., Marcos P., Carlos A.S., Hugo B., Correa M., Celso J.M., Luis Gonzaga E.V., (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*. 164: 1367-1376.
- Evans L.T., Rawson H.M., (1970). Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of the ear during grain development in wheat. *Australian Journal of Biological Sciences*. 23: 245.
- F-**
- Fadlaoui A., (2006). Modélisation bioéconomique de la conservation des ressources génétiques animales. Thèse de Doctorat. Biologie Agronomique et Environnementale, Université de Louvain La Neuve. p 250.
- Fahmi F., Tahrouch S., Bouzoubâa Z., Hatimi A., (2011). Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'arganier spinosa. Actes du Premier Congrès International de l'arganier, Agadir. 299-308.
- FAO STAT., (2019). (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize>.
- Farooq J., Khaliq I., Ma A., Kaschif M., Rehman A., Naveed M., Farooq A., (2011). Inheritance pattern of yield attributes in spring wheat at grain filling stage under different temperature regimes. *Australian Journal of Crop Science*. 5(13): 1745-1753.
- Farshadfar E., Ghasempour H., Vaezi H., (2008). Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*T. aestivum*). *Pakistan journal of biological sciences*. 11(1): 118-122.
- Farshadfar E., Ghasemi M., Rafii F., (2014). Evaluation of physiological parameters as a screening technique for drought tolerance in bread wheat. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 4: 175-186.
- Favier J.C., (1989). Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. 285-297.
- Febrero A., Bort J., Catala J., Marzabal P., Voltas J., Araus J.L., (1994). Grain yield, carbon isotope discrimination and mineral content in mature kernels of barley under irrigated and rainfed conditions. *Agronomie*. 14(2): 127-132.
- Feldman M., (1976). Taxonomique classification and names of wild, primitive cultivated, and modern cultivated wheat. In simmonds N.W. Ed, *Evolution of crop plant* Longman, London. 120 -128.
- Fellah A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Djekoun A., (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes Institut Agronomique et Vétérinaire. 22 (3): 161-168.

- Fellahi Z., (2013). Aptitude à la Combinaison Et Héritabilité de Quelques Caractères Agronomiques du blé Tendre (*Triticum Aestivum* L.) .Thèse de magister. Université Ferhat Abbas Setif-1.
- Fellahi Z.E.A., Hannachi A., Bouzerzour H., Boutekrabi A., (2013). Line× tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agronomy. Doi : 10.1155/2013/201851.
- Feillet P., (2000). Le grain de blé. Composition et utilisation. Edition INRA. 58-75, 196-198.
- Fordyce J.A., (2006). The evolutionary consequences of ecological interactions mediated through phenotypic plasticity. Journal of Experimental Biology. 209: 2377-2383.
- Fyad-Lameche F.Z., Bellatar G., Bouabdallah S., Yahia N., (1996). Between and within species variation in annual Medicago species. Cahiers Options Méditerranéennes (CIHEAM). 18: 161-169.

**-G-**

- Gallais A., Bannerot H., (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées .Objectifs et critères de sélection. Edition INRA .p 768.
- Gate P., Brain P., Colenne J., Briffaux G., (1990). Pour les céréales à paille à chaque variété son époque de semis. Pres. Agriculture Edition Lavoisier, Paris. 148: 20-27.
- Gate P., Bouthier A., Casablanca H., Deleens E., (1992). Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France. Interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France) INRA. (Les colloques N°64).
- Gate P., (2008). Le blé et le changement climatique : impacts et perspectives. Journée de l'ASF du 1<sup>er</sup> février 2007 "Nouveaux objectifs de sélection face aux enjeux climatiques, énergétiques et environnementaux de demain". "Le Sélectionneur Français" (N° double 58 - 59). 15-30.
- Ge T., Sui F., Bai L., Tong C., San N., (2012). Effect of water stress on growth biomass partitioning and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. Acta Physiologiae Plantarum. 34: 1043-1053.
- Gerba L., Getache W., Bela Y., Walegn W., (2013). Nitrogen Fertilization Effects on Grain Quality of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. Var. Durum) Varieties in Central Ethiopia. Journal of Agricultural Sciences. 1(1): 1-7.
- Ghafoor A., Ahmad Z., (2005). Diversity of agronomic traits and total seed protein in black gram (*Vigna mungo* L.) Hepper. Acta Biologica Cracoviensia series Botanica. 47: 69-75.
- Ghars M.A., Parre E., Debez A., Bordenave M., Richard L., Leport L., Abdelly C., (2008). Comparative salt tolerance analysis between *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila*, with special emphasis on K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> selectivity and proline accumulation. Journal of plant physiology. 165(6): 588-599.
- Ghennai A., Zerfa C., Benlaribi M., (2017). Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'UPOV. Journal of Applied Biosciences. 113(1):11246-11256.

- Gill S.S., Tuteja N., (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*. 48(12): 909-930.
- Gnis, (2006). Création- réalisation. Semences et biodiversité. Semences et biodiversité. Préservation et enrichissement de la biodiversité par la filière semences. E.P.C. D0615.
- Godon B., Willm C.L., (1991). Les industries de première transformation des céréales. Collection sciences et technologies agroalimentaires. Lavoisier. p 78-91.
- Godon B., Loisel W., (1997). Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Collection sciences et techniques agro- alimentaires. 2<sup>e</sup> édition. Lavoisier Technique et Documentation. p 819.
- Gonde P., Ratomahenina R., Arnaud A., Galzy P., (1986). Purification and properties of the exocellular  $\beta$ -glucosidase of *Candida molischianan* (Zikes) Meyer and Yarrow capable of hydrolyzing soluble cellodextrins. *Canadian Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 363: 1160-1166.
- Gondé R., Jussiaux M., (1980). Cours d'agriculture moderne. 9<sup>ème</sup> édition, Ed. Maison Rustique, Paris. p 628.
- Gossett D.R., Millhollon E.P., Lucas M.C., (1994). Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop science*. 34(3): 706-714.
- Graciela M., (1990). Facteur de stress agissant sur la production du blé en Argentine, Evaluation de mécanismes d'adaptation à la sécheresse .Thèse doc. Ecole supérieure agronomique de Montpellier. p 80.
- Greenwood C.T., (1976). Starch: Advances in cereal chemistry and thechnology.Ed.Y. Pomeranz. AACC Inc. St-Paul. Minn. ; p 119. In : Les industries de première transformation des céréales. Godon B., Willm C.L., (1991). Collection sciences et technologies agroalimentaires. Lavoisier. 78-91.
- Gulçin I., Huyut Z., Elmastas M., Aboul-Enein H., (2010). Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. *Arabian Journal of Chemistry*. 3(1): 43-53.

**-H-**

- Haddad L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Zerargui H., Hannachi A., Bachir A., Salmi M., Oulmi A., Fellahi Z., Nouar H., Laala Z., (2016). Analysis of genotype  $\times$  environment interaction for grain yield in early and late sowing date on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 9 (3): 139-146.
- Hacini N., Brinis L., (2012). Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de tolérance au stress hydrique chez 10 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Synthèse : *Revue des Sciences et de la Technologie*. 25(1): 6-16.
- Hadjadj S., Djerroudi O., Bissati S., (2011). Etude comparative des mecanismes biochimiques de tolérance au stress salin de deux espèces d'atriplex : *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (PURCH) NUTT. *Algerian Journal of Arid Environment* .1 (2): 3-10.
- Hafsi C., Falleh H., Saada M., Ksouri R., Abdelly C., (2017). Potassium deficiency alters growth, photosynthetic performance, secondary metabolites content, and related antioxidant capacity in *Sulla carnosa* grown under moderate salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 118: 609-617.

- Hammada A., Zinta G., Hegab M.M., Pandey R., Asard H., Abuelsoud W., (2016).** High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. *Frontiers in plant science*. 7-276.
- Hamadache A., (2001).** Stades et variétés de blé. Ed. ITGC. p 22.
- Hama hamadou H., Idrissa M., Ikhiri Khalid P., Benjamin O., (2019).** Activité Antioxydante des Extraits Méthanoliques de Différents Organes de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. *European Scientific Journal*. 15 (12): 1857- 7881.
- Hamli S., (2015).** Étude de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) au choc thermique : criblage des plantules et déterminisme génétique de la tolérance. p 22 et 107.
- Hamli S., Kadi K., Bekhouche I., Harnan I., Addad D., Abdelmalek A., Harrat N., (2020).** Involvement of abiotic stress tolerance mechanisms in biotic stress tolerance in durum wheat. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 12(2): 738-754.
- Hammami R., Ayadi B., Bargaoui B., Mnajja M., Gharbi M., (2017).** Study of the Genetic Diversity of Quality Parameters of Fourteen Varieties of Durum Wheat (*Triticum durum*) grown in Tunisia Etude de la Diversité Génétique des Paramètres de la qualité technologique de 14 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Tunisie. 47(1): 2548-2563.
- Hana S., Leila M.A., Nedjoud G., Reda M.D., (2014).** Physiology and biochemistry effects of herbicides Sekator and Zoom on two varieties of wheat (Waha and HD) in semi-arid region. *Annual Research and Review in Biology*. 5: 449-459.
- Hansen C.E., Del Olmo M., Burri C., (1998).** Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 77: 273-281.
- Hasheminasab H., Assad M.T., Aliakbari A., Sahhafi S.R., (2012).** Evaluation of some physiological traits associated with improved drought tolerance in Iranian wheat. *Annals of Biological Research*. 3(4):1719-1725.
- Hazmoune T., Benlaribi M., (2004).** Etude comparative de l'effet de la profondeur de semis sur les caractères de production de trois génotypes de (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride *Revue Sciences et technologie*. C, Biotechnologies. 22: 94-99.
- Heath R.L., Packer L., (1968).** Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*. 125(1): 189-198.
- Hegedus A., Erdei S., Horvath G., (2001).** Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedling under Cd stress. *Plant Science*. 160: 1085-1093.
- Henry Y., De Buyser J., (2001).** L'origine des blés. *In* : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Edition Belin, Paris. 69-72.
- Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O., Onoda Y., (2006).** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of Experimental Botany*. 57: 291-302.
- Himani SM., Renu M., (2018).** Morpho-physiological characterization of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under irrigated conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7: 2350-2354.

- Hincha D.K., Hageman M., (2004).** Stabilization of model membranes during drying by compatible solutes involved in the stress tolerance of plants and microorganisms. *Biochemical Journal.* 383: 277-283.
- Holloway P.J., Jeffree CE., (2017).** Epicuticular Waxes, In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)*, edited by Brian Thomas, Brian G Murray and Denis J Murphy, Academic Press, Oxford, Pages 374-386.
- Hopkins W.G., (2003).** Physiologie végétale, traduction de la 2<sup>ème</sup> édition américaine. De Boeck Université, Bioénergétique et réactions photochimiques de la photosynthèse. 9: 163 -186.

**-I-**

- Ibn Maaouia-Houimli S., Dridi-Mouhandes B., Ben Mansour-Gueddes S and al., (2012).** 24-Epibrassinolide ameliorates the adverse effect of salt stress (NaCl) on pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry.* 8(1): 232-240.
- Iftikhar R., Ihsan K., Kashif M., Ahmad M.A., Smiullah. (2012).** Study of morphological traits affecting grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) under field stress condition. *Middle-East Journal of Scientific Research.* 11: 19-23.
- I.T.G.C ., (2017).** Institut technique des grandes cultures. El khroub. Constantine.

**-J-**

- Jatoi W.A., Baloch M.J., Kumbhar M.B., Khan N.U., Kerio M.I., (2011).** Effect of water stress on physiological and yield parameters at anthesis stage in élite spring wheat cultivars. *Sarhad Journal of Agriculture.* 27(1) : 59-65.
- Jeantet R., Croguennec T., PSchuck P., Gerard B., (2007).** Science des aliments : Biochimie Microbiologie, procédés produits. 138-159.
- Jestin L., (1992).** L'orge. In : Gallais A.et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection, INRA, Paris. 55-74.
- Jeuffroy M., Barre C., Bouchard C., Demotes-mainard S., (2000).** Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales Paris (France), 20-21 janvier 1998 Ed. INRA, Paris, 2000 (Les Colloques, n 93). Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales : Paris (France), 20-21 janvier 1998, 93, 289.
- Jimenez L., (2000).** Cereal product with high antioxydant power. <http://www.freepatensonline.Com / Ep 1541026.html>.
- Jouve P., (1984).** Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride. *Agronomie tropicale.* 39(4): 308-315.
- Julkunen-Titto R., (1985).** Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food chemistry.* 33: 213- 217.

**-K-**

- Kadi Z., Adjel F., Bouzerzour H., (2010).** Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi- arid conditions. *Advances in environmental biology.* 4: 34-41.
- Kadi Z., (2012).** Selection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. Thèse de Doctorat en Science. Département d'écologie et Biologie végétale. Université Sétif. p 126.
- Kahali L., Djekoun A., (2016).** Analyse génotypique de la contribution de la matière assimilée du pédoncule dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *European Scientific Journal.* 12(18):151-166.
- Kakaei M., Kahrizi D., (2011).** Evaluation of seed storage protein patterns of ten wheat varieties using SDS-page. *Biharean Biologist.* 5(2): 116-118.
- Kala S., Godara A.K., (2011).** Effect of moisture stress on leaf total proteins, proline and free amino acid content in commercial cultivars of *Ziziphus mauritiana*. *Journal of Scientific Research.* 55: 65-69.
- Kalinova J., Moudry J., (2006).** Content and quality of protein in proso Millet *Panicum miliaceum* L. varieties. *Plants foods for human nutrition.* 61 (1): 43-47.
- Kameli A., Lösel D.M., (1995).** Contribution of carbohydrates and others solutes to osmotic adjustment in wheat leavers under water stress. *Journal of Plant Physiology.* 145: 363-366.
- Kamoshita A., Babu RC., Boopathi NM., Fukai S., (2008).** Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. *Field Crops Research.* 109: 1-23.
- Kandel M., Bastola A., Sapkota P., Chaudhary O., Dhakal P., Chalise P., (2017).** Association and path coefficient analysis of grain yield and its attributing traits in different genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology.* 5: 449-453.
- Kara K., (2015).** 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. p 222.
- Katsuhara M., Otsuka T., Ezaki B., (2005).** Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in Arabidopsis. *Plant Science.* 169 (2): 369-373.
- Kaurinovic B., Popovic M., Vlaisavljevic S., (2010).** In vitro and in vivo effects of *Laurus nobilis* L. leaf extracts. *Molecules.* 15(5): 3378-3390.
- Kent N.L.M.A., (1975).** Thechnology of cereals: with special reference to wheat. 2<sup>ème</sup> Ed. Pergamon Press. p 297.
- Khan A.J., Azam F., Ali A., (2010).** Relationship of morphological traits and yield in recombinant inbreed wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botanic.* 42(1): 259-267.

- Khan N., Naqvi FN., (2011).** Effect of water stress in bread wheat hexaploids. *Current Research Journal of Biological Sciences.* 3 (5): 487-498.
- Khalilzadeh R.R., Sharifi S., Jalilian J., (2016).** Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Interactions.* 11: 130-137.
- Khayatnezhad M., Gholamin R., Somarin S.J., Mahmoodabad R.Z., (2011).** Scrutiny of hexaploid and tetraploid (*Triticum durum*) wheat's genotypes to some physiological responses in drought stress. *Middle-East Journal of Scientific Research.* 7: 12-16.
- Khelifi D., Hamdi W., Ben belkacem A., (2004).** Caractéristiques biochimiques et technologiques des blés cultivés en zone semi-aride. In : Cantero-Martínez C. (ed.), Gabiña D. (ed.). *Mediterranean rainfed agriculture : Strategies for sustainability.* Zaragoza : CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens. 60: 189-192.
- Khennaoui A., Djekoun A., Benbelkacem A., Ykhlef N., (2016).** Agro morphological characterization and study of grain yield of Algerian durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *International Journal of Advanced Research.* 4: 1071-1080.
- Kilani B., Rejeb Chedly A., Arnould S., (2012).** La proline, un acide aminé multi-fonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui.* 206 (4): 291-299.
- Kiliç H., Yağbasanlar T., (2010).** The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* sp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* 38 (1): 164-170.
- Kirkham M.B., Smith E.L., Dhanasobhon C., Drake T.I., (1980).** Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. *Cereal Research Communications.* 393-399.
- Kirkman M.A., Shewry P.R., Mifflin B.J. and al., (1982).** The effect of nitrogen nutrition on the lysine content and protein composition of barley seeds. *Food and Agriculture.* 115-127.
- Kirouani A., Kiar RO., Boukhalfoun L., Fellahi Z.E.A., (2019).** Characterization of some Algerian varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using phenotypic markers. *Journal of Applied Biosciences.* 142: 14464-14477.
- Kishor P.K., Sangam S., Amrutha R.N., Laxmi P.S., Naidu K.R., Rao K.R.S.S., Sreenivasulu N., (2005).** Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and a biotic stress tolerance. *Current science.* 424-438.
- Kong L., Wang F., Feng B., Li S., Si J., Zhang B., (2010).** The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): An important photosynthate source for grain-filling. *BMC Plant Biology.* 10: 141.
- Ksouri R., Megdiche W., Debez A., Falleh H., Grignon C., Abdelly C., (2007).** Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant Physiology and Biochemistry.* 45: 244-249.

**-L-**

- Laala A., Rached-Kanouni M., Alatou D., (2013). Les variations thermiques saisonniers et leurs impacts sur le comportement écophysiological des semis de pin d'Alep. *European Scientific Journal*. 9: 143-153.
- Ladizinsky G., Hymowitz T., (1979). Seed protein electrophoresis in taxonomic and evolutionary studies. *Theoretical and Applied Genetics*. 54: 145-151.
- Ladoui K.K., Mefti M., Benkherbache N., (2020). Selection de genotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) tolérants au stress hydrique par les indices de tolérance a la secheresse. *Revue Agrobiologia*. 10(1): 1805-1812.
- Laemli U.K., (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*. 227: 680-685.
- Laperche A., Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Gardet O., Hanocq E., Devienne-Barret F., Le Gouis J., (2007). Using genotype x nitrogen interaction variables to evaluate the QTL involved in wheat tolerance to nitrogen constraints. *Theoretical and Applied Genetics*. 115: 399-415.
- Lavorel S., Lebreton J.D., Le Maho Y., (2017). Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites. Rapport de l'Académie des Sciences. 1-157.
- Ledily F., Billard J.P., Lesaos J., Hvault C., (1993). Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. *Plant Physiology and Biochemistry*. 31(3): 303-310.
- Le Gouis J., Béghin D., Heumez E., Pluchard P., (2000). Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 12: 163-173.
- Lepoivre P., (2003). *Phytopathologie : Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte*. De Boeck Supérieur. 27-28.
- Lery F., (1982). *L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne*. Edition Maisonneuve et Larose, Paris. p 338.
- Levitt J., (1972). *Responses of plants to environmental stress*. Acad. Press New York.
- Li W., Gill B.S., (2004). Genomics for cereal improvement. In: P.K. Gupta, R.K. Varshney (Eds), *Cereal Genomics*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 585-634.
- Lichtenthaler H.K., (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148: 350-382.
- Li-Ping B.A.I., Fang-Gong S.U.I., Ti-Da G.E., Zhao-Hui S.U.N., Yin-Yan L.U., Guang-Sheng Z. H.O.U., (2006). Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Pedosphere*. 16(3): 326-332.
- Lopes MS., Reynolds M.P., Jalal-Kamali MR., Moussa M., Feltaous Y., Tahir ISA., Baum M., (2012). The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research*. 128: 129-136.

Loretti E., De Bellis L., Alpi A., Abbo S., (2001). Why and how do plant cells sense sugars? .Annual of Botanic. 88: 803-812.

Lowlor D.W., (2002). Limitation to photosynthesis to water stressed leaves: stomata vs metabolism and the role of ATP. Annals of Botany. 89: 871-885.

**-M-**

Ma J., Du G., Li X., Zhang C., Guo J., (2015). A major locus controlling malondialdehyde content under water stress is associated with Fusarium crown rot resistance in wheat. Molecular Genetics and Genomics. 290 (5): 1955-1962.

Maciejewski J., (1991). Semences et plants. Edition Lavoisier Technique et Documentaires, Paris. p 233.

M.A.D.R., (2017). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, Statistique Agricole.

Mahajan S., Tuteja N., (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of biochemistry and biophysics. 444 (2): 139-158.

Majoul T., (2004). Étude par l'analyse protéomique de l'effet du stress thermique sur la composition et la quantité du grain de blé. Thèse de Doctorat en sciences biologiques. p 117.

Mansouri A., Oudjehih B., Benbelkacem A., Fellahi Z., Bouzerzour H., (2018). Variation and Relationships among Agronomic Traits in Durum Wheat [*Triticum turgidum* L. Thell. ssp. *turgidum* conv. Durum (Desf.) MacKey] under South Mediterranean Growth Conditions: Stepwise and Path Analyses: 1-11.

Marty P., Vivier F.P., Lepart J., Lavrère R. , (2005). Les biodiversités : objets, théories, pratiques. CNRS. ED Paris. p 260.

Masclaux C., Quillere I., Gallais A., Hirel B., (2001). The challenge of remobilization in plant nitrogen economy. A survey of physiolo-agronomic and molecular approaches. Annals of Applied Biology. 138: 69-81.

Masse J., Thevenet G., (1982). Quel peuplement choisir ? Pers agri. N°61. 46-49.

Massele M.J., (1981). Relation entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver. Influence des conditions de nutrition. Agronomie. 13 : 365-370.

Matkowski A., Piotrowska M., (2006). Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae. Fitoterapia .77: 346-353.

Maurer D., (1978). Phytoplancton et pollution. Lagune Ebrié (Abidjan). Secteur de Cortiou (Marseille). This Doc. 3ème cycle, Aix-Marseille II. p 121.

Mazouz L H., Bouzerzour H., (2017). Study of the morphological and phenological parameters contribution in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) selection in semi-arid climate. Revue Science et Technologie Synthèse. 35: 45-58.

MCBean D.S., Mcleod J.G., (2007). Le seigle l'encyclopédie canadienne : en ligne : La foundation Historica du Canada.

- Megherbi A., Mehdadi Z., Toumi F., Moueddene K., Bouadjra S.E.B., (2012). Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*. 159(1): 137-143.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse*. 17 (4): 507-513.
- Mekhlouf A., (2009). Etude de la variabilité génétique du blé dur (*Triticum durum* Desf.), pour la tolérance au froid. Thèse de Doctorat en Science en Agronomie. Institut National Agronomique El-Harrach Alger. p 81.
- 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*. 3: 13-22.
- Mekliche A., Boukecha D., Hanifi-mekliche L., (2003). Etude de la tolérance a la sècheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).1. effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologique, morphologiques et physiologiques. *Annales de l'Institut National Agronomique*. El-Harrach. 24:1 et 2.
- Melki M., Dahmane A., (2008). Identification de quelques mutants de blé dur performants en conditions de sécheresse naturelle. *Sécheresse* 19 (1): 47-53.
- Merabta S., Zerafa C., Benlaribi M., (2018). Y A-T-Il une relation entre teneur en chlorophylle et accumulation de la proline chez les céréales à paille sous déficit hydrique ? *European Scientific Journal*. 14: 234- 245.
- Merah O., Monneveux Ph., (2014). Contribution of different organs to grain filling in durum wheat under Mediterranean conditions I. contribution of post-anthesis photosynthesis and remobilization. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 201 (5): 344-352.
- Messaoudi N., (2021). Etude des mécanismes de tolérance aux stress abiotiques chez quelques variétés de blé (*Triticum* sp.) (Doctoral dissertation, Université MOHAMED Boudiaf-M'SILA). p 109.
- Messaoudi N., Laid B., Hammema B., Ammar B., Faiçal, B., (2021). Agronomic and Morpho-Physiological Characterization of Some Advanced Lines being selected in Durum Wheat Cultivated in Semi-Arid Conditions. *Food Science and Engineering*. 51-64.
- Moller I.M., Jensen P.E., Hansson A., (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 58: 459-481.
- Monneveux Ph., Nemmar M., (1986). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*. 6(6): 583-590.
- Monneveux Ph., Chaballier C., Lewicki S., Lafarga A., Sombrero A., Ontanon R., Romagosa I., (1992). Etude du comportement de lignées d'orge dans différentes conditions de sécheresse en Espagne. Estimation du rôle de la capacité d'ajustement osmotique dans l'adaptation à la variabilité environnementale. INRA.

- Montillet J.L., Chamnongpol S., Rustérucchi C., Dat J., *and al.*, (2005). Fatty acid hydroperoxides and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the execution of hypersensitive cell death in tobacco leaves. *Plant physiology*. 138(3): 1516-1526.
- Moradshahi A., Salehi esk Andari B., Kholdebarin B., (2004). Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*. 28(1): 43-50.
- Morales F.J., Jimenez-Perez S., (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*. 72: 119-125.
- Moragues M., Zarco-Hernández J., Moralejo M.A., Royo C., (2006). Genetic diversity of glutenin protein subunits composition in durum wheat landraces [*Triticum turgidum* ssp. *Turgidum* convar. *durum* (Desf.) MacKey] from the Mediterranean basin. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 53: 993-1002.
- Morel S., Arnould S., Vitou M., Boudard F., Guzma C., Poucheret P *and al.*, (2018). Antiproliferative and antioxidant activities of wild Boletales mushrooms from France. *International journal of medicinal mushrooms*. 20(1): 13-29.
- Morgan J.M., (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 35: 299-319.
- Mouri C., Benhassaini H., Bendimered F.Z., Belkhodja M., (2012). Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila arenaria* (L.) Link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie. *Acta Botanica Gallica: Botany Letters*. 159 (1): 127-135.
- Munns R., James J.A., Xu B., Athman A., Conn S.J., Jordans C., Byrt, C.S., Hare R.A., Tyerman S.D., Tester M., Plett D., Gilliam M., (2012). Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na<sup>+</sup> transporter gene. *Nature Biotechnology*. 30: 360 - 364.
- Mwadzingeni L., Shimelis H., Tesfay S., Tsilo T.J., (2016). Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1276.
- N-
- Nahas J., (1999). Effets de l'incorporation des céréales entières dans la ration alimentaire sur les performances des poulets de chair. Université Laval.
- Nazarli H., Faraji F., Zardashti M.R., (2011). Effect of drought stress and polymer on osmotic adjustment and photosynthetic pigments of sunflower, *Cercetări Agronomice în Moldova*. 1 (145): 35-41.
- Neffar F., (2013). Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf) et d'orge (*Hordeum vulgare* L.) soumis à la sécheresse. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Sétif. p 86.
- Nezhadahmadi A., Prodhan Z.H., Faruq G., (2013). Drought tolerance in wheat. *Scientific World Journal*. Doi:10.1155/2013/610721.
- Niemenak N., Rohsius C., Elwers S., Ndoumou D.O., Lieberei R., (2006). Comparative study of different cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in terms of their phenolics and anthocyanins contents. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 612-619.

Nouar H., (2015). Contribution à l'étude de l'interaction génotype-environnement de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen : application des modèles de la régression conjointe et de l'AMMI. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1.

**-O-**

Oosterom V.E., Ceccarelli S., Peacock J.M., (1993). Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *Journal of Agricultural Science*. 121: 307-313.

Osmond C.B., (1994). What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. Photoinhibition of photosynthesis-from molecular mechanisms to the field. 1-24.

Oudjani W., (2009). Diversité de 25 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de Magister. Université Frères Mentouri Constantine. p 113.

Oukarroum A., (2007). Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse de Doctorat, Université Genève. p 196.

**-P-**

Palfi G., Koves E., Bito M., Sebestyen R., (1974). The role of amino acids during water stress in species accumulating proline. *Phyton* (Buenos Aires). 32: 121-127.

Panozzo J.F., Eagles H.A., (1999). Rate and duration of grain filling and grain nitrogen accumulation of wheat cultivars grown in different environments. *Australian Journal of Agricultural Research*. 50(6): 1007-1016.

Parry A.J., Andralojc P.J., Khan S., Lea P.J., Keys A., (2002). Rubisco activities: effects of drought stress. *Annals of botany*. 89: 833-839.

Payne P.I., Corfield K.G., Blackman J.A., (1979). Identification of high molecular weight subunits of glutenin whose presence correlates with bread making quality in wheats of related pedigree. *Theoretical and Applied Genetics*. 55: 153-159.

Pelger S., Torbjorn S., Bengt O., (1993). Evolution of hordein gene organization in three Hordeum species. *Heredita*. 219-231.

Peltonen J., Hannu R., Reino A., Silja H., (1994). Hordein and malting quality in northern barleys. *Hereditas*. 231 -239.

Peronny S., (2005). La perception gustative et la consommation des tannins chez le MAKI (*Lemur Catta*). Thèse de Doctorat du Muséum national d'histoire naturelle. Discipline Eco-Ethologie. p 151.

Perret C., (2001). Analyse de tannins inhibiteurs de stilbène oxydase produite par *Btrytis cinerea* Pers.:FR. Thèse de Doctorat .Université de Neuchâtel. p 173.

Pipien G., (2007). Eléments pour une définition de la biodiversité. [www.biodiversite2007.org/article.php3?id\\_article=167](http://www.biodiversite2007.org/article.php3?id_article=167).

- Prevost P.**, (1999). Les Bases de l'agriculture. Deuxième édition. Edition Technique et Commentaries. 165-195.
- Prochazkova D.**, Sairam R.K., Srivastava G.C., Singh D.V., (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Sciences*. 161: 765-771.
- Pirzad A.**, Shakiba M.R., Zehtab-salmasi S., Mohammadi S.A., Darvishzaden R., Samadi A., (2011). Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(12): 2483-2488.
- Purcino A.A.C.**, Arellano C., Athwal G.S., Huber S.C., (1998). Nitrate effect on carbon and nitrogen assimilating enzymes of maize hybrids representing seven eras of breeding. *Maydica*. 43: 83-94.

**-Q-**

- Qi J.C.**, Zhang G.P., Zhou M.X.J., (2006). Cereal Sci 102-107. Protein and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to beta-amylase activity. *Journal of Cereal Science*. 43(1): 102-107.
- Qiao Y.**, Zhang H., Dong B., Shi C., Li Y., Zhai H., Liu M., (2010). Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on growth and water use efficiency of winter wheat under two soil water regimes. *Agricultural Water Management*. 97(11): 1742-1748.

**-R-**

- Radola B.J.**, (1980). Electrophoresis 79. W. ded Gruyter, Berlin N°4.
- Rasio A.**, Sorrentinio G., Cedola M.C., Pastore D., Wittner G., (1987). Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. *Genetica Agraria*. 41: 427-436.
- Rebetzke G J.**, Bonnett D G., Reynolds M.P., (2016). Awns reduce grain number to increase grain size and harvestable yield in irrigated and rainfed spring wheat. *Journal of Experimental Botany*. 67 (9): 2573-2586.
- Rezazadeh A.**, Ghasemnezhad A., Barani M., Telmadarrehei T., (2012). Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. *Research Journal of Medicinal Plant*. 6(3): 245-252.
- Rice-Evans C.A.**, Miller N.J., Paganga G., (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radical biology and medicine*. 20(7): 933-956.
- Richards R.A.**, (1991). Crop improvement for temperate Australia: future opportunities. *Field Crops Research*. 26: 141-169.
- Ribereau G.P.**, (1968). Les composés phénoliques des végétaux, Dunod, Paris. p 254.
- 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. sp. Durum) for the Rainfed Mediterranean Environments of Central Chile. *American Journal of Plant Sciences*. 3: 1809-1819.

- Robert D., Gate P., Couvreur F., (1993). Les stades du blé. Editions ITCF. p 28.
- Romagosa I., Araus J.L., (1990). Acciones mitigantes de la sequia en la agricultura : la mejora genetica vegetal. Jornadas sobre les sequias en Espana. Causas, efectos, remedios, y acciones mitigantes, Madrid, Espana (unpublished).
- Royo C.R., Nazco R., Villegas D., (2014). The climate of the zone of origin of Mediterranean durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces affects their agronomic performance. Genetic Resources and Crop Evolution. 61: 1345-1358.

-S-

- Safarova G., Akhundova E., Ramazanova M., Salayeva S., Ojaghi J., (2019). Agromorphological Characterization of Azerbaijan Durum Wheat Accessions by Multiple Statistical Analysis. Khazar Journal of Science and Technology. Khazar Journal of Science and Technology. 3(1): 5-13.
- Sallam A., Alqudah A.M., Dawood M.F., Baenziger P.S., Börner A., (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. International Journal of Molecular Sciences. 20: 3137.
- Salmi M., (2015). Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Thèse. Université Ferhat Abbas, Sétif. Algérie. p 69.
- 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: 99 -111.
- Salmi M., Benmahammed A., Benderradji L., Fellahi Z., Bouzerzour H., Oulmi A., Benbelkacem A., (2019). Generation means analysis of physiological and agronomical-targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. Revista Facultad Nacional de Agronomia. 72 (3): 8971-8981.
- Sanchez F.J., Manzanares M.D.E., Andres E.F., Tenorio J.L., Schellenbaum L., Sprenger N., Schuupp H., Wiemken A., Boller T., (1999). Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. New Phytologist. 142: 67-77.
- Sanchez D.H., Schwabe F., Erban A., Udvardi M.K., Kopka J., (2011). Comparative metabolomics of drought acclimation in model and forage legumes. Plant Cell Environ. 10.1111/j.1365-3040.2011.02423.x.
- Sang D., Chen D., Liu G., Liang Y., Huang L., Meng X., Chu J., Sun X., Dong G., Yuan Y., Qian Q., Li J., Wang Y., (2014). Strigolactones regulate rice tiller angle by attenuating shoot gravitropism through inhibiting auxin biosynthesis. Proceedings of the National Academy of Sciences. 111 (30): 11199-11204.
- Saqib M., Mahmood A., Akram R., Khalid B., Afzal S., Kamal G.M., (2015). Density functional theory for exploring the structural characteristics and their effects on the antioxidant properties. Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry. 1(2): 65-71.
- Sassi K., Abid G., Jemni L., Dridi-Al Mohandes B., Boubaker M., (2012). Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. Journal of Animal and Plant Sciences. 15 (2): 2157-2170.

- Selmar D., (2008). Potential of salt and drought stress to increase pharmaceutical significant secondary compounds in plants. *Landbauforschung Volkenrode*. 58(1/2):139-144.
- Seyyednejad S.M., Koochak H., (2011). A study on air pollution effects on *Eucalyptus camaldulensis*. In *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology IPCBEE*. IACSIT Press. 16: 98-101.
- Shao H.B., Chen X.Y., Chu L.Y., Zhao X.N., Wu G., Yuan Y.B., Zhao C.X., Hu Z.M., (2006). Investigation of the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 50: 113-119.
- Sharm S.S., Dietz K.J., (2006). The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany*. 57: 711-726.
- Shepherd K.W., (1968). Chromosomal control of endosperm protein in wheat and rye. *Third inter. genet. Symp*, London. 86-96.
- Shuaib M., Ouararhni K., Dimitrov S., Hamiche A., (2010). HJURP binds CENP-A via a highly conserved N-terminal domain and mediates its deposition at centromeres. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(4): 1349-1354.
- Shewry P.R., Kreis M., Parmar S., (1985). Biochemical Societies 61--type hordeins in barley.
- Shorter R., Lawn R.J., Hammer G.L., (1991). Improving genotypic adaptation in crops - A role for breeders, physiologist and modellers. *Experimental Agriculture*. 27: 155-175.
- Sing T.N., Aspinall D., Paleg L.G., (1973). Stress metabolism III-Variations in response to water deficit in the barley plant. *Australian Journal of Biological Sciences*. 26: 65-76.
- Singh S., Singh G., Singh P., Singh N., (2008). Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food chemistry*. 108: 130- 139.
- Singleton V.L., Rossi J.A., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Ecology and Viticulture*.16: 144-158.
- Sivakumar P., Sharmila P., Saradhip P.P., (2000). Proline alleviates salt-stress induced enhancement in Ruisco oxygenase activity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 279: 512-50.
- Slafer G.A., Araus J.L., Royo C., Del Moral L.F.G., (2005). Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Annals of Applied Biology*. 146(1): 61-70.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M., Zid E.D., (2005). Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*. (16) 3: 225-229.
- Slama I., Chedly A., Bouchereau A., Tim F., Savouré A., (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under a biotic stress. *Annals of Botany*. 115(3): 433-447.
- Smith D.B., (1990). Barley seed protein and its effects on malting and brewing quality. *Plant Varieties and Seeds*. 3(2): 63-80.
- Snoussi S.A., Abbad M., (2012). Production De Proline Chez La Tomate Dans Un Environnement Salin. *Agrobiologia*. 2(1): 52-56.

- Soltner D., (1990). Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, 17<sup>ème</sup> édition .Paris. France. p 464.
- Soltner D., (1998). Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- Soltner D., (1999). Les grandes productions végétales. 19<sup>ème</sup> édition, Ed. Collection sciences et techniques agricoles, France. p 464.
- Soltner D., (2005). Les grandes productions végétales. 20<sup>ème</sup> Edition. Collection science et techniques agricoles. p 472.
- Song N.H., Yin X.L., Chen G.F., Yang H., (2007). Biological responses of wheat (*Triticum aestivum* L) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. Chemosphere. 68: 1779-1787.
- Sood A., Prasanna R., Singh P.K., (2007). Utilization of SDS-PAGE of whole cell protein for characterization of *Azolla* species. Annales Botanici Fennici. 44(4): 283-286.
- Sorrells M.E., Diab A., Nachit M., (2000). Comparative genetics of drought tolerance. Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens). 40: 191-201.
- Sourour A., Chahine K., Youssef T., Olfa S.A., Hajer S.A., (2010). Phenotypic diversity of Tunisian durum wheat landraces. African Crop Science journal. 18(1): 35-42.
- Steliana P.B., Aurel G., Daniel C., Călina P.C., (2018). The Influence of Climatic Variations on the Stability of Wheat Plant Height. Sciendo. 508-514.
- Szabados L., Savoure A., (2010). Proline: a multifunctional amino acid. Trends in plant science. 15(2): 89-97.
- T-**
- Tahri El-H., Belabed A., Sadki K., (1997). Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* L.). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat. 21: 81-87.
- Tardieu F., (2003). Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. Trends in Plant Science. 8: 9-14.
- Tattaris M., Reynolds M.P., Chapman S.C., (2016). A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. Frontiers in Plant Science. 7-1131.
- Trewavas A., (2002). Malthus foiled again and again. Nature. 418: 668-670.
- Triboi E., Gachon L., Morizet J., (1985). Les potentialités de production du blé d'hiver en moyenne montagne du Massif Central. Agronomie. 5(2): 135-142.
- Turner N.C., (1986). Adaptation to water deficits: A changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology. 13: 175-190.
- Troll W., Lindsley J.A., (1955). Photometric method for the determination of proline. Journal of Biological Chemistry. 215: 655-660.

Toumi M., Barris S., Aid F., (2014). Effects of water and osmotic stress on the accumulation of proline and malondialdehyde (MDA) in two varieties of colza (*Brassica napus* L.). Bulletin de l'Institut Scientifique : Section Sciences de la Vie. 36:17-24.

-U-

UPOV., (1994). Principes directeurs pour la conduite de l'examen des caractères Distinctifs, de l'Homogénéité et de la Stabilité. Ogre (*Hordeum vulgare* L.). p 33.

Uptmoor R., Pillen K., Matschegewski C., (2017). Combining genome-wide prediction and a phenology model to simulate heading date in spring barley. Field Crops Research. 202: 84-93.

-V-

Van Kooten G.C., (1998). Economics of conservation biology: a critical review. Environmental Science and Policy. 1: 13-25.

Voetberg G.S., Sharp R.E., (1991). Growth of the maize primary root in low water potentials. III. Roles of increased proline depositions in osmotic adjustment. Plant Physiology. 96: 1125-1130.

-W-

Wang Z., Xu Y., Wang J., Yang J., Zhang J., (2012). Polyamine and ethylene interactions in grain filling of superior and inferior spikelets of rice. Plant Growth Regulation. 66: 215-228.

Wei Y.Y., Zheng Q., Liu Z.P., Yang Z.M., (2011). Regulation of tolerance of *Chlamydomonas reinhardtii* to heavy metal toxicity by hemeoxygenase-1 and carbon monoxide. Plant and Cell Physiology. 52 (9): 1665-1675.

Weimberg R., Lerner H.R., Poljakooff-Mayber A., (1986). Changes in growth and water-soluble solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. Plant physiology . 62: 472-480.

Wrigley C., Bekes F., Bushuk W., (2006). Gliadin and Glutenin: the unique balance of wheat quality. Edited by AACC international press. 446.

Weber K., Osborn M., (1969). The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. Journal of Biological Chemistry. 244 (16): 4406-4412.

Wu G. Q., Zhang L.N., Wang Y.Y., (2012). Response of growth and antioxidant enzymes to osmotic stress in two different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars seedlings. Plant, Soil and Environment. 58 (12): 534-539.

-X-

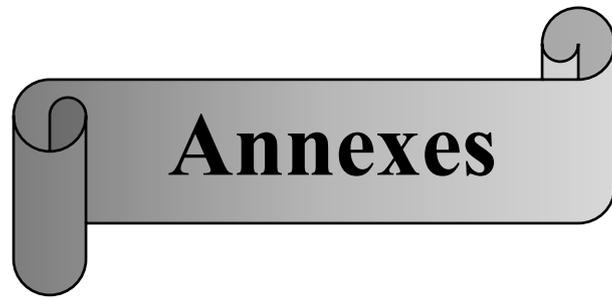
Xiao H., Siddiqua M., Braybrook S., Nassuth A., (2006). Three grape CBF/DREB1 genes respond to low temperature, drought and abscisic acid. Plant Cell of Environment. 29: 1410-1421.

## -Y-

- Yadav S.K., Dhote M., Kumar P., Sharma J., Chakrabarti T., Juwarkar A.A., (2010). Differential antioxidative enzyme responses of *Jatropha curcas* L. to chromium stress. *Journal of Hazardous Materials*. 180 (1-3): 609-615.
- Yin X.L., Jiang L., Song N.H., Yang H., (2008). Toxic reactivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants to herbicide isoproturon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56 (12): 4825-4831.

## -Z-

- Zerafa C., Ghenai A., Benlaribi M., (2017). Comportement Phénologique et Morpho-Physiologique de Quelques Géotypes d'orge et de blé. *European Scientific Journal*. 13: 287-299.
- Zerrad W., Maataoui B.S., Hilali S., El Antri S., Hmyene A., (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*. 9(2): 27-36.
- Zhao W., Sun Y., Kjelgren R., Liu X., (2015). Response of stomatal density and bound gas exchange in leaves of maize to soil water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37: 1704.
- Zhang G., Slaski J. J., Archambault D. J., Taylor G.J., (1997). Alteration of plasma membrane lipids in aluminum-resistant and aluminum-sensitive wheat genotypes in response to aluminum stress. *Physiologia Plantarum*. 99: 302-308.
- Zhang J., Babu R.C., Pantuwan G., Kamoshita A., Blum A., Wade L G., Sarkarung S., O'toole J.C., Negyen H.T., (1999). Molecular dissection of drought tolerance in rice: from physio-morphological traits of field performance in: Proceeding of the paper presented at al. International Workshops in Molecular approaches for the genetic improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environment, CYMMYT, Albatan, Mexico. 21-25.
- Zhishen J., Mengcheng T., Jianming W., (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scanenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry*. 64 (4): 555- 559.
- Zhou Q.X., (2003). Interaction between heavy metals and nitrogen fertilizers applied in soil vegetable systems. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 171: 338-344.
- Ziegler P., (1999). Cereal beta-amylases. *Journal of Cereal Science* .195-204.
- Zielinski H., (2000). Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 2008-2016.
- Ziza F.Z., (2007). L'expérience de l'agriculture de conservation en Algérie. [http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicatioatelier\\_algero-francais\\_le\\_09/04/2013/L'Experience\\_de\\_l'Agriculture\\_de\\_Conservation\\_en\\_Algerie.Pdf](http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicatioatelier_algero-francais_le_09/04/2013/L'Experience_de_l'Agriculture_de_Conservation_en_Algerie.Pdf).
- Zohary D., (1973). Geobotanical foundation of the Middle East: vol.1, custav fisher verlag, stuttgart, Germany.



**Annexes**

## Annexe 01

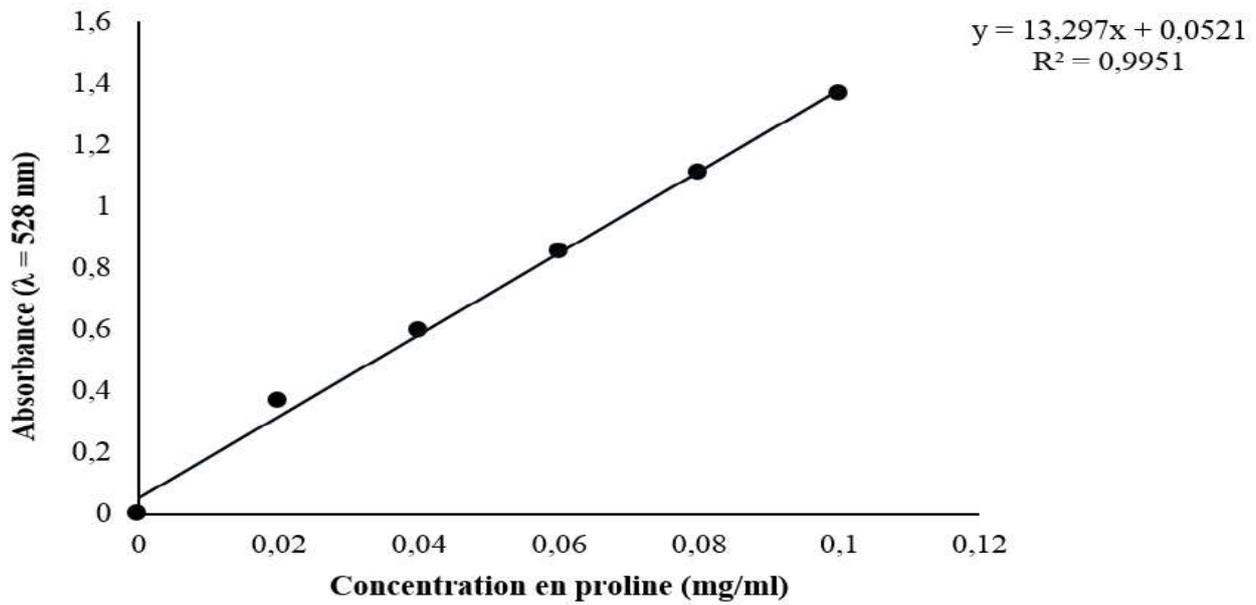


Figure 01. Courbe d'étalonnage pour le dosage de la proline foliaire.

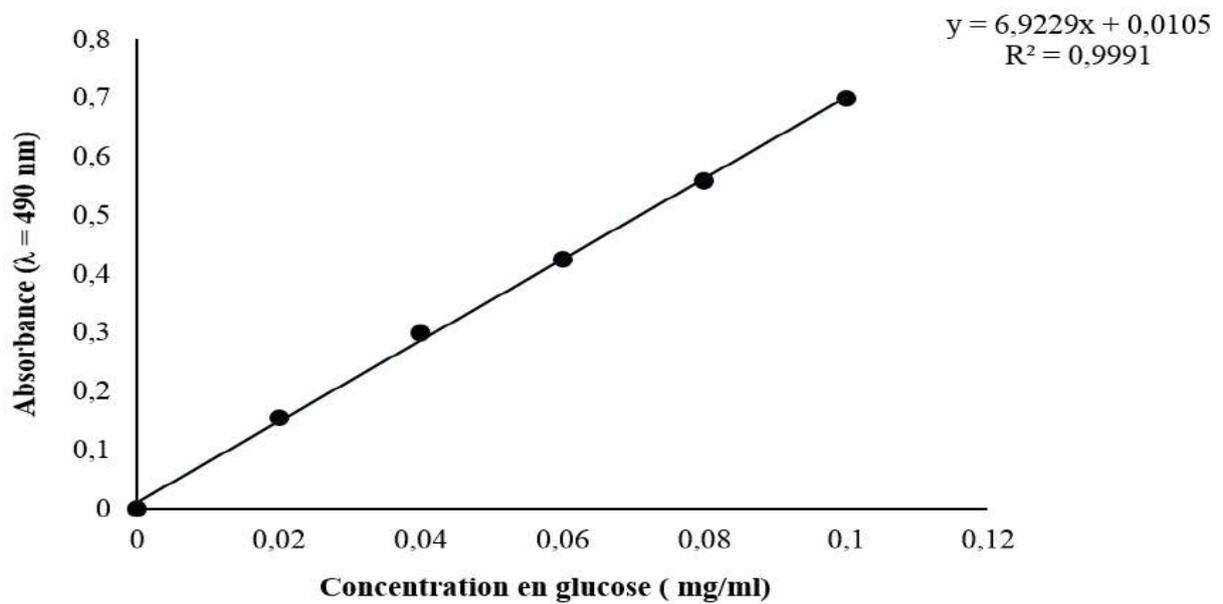


Figure 02. Courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres solubles.

## Annexe 01

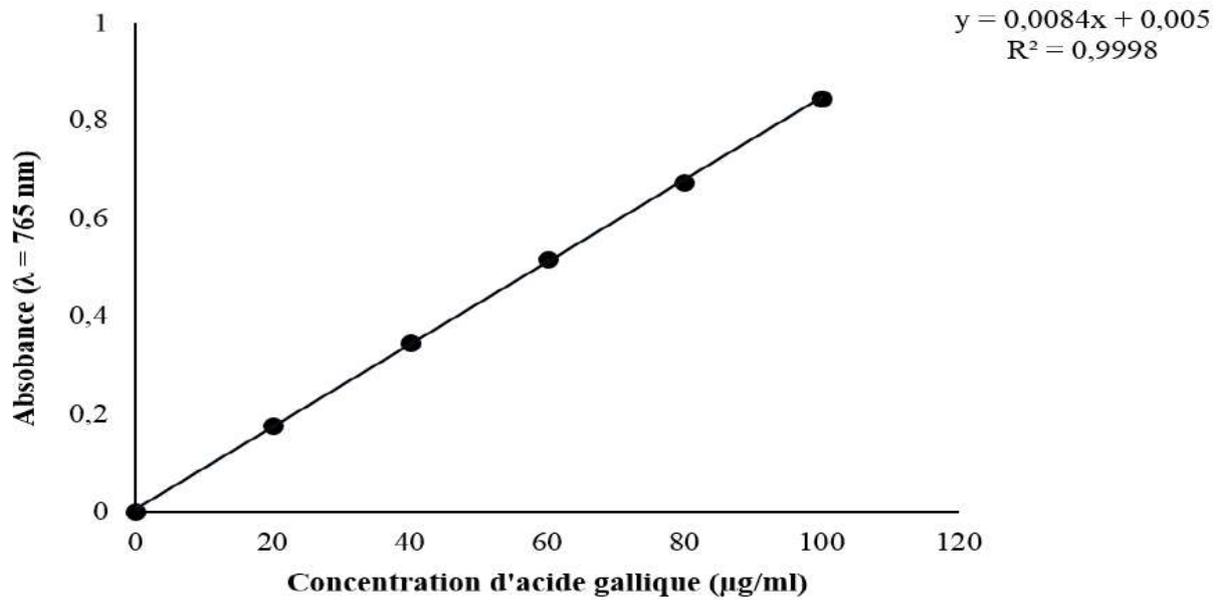


Figure 03. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux.

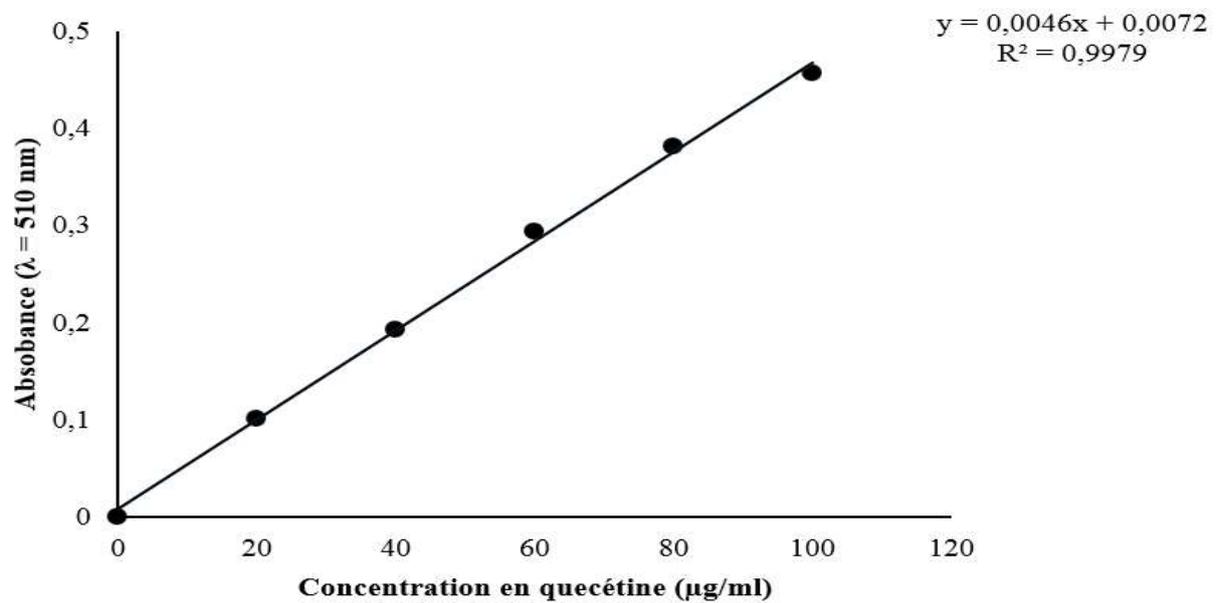


Figure 04. Courbe d'étalonnage de quercétine pour le dosage des flavonoïdes.

## Annexe 01

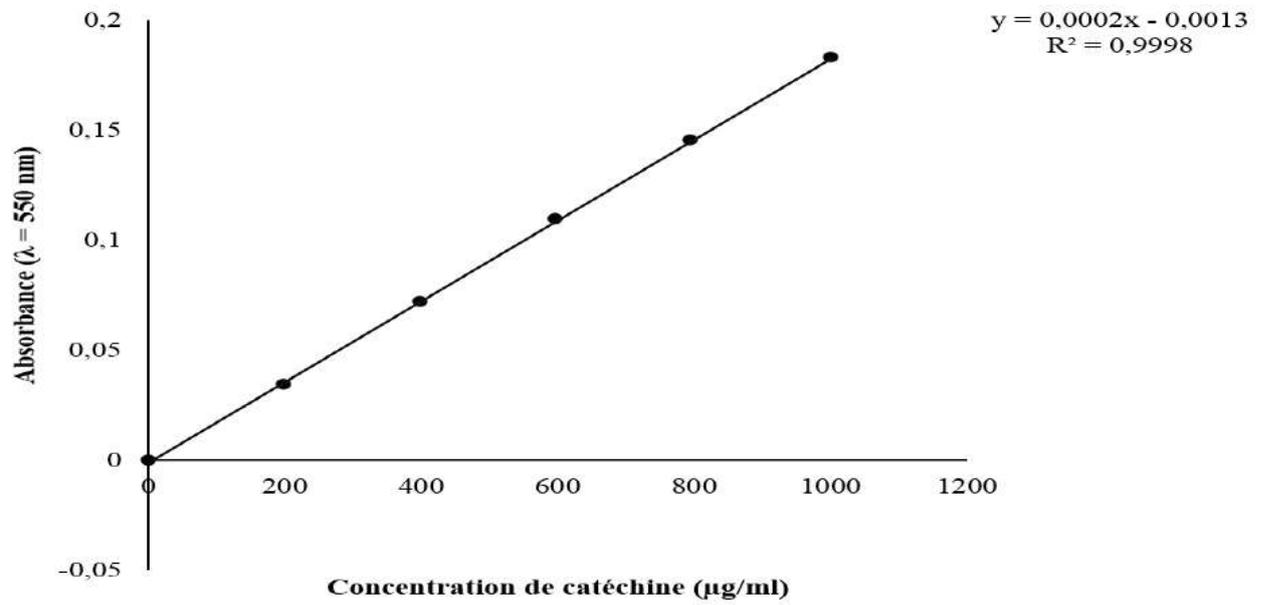


Figure 05. Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des tanins.

**Annexe 01**

Tableau 01. Composition de la solution d'extraction.

Composants	Quantité
Solution stock	2,125 ml
Mercaptophénol	2,5% (0,125ml)
Eau distillée qsp	05 ml

Composition de la solution stock.

Composants	Quantité
Glycérol	05 ml
Sodium Dodocyl Sulfate (SDS)	01 g
Bleu de bromophénol	05 mg
Eau distillée	6,02 ml

Tableau 02. Composition du gel de concentration et de séparation.

Composants	gel de concentration (5%)	gel de séparation (15%)
	(05ml)	(10 ml)
Mélange d'acrylamide 30% (ml)	0,83	5,00
1,5 M Tris pH 8.8 (ml)	/	2,5
1,0 M Tris pH 6.8 (ml)	0,05	/
Sodium Dodocyl Sulfate (SDS) 10 % (ml)	0,05	0,1
Persulfate d'ammonium (APS) à 1% (ml)	0,05	0,1
TEMED (ml)	0,005	0,004
Eau distillée (ml)	3,4	2,3

Tableau 03. Tampon d'électrophorèse (migration).

Composants	Quantité
Glycine	3,03 g
Tris	14,4 g
Sodium Dodocyl Sulfate (SDS) 0,1%	01 g
Eau distillée qsp	1000 ml

Le tampon est conservé à température ambiante.

Tableau 04. Solution de coloration.

Composants	Quantité
Bleu de coomassie	1,5 g
Ethanol	250 ml
Acide acétique	40 ml
Eau distillée qsp	1000 ml

Tableau 05. Solution de décoloration.

Composants	Quantité
Ethanol	250 ml
Acide acétique	20 ml
Eau distillée qsp	1000 ml

Tableau 01. Valeurs moyennes des variables mesurés chez les variétés étudiées (campagne 2017/2018). (n= 3)

	Blé dur			Blé tendre			Orges		
	Bousselem	GTA dur	Vitron	ARZ	Ain abid	Hidhab	Fouara	Barbe rousse	Saida
TRE	69,90±2,16	71,02±4,20	83,04±5,70	90,09±3,12	88,39±1,30	88,89±1,80	75,56±5,40	84,29±2,90	92,80±3,80
Chl a	137,59±5,56	169,94±7,16	132,90±2,23	170,27±4,50	126,49±1,55	163,8±5,50	160,39±5,00	155,79±6,50	158,74±3,30
Chl b	91,83±5,67	92,28±10,09	90,92±3,30	125,77±4,03	122,00±0,67	122,6±3,12	92,85±1,16	86,84±2,45	91,80±1,45
Chl t	229,42±10,50	262,22±19,45	223,82±5,08	296,04±8,53	248,49±0,90	286,4±8,47	250,54±6,81	247,64±8,52	248,64±4,66
Car	50,91±4,87	52,33±3,12	42,12±1,12	58,64±4,90	55,42±6,60	55,88±2,23	39,63±4,40	43,97±1,67	41,88±3,80
Pro	0,36±0,02	0,44±0,07	0,53±0,05	0,19±0,02	0,27±0,02	0,25±0,02	0,93±0,09	1,06±0,02	1,05±0,08
Ss	0,42±0,01	0,49±0,09	0,87±0,03	0,67±0,02	1,09±0,03	0,98±0,10	0,89±0,01	0,98±0,02	0,96±0,01
MDA	1,85±0,01	1,54±0,07	1,81±0,05	1,40±0,30	1,46±0,16	1,56±0,08	1,58±0,12	1,86±0,02	1,74±0,24
SF	36,77±0,37	38,55±0,21	29,14±2,85	24,36±1,68	34,29±3,93	35,23±3,43	16,04±0,75	11,68±0,76	13,54±1,74
HP	86,00±1,32	81,44±0,59	91,77±1,70	94,25±2,63	106,10±1,90	100,10±0,55	95,50±2,02	106,40±1,00	98,60±0,66
TAH	4,50±0,00	5,00±1,00	4,00±1,00	4,30±1,00	3,90±1,00	3,50±1,00	5,00±1,00	4,00±1,00	5,00±1,00
TAE	3,00±0,00	3,20±0,26	3,10±0,17	3,00±0,00	2,20±0,72	2,00±0,00	2,60±0,00	2,40±0,57	2,60±1,00
LE	5,50±1,10	7,00±0,54	6,50±1,6	12,45±1,50	10,65±1,50	13,23±1,00	6,00±1,00	6,80±1,00	7,35±0,30
LC	35,60±1,90	30,33±2,20	23,10±1,22	58,35±0,50	55,00±1,00	55,55±0,50	41,60±0,50	35,00±0,55	35,20±0,55
LB	16,20±1,65	17,50±1,88	14,20±1,00	10,25±0,80	10,20±1,00	10,25±0,50	13,55±1,00	17,54±1,00	13,70±0,50
Nb G/E	42,30±2,07	44,40±1,44	43,40±1,44	55,00±2,00	47,10±1,73	42,90±2,00	53,90±0,57	50,40±1,15	33,80±0,00
Nb E/m <sup>2</sup>	237,00±6,24	265,00±1,73	240,00±2,00	273,00±2,00	211,20±1,58	250,00±6,24	210,60±1,15	189,60±1,52	213,20±3,05
PMG	45,27±0,06	46,45±0,11	45,17±0,22	34,83±0,88	34,09±0,69	34,24±0,94	43,32±1,09	31,69±1,12	51,97±1,10
Polys	228,41±1,27	324,98±2,01	275,21±0,72	313,32±6,35	274,87±8,82	321,26±3,27	330,51±5,67	287,28±5,94	337,90±2,69
Flavs	170,13±3,56	177,29±6,60	173,00±6,89	160,00±5,50	150,00±4,20	170,00±2,20	210,00±4,30	130,00±5,89	240,00±7,01
Tans	44,08±4,50	47,23±5,30	45,47±2,45	50,00±7,78	40,00±8,43	50,00±3,10	60,00±4,65	50,00±3,10	80,00±3,81
% Inh	8,09±3,60	20,22±5,50	13,73±0,40	17,52±10,00	10,76±6,60	18,05±2,30	28,57±1,80	15,36±4,70	34,90±2,00
DEP	123±0,00	121±0,00	119±0,00	123±0,00	130±0,00	123±0,00	113±0,00	116±0,00	113±0,00
Rdt	45,30±0,20	54,60±0,22	47,00±0,14	52,29±2,17	33,82±0,71	36,79±1,48	49,18±1,87	30,28±1,88	37,45±1,28

**TRE** (Teneur relative en eau, %) ; **Chl a** (Chlorophylle a, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Chl b** (Chlorophylle b, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Chl t** (Chlorophylle total, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Car** (Caroténoïdes, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Pro** (Protéine, mg/g MF) ; **Ss** (Sucres solubles, mg/g MF) ; **MDA** (Malondialdéhyde, mmol/g MF) ; **SF** (Surface foliaire, cm<sup>2</sup>) ; **HP** (Hauteur de la plante, cm), **TAH** (Nombre de talles herbacées) ; **TAE** (Nombre de talles épis) ; **LE** (Longueur d'épi, cm) ; **LC** (Longueur col d'épi, cm) ; **LB** (Longueur de barbe, cm) ; **Nb G/E** (Nombre de grains par épi) ; **Nb E/m<sup>2</sup>** ( Nombre épis par mètre carré) ; **PMG** (Pois de mille grains, g) ; **D Ep** (Date d'épaison, jours) ; **Rdt** (Rendement en grains, qx/ha) ; **Polys** (Polypheénols, µg EQ AG/g MS) ; **Flavs** (Flavonoïdes, µg EQ QE/g MS) ; **Tans** (Tannins, µg EQ CV/g MS) ; % **Inh** (Pourcentage d'inhibition, %).

Tableau 02. Valeurs moyennes des variables mesurées chez les variétés étudiées (campagne 2018/2019). (n= 3)

	Blé dur			Blé tendre			Orgé		
	Busselem	GTA dur	Vitron	ARZ	Ain abid	Hidhab	Fouara	Barbe rousse	Saida
TRE	53,84±3,08	67,45±2,00	75,04±5,10	84,38±7,65	83,38±0,73	73,12±3,06	73,13±3,68	59,13±8,23	53,22±6,44
Chl a	85,56±5,14	123,32±3,20	77,34±12,40	166,25±11,11	83,59±9,40	92,52±7,70	96,85±14,11	70,73±8,80	85,38±17,17
Chl b	20,78±3,10	108,04±5,87	38,79±2,12	77,69±6,60	35,68±15,90	39,51±3,30	35,55±3,76	25,65±2,34	31,88±3,65
Chl t	106,34±9,08	231,36±6,11	116,13±22,14	243,94±27,34	119,27±23,46	132,03±10,46	132,4±14,55	96,38±5,52	117,26±11,76
Car	11,14±4,60	50,51±7,60	16,60±3,30	35,48±2,20	20,17±8,10	7,62±3,54	19,08±5,50	25,83±6,10	14,62±4,30
Pro	0,53±0,04	0,87±0,05	1,30±0,06	0,20±0,04	0,56±0,02	0,40±0,04	1,08±0,07	1,50±0,02	1,40±0,03
Ss	0,97±0,06	1,79±0,06	2,72±0,54	0,85±0,12	2,45±0,59	1,91±0,38	1,09±0,01	2,27±0,47	1,64±0,18
MDA	2,05±0,07	2,38±0,23	2,44±0,25	1,66±0,25	2,09±0,06	2,18±0,24	1,82±0,16	2,61±0,27	2,74±0,33
SF	34,72±0,57	31,91±2,34	21,22±0,13	22,50±3,16	32,50±2,14	30,50±0,50	10,54±3,16	7,64±1,34	7,73±0,84
HP	82,56±1,10	80,50±1,00	87,00±1,50	84,20±0,72	104,60±6,61	98,40±6,32	85,50±1,80	106,10±1,65	90,30±1,57
TAH	4,00±0,00	3,33±0,57	3,66±0,57	3,20±0,34	3,10±0,17	2,90±0,17	3,00±0,00	2,50±0,50	3,30±0,60
TAE	3,00±0,00	2,66±0,57	2,66±0,57	2,20±0,34	1,80±0,72	1,70±0,52	2,5±0,00	1,80±0,72	2,00±0,00
LE	5,23±1,00	6,37±1,10	6,17±0,55	10,65±1,00	9,80±0,00	12,45±0,30	4,55±1,00	5,00±1,00	6,55±1,00
LC	33,67±0,00	26,50±0,10	21,67±0,5	22,65±0,50	17,50±0,50	20,85±0,5	24,65±0,55	17,80±0,50	19,70±0,50
LB	14,17±1,10	16,17±0,50	13,33±1,00	4,30±1,00	3,50±1,00	3,90±0,00	9,70±0,00	15,40±0,50	12,70±1,00
Nb G/E	38,66±1,15	41,00±1,00	39,33±1,15	50,00±2,00	42,00±2,00	38,66±1,15	48,66±1,15	45,33±1,15	30,66±1,15
Nb E/m <sup>2</sup>	254,00±1,73	232,00±2,00	237,66±2,51	189,00±3,61	160,00±3,46	204,00±2,00	152,00±3,00	120,66±6,11	156,00±2,00
PMG	43,63±0,38	44,15±0,17	42,03±0,37	32,65±0,32	31,35±0,79	30,75±0,63	40,23±0,12	28,80±0,17	47,76±0,06
Polys	346,00±3,77	349,00±3,15	333,00±6,51	341,04±10,61	286,62±6,59	344,34±8,54	349,45±3,98	342,16±5,94	381,94±3,92
Flavs	232,77±5,66	236,12±7,20	223,35±2,90	240,00±2,22	160,00±4,44	250,00±5,21	250,00±6,32	210,00±4,33	290,00±1,90
Tans	48,74±3,10	50,23±5,50	47,56±8,80	50,00±5,50	40,00±6,61	50,00±3,33	60,00±3,55	40,00±2,22	60,00±4,90
% Inh	38,14±3,10	44,38±2,60	26,63±1,00	27,08±0,50	25,79±1,00	30,23±1,10	41,74±0,40	35,74±2,20	55,06±2,80
DEp	121,00±0,00	118,00±0,00	118,00±0,00	114,00±0,00	122,00±0,00	116,00±0,00	109,00±0,00	113,00±0,00	109,00±0,00
Rdt	42,86±1,74	41,98±0,49	39,30±1,39	30,84±0,73	21,11±1,95	24,27±1,44	29,76±0,94	15,75±0,92	22,84±0,88

**TRE** (Teneur relative en eau, %) ; **Chl a** (Chlorophylle a, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Chl b** (Chlorophylle b, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Chl t** (Chlorophylle total, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Car** (Caroténoïdes, µg.ml<sup>-1</sup>/MF) ; **Pro** (Proline, mg/g MF) ; **Ss** (Sucres solubles, mg/g MF) ; **MDA** (Malondialdéhyde, mmol/g MF) ; **SF** (Surface foliaire, cm<sup>2</sup>) ; **HP** (Hauteur de la plante, cm), **TAH** (Nombre de talles herbacées) ; **TAE** (Nombre de talles épis) ; **LE** (Longueur d'épi, cm) ; **LC** (Longueur col d'épi, cm) ; **LB** (Longueur de barbe, cm) ; **Nb G/E** (Nombre de grains par épi) ; **Nb E/m<sup>2</sup>** ( Nombre épis par mètre carré) ; **PMG** (Pois de mille grains, g) ; **D Ep.** (Date d'épéation, jours) ; **Rdt** (Rendement en grains, qx/ha) ; **Polys** (Polypheénols, µg EQ AG/g MS) ; **Flavs** (Flavonoïdes, µg EQ QE/g MS) ; **Tans** (Tanins, µg EQ C/g MS) ; **% Inh** (Pourcentage d'inhibition, %).

Tableau 03. Matrice des composantes. (Blé dur ; campagne 2017/2018).

	Chlt	Chla	PMG	Nb E/m <sup>2</sup>	MDA	Rdt	TAH	HP	Flavs	LB	Tans	%inh	Chlb	Polys	TAE	Nb GE	SF	DEp.	Pro	LC	Ss	TRE	LE	Car
Axe 1	1,000	1,000	,999	,978	-.973	,960	,917	-.888	,867	,861	,843	,828	,823	,815	,804	,788	,728	,112	-.146	,202	-.472	-.531	,678	,693
Axe 2	-.004	-.023	,042	,209	-.230	,281	-.399	,460	,499	-.508	,538	,561	-.568	,580	,594	,616	-.686	-.994	,989	-.979	,882	,848	,736	-.721

Tableau 04. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable Chlt chez le blé dur (Campagne 2017/2018).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
2363,854	2	1181,927	6,893	,028
19,418	1	19,418	,113	,748
2344,436	1	2344,436	13,672	,010
1028,859	6	171,476		
3392,713	8			

Tableau 05. Matrice des composantes. (Blé dur ; campagne 2018/2019).

	SF	Rdt	Polys	Pro	PMG	Ss	Flavs	HP	% inh	LC	TRE	Tans	MDA	Nb GE	TAH	Chlb	Car	Chlt	Nb E/m <sup>2</sup>	LE	Chla	DEp.	TAE	LB
Axe 1	,997	,993	,955	-.946	,936	-.935	,928	-.905	,887	,873	-.847	,755	-.712	,116	,134	,200	,267	,322	,388	-.465	,537	,604	,604	,637
Axe 2	-.073	-.114	,298	,325	,351	,354	,372	-.426	,461	-.489	,532	,656	,702	,993	-.991	,980	,964	,947	-.922	,885	,844	-.797	-.797	,771

Tableau 06. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable SF chez le blé dur (Campagne 2018/2019).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
304,583	2	152,292	78,227	,000
273,510	1	273,510	140,492	,000
31,073	1	31,073	15,961	,007
11,681	6	1,947		
316,264	8			

Tableau 07. Matrice des composantes. (Blé dur pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

	PMG	MDA	Chla	Rdt	Ss	Nb GE	Flavs	TAH	Pro	TAE	Chlt	SF	LB	Car	DEp	%inh	Chla	Tans	Polys	TRE	LC	HP	LE	Nb E/m <sup>2</sup>
Axe 1	,969	-.934	,921	,895	-.893	,885	-.866	,850	-.847	,838	,797	,768	,739	,736	,668	-.661	,595	-.590	-.588	,225	,475	,027	,319	,451
Axe 2	-.021	,120	,164	-.048	,328	,406	-.352	-.236	,366	-.207	,342	-.578	-.175	,347	-.531	-.401	,484	-.325	-.316	,959	-.773	,659	,570	-.536

Tableau 08. Matrice des composantes. (Blé tendre campagne 2017/2018).

	HP	Ss	Pro	Nb E/m <sup>2</sup>	PMG	LC	Rdt	Chlb	Car	Chlt	TRE	Chla	SF	Tans	LB	DEp.	TAE	%inh	Polys	Flavs	MDA	TAH	LE	Nb G/E	
Axe 1	-.996	-.984	-.981	.973	.971	.960	.959	.959	.954	.914	.906	.890	-.870	.820	.820	-.820	.809	.780	.718	.424	-.450	.573	.615	.706	
Axe 2	-.093	.180	.194	.231	-.238	-.280	-.283	-.285	-.300	.405	-.424	.455	.493	.573	.573	-.573	-.587	.626	.696	.850	.893	-.820	.789	-.708	

Tableau 09. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable HP chez le blé tendre (campagne 2017/2018).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
213,034	2	106,517	12,859	,007
51,334	1	51,334	6,197	,047
161,700	1	161,700	19,520	,004
49,702	6	8,284		
262,736	8			

Tableau 10. Matrice des composantes. (Blé tendre campagne 2018/2019).

	HP	SF	Rdt	Ss	Chla	Chlt	Chlb	Pro	LB	MDA	TAE	LC	Nb G/E	DEp.	PMG	Car	LE	Nb E/m <sup>2</sup>	TRE	% Inh	TAH	Flavs	Polys	Tans	
Axe 1	-.999	-.998	.997	-.995	.989	.988	.986	-.978	.962	-.917	.906	.901	.859	-.849	.847	.756	.043	.416	.349	.010	.573	.620	.659	.697	
Axe 2	-.054	.057	.077	-.097	-.148	-.153	-.164	-.211	.273	.398	-.423	.434	-.512	-.529	-.532	-.655	.999	.909	-.937	1,000	-.820	.784	.752	.717	

Tableau 11. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable HP chez le blé tendre (Campagne 2018/2019).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
656,240	2	328,120	374,281	,000
302,460	1	302,460	345,011	,000
353,780	1	353,780	403,551	,000
5,260	6	,877		
661,500	8			

Tableau 12. Matrice des composantes. (Blé tendre pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

	PMG	Chlb	MDA	Car	Chlt	LC	TAH	LB	Rdt	Ss	TRE	TAE	Nb E/m <sup>2</sup>	Chla	%inh	Pro	Nb G/E	HP	Polys	Tans	DEp.	SF	Flavs	LE	
Axe 1	.992	.977	-.974	.972	.955	.931	.925	.921	.920	-.873	.864	.827	.824	.820	-.814	-.809	.759	-.101	-.221	.189	.535	-.127	-.545	.381	
Axe 2	-.079	-.070	-.004	-.150	.210	-.223	-.176	-.257	.219	-.414	-.281	.218	.225	.491	.544	-.497	.272	-.928	.927	.895	-.833	-.777	.768	.388	

Tableau 13. Matrice des composantes. (Orge campagne 2017/2018).

	HP	Chla	Chlb	LB	DEP	TAH	TAE	Car	MDA	SF	Chlt	Nb E <sub>lm</sub> <sup>2</sup>	Rdt	Polys	Flavs	Ss	%Ind	PMG	Pro	LC	Nb G/E	TRE	LE	Tans
Axe 1	-.100	.995	.995	-.973	-.965	.965	.965	-.961	-.943	.942	.942	.934	.922	.921	.862	-.843	.832	.762	-.757	.728	-.094	-.269	-.363	.558
Axe 2	.014	-.096	.101	-.230	-.262	.262	.262	.276	.334	-.336	-.337	.358	-.386	.390	.507	.539	.555	.647	.654	-.685	-.996	.963	.932	.830

Tableau 14. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable HP chez l'orge (campagne 2017/2018).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
189,260	2	94,630	10,208	,012
14,415	1	14,415	1,555	,259
174,845	1	174,845	18,861	,005
55,620	6	9,270		
244,880	8			

Tableau 15. Matrice des composantes. (Orge campagne 2018/2019).

	HP	DEP	Chlb	Chlt	Chla	Nb E <sub>lm</sub> <sup>2</sup>	MDA	Ss	Rdt	Polys	%Ind	TAH	PMG	Car	TAE	LC	Pro	LB	Flavs	LE	Nb G/E	TRE	Tans	SF
Axe 1	-.999	-.985	.980	.967	.962	.961	.953	-.952	.943	-.940	-.885	.849	.836	-.835	.831	.826	-.801	-.761	-.725	.131	-.172	.395	-.644	.665
Axe 2	-.048	.175	.198	.253	.274	-.276	-.302	-.306	.334	.342	.466	-.528	-.549	.550	.556	.564	-.598	-.649	.688	-.991	.985	.919	.765	.747

Tableau 16. Résultats ANOVA a un facteur pour la variable HP chez l'orge. (Campagne 2018/2019).

Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
189,260	2	94,630	10,208	,012
14,415	1	14,415	1,555	,259
174,845	1	174,845	18,861	,005
55,620	6	9,270		
244,880	8			

Tableau 17. Matrice des composantes. (Orge pour les deux campagnes 2017/2018 et 2018/2019).

	Chlt	Chla	Chlb	LC	Tans	Nb E <sub>lm</sub> <sup>2</sup>	Flavs	SF	TAH	Car	Pro	TRE	MDA	Rdt	TAE	Ss	%Ind	Polys	LE	HP	LB	PMG	D.Ep.	Nb G/E
Axe 1	.993	.991	.988	.980	.947	.943	.941	.928	.918	.906	-.887	.879	-.875	.858	.847	-.845	-.704	-.667	.569	.227	.292	.271	.621	.333
Axe 2	-.010	.035	.045	-.059	.010	-.249	-.055	-.212	-.248	.394	.285	.016	.188	-.385	-.418	.381	-.658	-.661	-.004	.919	.873	-.846	.776	.375

Tableau 18. Matrice des coefficients de corrélations de différentes variables mesurées chez le blé dur pour la campagne 2017/2018.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m²	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	%Inh	
TRE	1,000																								
Chla	-.534	1,000																							
Chlb	-.918	.825	1,000																						
Chlt	-.550	1,000	.836	1,000																					
Car	-.979	.695	.980	.709	1,000																				
Pro	.916	-.201	<b>-.682</b>	-.169	-.815	1,000																			
Ss	.998	-.475	-.889	-.492	-.963	.941	1,000																		
MDA	.322	<b>-.972</b>	<b>-.671</b>	<b>-.968</b>	-.509	-.085	.257	1,000																	
SF	-.967	<b>.731</b>	<b>.989</b>	<b>.743</b>	.999	-.785	-.948	-.551	1,000																
HP	<b>.861</b>	-.889	-.992	-.898	-.947	<b>.585</b>	<b>.825</b>	.758	-.962	1,000															
TAH	-.825	.918	.981	.926	.923	-.529	-.785	-.801	.941	-.998	1,000														
TAE	.077	.802	.325	.791	.128	.470	.145	-.919	.178	-.440	.500	1,000													
LE	.264	.675	.140	.661	-.061	.629	.329	-.828	-.011	-.263	.327	.982	1,000												
LC	-.937	.205	.722	.224	.846	-.998	-.959	.029	.818	-.630	.576	-.420	-.584	1,000											
LB	-.888	.863	.997	.873	.963	-.628	-.854	-.722	.975	-.999	.993	.391	.210	.671	1,000										
NbGE	.104	.785	.299	.773	.101	.494	.172	-.908	.151	-.416	.476	1,000	<b>.987</b>	-.445	.366	1,000									
NbE/m²	-.342	.977	.686	.973	.527	.064	-.277	-1,000	.569	-.772	.813	.911	<b>.816</b>	-.007	<b>.736</b>	.899	1,000								
PMG	-.494	.999	.798	.998	.661	-.104	<b>-.434</b>	-.982	.698	-.867	.899	.829	<b>.708</b>	.160	<b>.839</b>	.813	.986	1,000							
D.Ep.	-.902	.116	.657	.135	.795	-.999	-.929	.119	.763	-.557	.500	-.500	-.655	.996	.602	-.524	-.098	.070	1,000						
Rdt	<b>-.271</b>	.959	.630	.953	.462	.138	-.205	<b>-.999</b>	<b>.506</b>	<b>-.722</b>	<b>.767</b>	<b>.939</b>	<b>.857</b>	-.082	<b>.684</b>	<b>.929</b>	<b>.997</b>	<b>.971</b>	<b>-.172</b>	1,000					
Polys	.059	.812	.341	.801	.146	.455	.127	<b>-.926</b>	.195	-.456	.515	1,000	.978	-.404	.407	.999	.918	.839	-.485	.945	1,000				
Flavs	-.037	.865	.430	.855	.240	.367	.031	<b>-.958</b>	.289	-.540	.595	.994	.954	-.314	.493	.990	.952	.887	-.398	.972	.995	1,000			
Taus	.009	.841	.388	.830	.195	.410	.077	<b>-.944</b>	.244	-.500	.557	.998	.967	-.358	.452	.995	.937	.865	-.440	.960	.999	.999	1,000		
%Inh	.037	.826	.363	.815	.168	.434	.104	-.934	.218	-.476	.535	.999	.974	-.383	.428	.998	.927	.851	-.465	.952	1,000	.997	1,000	1,000	

Tableau 19. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez le blé dur pour la campagne 2018/2019.

	TRE	Chla	Chlb	Chlc	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Tans	%Ish	
TRE	1,000																								
Chla	-.006	1,000																							
Chlb	.352	.934	1,000																						
Chlc	.231	.972	.992	1,000																					
Car	.287	.956	.998	.998	1,000																				
Pro	.974	-.234	-.129	-.003	.061	1,000																			
Ss	.980	-.203	.160	.034	.092	1,000	1,000																		
MDA	.976	.210	.545	.436	.487	.901	.915	1,000																	
SF	-.883	.474	.620	.553	.195	-.967	-.959	-.761	1,000																
HP	.539	-.845	-.599	-.695	-.652	.717	.695	.344	-.871	1,000															
TAH	-.640	-.764	-.944	-.895	-.920	-.448	-.476	-.791	.206	.302	1,000														
TAE	-.936	-.348	-.660	-.560	-.607	-.830	-.847	-.990	.661	-.207	.870	1,000													
LE	.865	.497	.774	.688	.729	.728	.749	.953	-.529	.043	-.939	-.986	1,000												
LC	-.999	.056	-.304	-.182	-.238	-.984	-.989	-.964	.906	-.581	.601	.917	-.838	1,000											
LB	-.129	.992	.883	.935	.913	-.352	-.322	.088	.579	-.905	-.679	-.230	.386	.179	1,000										
NbGE	.430	.900	.996	.978	.988	.213	.243	.615	.043	-.529	-.969	-.721	.825	-.384	.840	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	-.819	-.569	-.825	-.748	-.785	-.666	-.689	-.924	.455	.042	.965	.969	-.996	.789	-.463	-.870	1,000								
PMG	-.606	.799	.532	.634	.588	-.771	-.751	-.420	.908	-.997	-.223	.286	-.124	.645	.867	.458	.040	1,000							
D.Ep.	-.936	-.348	-.660	-.560	-.607	-.830	-.847	-.990	.661	-.207	.870	1,000	-.986	.917	-.230	-.721	.969	.286	1,000						
Rdt	-.902	.437	.087	.212	.155	-.977	-.969	-.787	.999	-.850	.246	.691	-.563	.923	.545	.002	.491	.890	.691	1,000					
Polys	-.588	.812	.550	.651	.606	-.757	-.736	-.400	.899	-.998	-.245	.265	-.103	.628	.878	.477	.018	1,000	.265	.880	1,000				
Flavs	-.650	.764	.483	.589	.542	-.806	-.787	-.470	.930	-.990	-.168	.339	-.180	.687	.838	.407	.096	.998	.339	.914	.997	1,000			
Tans	-.290	.959	.794	.864	.834	-.500	-.473	-.076	.704	-.962	-.550	-.067	.230	.338	.986	.740	-.312	.937	-.067	.675	.944	.916	1,000		
%Ish	-.506	.865	.629	.722	.681	-.689	-.667	-.308	.851	-.999	-.338	.169	-.005	.549	.921	.561	-.080	.993	.169	.829	.995	.984	.972	1,000	

Tableau 20. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez le blé dur pour les deux campagnes.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbG/E	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	% Inh	
TRE	1,000																								
Chla	.330	1,000																							
Chlb	.492	.806	1,000																						
Chlt	.434	.949	.951	1,000																					
Car	.404	.898	.973	.984	1,000																				
Pro	.170	-.657	-.322	-.514	-.460	1,000																			
Ss	.115	-.707	-.344	-.552	-.493	.994	1,000																		
MDA	-.148	-.784	-.318	-.578	-.471	.850	.896	1,000																	
SF	-.427	.681	.503	.542	.515	-.880	-.879	-.714	1,000																
HP	.714	-.121	-.036	-.082	-.113	.035	.025	-.100	-.494	1,000															
TAH	.033	.684	.157	.441	.363	-.697	-.764	-.908	.675	-.053	1,000														
TAE	.062	.639	.142	.409	.286	-.852	-.884	-.973	.665	.160	.850	1,000													
LE	.629	.592	.568	.610	.528	.123	.055	-.272	-.061	-.002	.195	.155	1,000												
LC	-.668	.259	-.034	.117	.148	-.729	-.709	-.444	.839	-.444	.537	.439	-.553	1,000											
LB	-.079	.860	.701	.821	.822	-.545	-.581	-.548	.796	-.577	.579	.381	.397	.491	1,000										
NbG/E	.585	.949	.779	.909	.838	-.562	-.622	-.784	.465	.171	.647	.655	.681	.029	.666	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	-.319	.349	-.238	.056	-.075	-.445	-.487	-.671	.537	-.345	.736	.712	.220	.364	.350	.274	1,000								
PMG	.177	.956	.673	.856	.786	-.841	-.876	-.895	.805	-.090	.751	.803	.407	.426	.796	.893	.458	1,000							
D.Ep.	-.347	.388	.011	.208	.215	-.798	-.809	-.661	.767	-.113	.759	.644	-.434	.907	.442	.260	.403	.545	1,000						
Rdt	.192	.885	.455	.704	.590	-.687	-.747	-.925	.683	-.113	.858	.852	.564	.284	.710	.857	.723	.912	.446	1,000					
Polys	-.432	-.390	-.377	-.404	-.441	.520	.539	.464	-.230	-.581	-.418	-.402	.187	-.305	-.142	-.479	.257	-.432	-.592	-.216	1,000				
Flavs	-.574	-.734	-.491	-.644	-.591	.634	.693	.822	-.382	-.485	-.749	-.741	-.295	-.189	-.388	-.843	-.209	-.753	-.540	-.704	.813	1,000			
Taus	-.498	-.351	-.195	-.287	-.283	.466	.507	.562	-.140	-.676	-.561	-.524	.097	-.213	-.037	-.494	.044	-.400	-.581	-.316	.941	.877	1,000		
% Inh	-.597	-.470	-.274	-.391	-.367	.442	.501	.636	-.144	-.646	-.642	-.575	-.104	-.125	-.129	-.624	-.055	-.482	-.521	-.453	.883	.935	.977	1,000	

Tableau 21. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez le blé tendre pour la campagne 2017/2018.

	TRE	Chla	Chlb	Chl	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	% Inh	
TRE	1,000																								
Chla	.614	1,000																							
Chlb	.989	.724	1,000																						
Chl	.657	.998	.761	1,000																					
Car	.991	.713	1,000	.751	1,000																				
Pro	-.971	-.785	-.996	-.819	-.994	1,000																			
Ss	-.967	-.794	-.994	-.826	-.992	1,000	1,000																		
MDA	-.786	.006	-.685	-.050	-.697	.614	.603	1,000																	
SF	-.997	-.550	-.974	-.596	-.978	.949	.945	.832	1,000																
HP	-.862	-.929	-.928	-.948	-.922	.959	.962	.364	.820	1,000															
TAH	.866	.137	.782	.192	.792	-.721	-.711	-.990	-.902	-.494	1,000														
TAE	.982	.454	.943	.502	.948	-.908	-.902	-.888	-.994	-.751	.945	1,000													
LE	.223	.906	.364	.881	.349	-.450	-.462	.428	-.146	-.686	-.295	.034	1,000												
LC	.988	.727	1,000	.764	1,000	-.996	-.995	-.682	-.973	-.930	.779	.941	.369	1,000											
LB	.500	.991	.623	.981	.610	-.693	-.703	.143	-.431	-.870	0,000	.327	.956	.627	1,000										
NbGE	.940	.307	.879	.359	.886	-.830	-.823	-.950	-.964	-.637	.985	.987	-.124	.876	.174	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	.784	.971	.867	.983	.859	-.910	-.915	-.232	-.733	-.990	.368	.652	.780	.870	.930	1,000									
PMG	.981	.757	.999	.792	.998	-.999	-.998	-.649	-.962	-.945	.751	.926	.409	.999	.660	.855	.890	1,000							
D.Ep.	-.500	-.991	-.623	-.981	-.610	.693	.703	-.143	.431	.870	0,000	-.327	-.956	-.627	-1,000	-.174	-.930	-.660	1,000						
Rdt	.989	.725	1,000	.762	1,000	-.996	-.994	-.684	-.974	-.978	.781	.943	.366	1,000	.624	.878	.868	.999	-.624	1,000					
Polys	.355	.956	.490	.938	.475	-.569	-.580	-.299	-.281	-.779	-.160	.172	.990	.494	.987	.014	.859	.531	-.987	.491	1,000				
Flavs	0,000	.789	.148	.754	.132	-.240	-.253	-.388	.078	-.506	-.500	-.189	.975	.153	.866	-.342	.621	.196	-.866	.150	.935	1,000			
Taus	.500	.991	.623	.981	.610	-.693	-.703	-.147	-.431	-.870	0,000	.327	.956	.627	1,000	.174	.930	.660	-1,000	.624	.987	.866	1,000		
% Inh	.441	.979	.569	.967	.556	-.644	-.654	.208	-.370	-.835	-.066	.264	.973	.574	.998	.108	.903	.609	-.998	.571	.996	.897	.998	1,000	

Tableau 22. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez le blé tendre pour la campagne 2018/2019.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Tans	%Inh	
TRE	1,000																								
Chla	.484	1,000																							
Chlb	.498	1,000	1,000																						
Chlt	.489	1,000	1,000	1,000																					
Car	.877	.845	.853	.847	1,000																				
Pro	-.144	.936	.930	.934	-.601	1,000																			
Ss	-.257	.970	.966	.969	-.689	.993	1,000																		
MDA	-.694	.966	.970	.967	-.954	.813	.874	1,000																	
SF	-.402	.996	.994	.995	-.792	.964	.988	.938	1,000																
HP	-.298	.980	.976	.978	-.720	.987	.999	.894	.994	1,000															
TAH	.968	.688	.699	.692	.970	-.387	-.491	-.852	-.619	-.528	1,000														
TAE	.713	.959	.963	.960	.962	-.796	-.861	-1,000	-.929	-.882	.866	1,000													
LE	-.921	-.105	-.121	-.111	-.621	-.253	-.139	.359	.014	-.097	-.794	-.384	1,000												
LC	-.092	.827	.818	.824	.397	-.972	-.939	-.654	-.875	-.923	.161	.633	.472	1,000											
LB	.080	.911	.904	.909	.549	-.998	-.984	-.774	-.945	-.975	.327	.756	.314	.985	1,000										
NbGE	.780	.925	.931	.927	.985	-.732	-.805	-.992	-.887	-.830	.912	.995	-.475	.552	.686	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	-.707	.277	.261	.271	-.281	-.598	-.502	-.019	-.363	-.464	-.507	-.008	.927	.769	.648	-.109	1,000								
PMG	.794	.916	.922	.918	.988	-.715	-.791	-.989	-.876	-.817	.921	.992	-.495	.532	.669	1,000	1,000								
D.Ep.	.199	-.761	-.750	-.757	-.295	.941	.896	.568	.817	.876	-.052	-.545	-.565	-.994	-.961	-.458	-.834	-.437	1,000						
Rdt	.276	.975	.971	.973	.704	-.991	-1,000	-.884	-.991	-1,000	.508	.871	.120	.932	.980	.817	.484	.803	-.886	1,000					
Polys	-.474	.541	.527	.536	.006	-.803	-.729	-.305	-.615	-.699	-.239	.279	.780	.920	.839	.181	.958	.158	-.957	.715	1,000				
Flavs	-.518	.497	.483	.493	-.044	-.772	-.693	-.257	-.575	-.662	-.288	.230	.810	.899	.811	.131	.971	.108	-.941	.679	.999	1,000			
Tans	-.429	.583	.570	.578	.057	-.832	-.763	-.353	-.655	-.734	-.189	.327	.747	.939	.866	.231	.942	.208	-.971	.750	.999	.995	1,000		
%Inh	-.934	-.138	-.154	-.144	-.647	-.220	-.106	.389	.047	-.064	-.814	-.415	.999	.442	.282	-.504	.914	-.524	-.537	.087	.758	.790	.724	1,000	

Tableau 23. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez le blé tendre pour les deux campagnes.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	%Inh	
TRE	1,000																								
Chla	.671	1,000																							
Chlb	.840	.784	1,000																						
Chlt	.804	.940	.949	1,000																					
Car	.938	.776	.976	.932	1,000																				
Pro	-.531	-.925	-.801	-.911	-.730	1,000																			
Ss	-.636	-.946	-.860	-.954	-.809	.991	1,000																		
MDA	-.887	-.841	-.963	-.957	-.972	.840	.900	1,000																	
SF	.017	-.456	.032	-.214	.020	.446	.405	.167	1,000																
HP	.054	-.599	-.010	-.309	.008	.562	.502	.168	.885	1,000															
TAH	.808	.595	.862	.777	.875	-.613	-.690	-.872	-.132	.071	1,000														
TAE	.670	.709	.695	.743	.716	-.689	-.739	-.783	-.557	-.339	.890	1,000													
LE	.007	.424	.415	.444	.271	-.445	-.422	-.225	.075	-.110	.220	.201	1,000												
LC	.774	.619	.958	.842	.922	-.647	-.714	-.864	.201	.213	.879	.646	.499	1,000											
LB	.781	.604	.958	.835	.924	-.631	-.700	-.861	.243	.241	.862	.610	.480	.998	1,000										
NbGE	.685	.743	.629	.723	.680	-.713	-.756	-.787	-.671	-.487	.786	.946	-.032	.498	.469	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	.502	.697	.799	.794	.715	-.708	-.736	-.692	-.100	-.112	.746	.702	.808	.848	.822	.495	1,000								
PMG	.907	.801	.983	.948	.993	-.764	-.838	-.973	-.040	-.036	.904	.773	.348	.938	.934	.713	.787	1,000							
D.Ep.	.639	-.003	.590	.324	.627	-.038	-.132	-.510	.598	.750	.655	.257	-.074	.708	.730	.156	.285	.587	1,000						
Rdt	.689	.791	.837	.863	.814	-.772	-.821	-.837	-.353	-.249	.902	.932	.508	.823	.792	.808	.907	.877	.317	1,000					
Polys	-.516	.269	-.238	.005	-.353	-.291	-.190	-.245	-.512	-.747	-.422	-.097	.512	-.331	-.356	-.091	.143	-.286	-.876	-.010	1,000				
Flavs	-.770	-.087	-.536	-.340	-.647	-.037	.088	-.500	-.448	-.630	-.671	-.374	.122	-.641	-.654	-.281	-.285	-.609	-.895	-.391	.865	1,000			
Taus	-.165	.573	.153	.375	.039	-.560	-.494	-.117	-.512	-.719	-.024	.251	.753	.081	.048	.181	.546	.123	-.632	.402	.901	.581	1,000		
%Inh	-.817	-.396	-.863	-.677	-.875	.450	.533	.815	-.352	-.426	-.828	-.503	-.088	-.892	-.907	-.439	-.523	-.847	-.907	-.588	.673	.793	.348	1,000	

Tableau 24. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez l'orge pour la campagne 2017/2018.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Poys	Flavs	Taus	%Inh	
TRE	1,000																								
Chla	-.361	1,000																							
Chlb	-.171	.981	1,000																						
Chlt	-.578	.970	.903	1,000																					
Car	.525	-.983	-.928	-.998	1,000																				
Pro	.833	-.816	-.687	-.933	.908	1,000																			
Ss	.746	-.891	-.784	-.975	.959	.990	1,000																		
MDA	.576	-.970	-.904	-1,000	.998	.932	.974	1,000																	
SF	-.577	.970	.903	1,000	-.998	-.932	-.975	-1,000	1,000																
HP	.283	-.997	-.993	-.946	.965	.766	.850	.947	-.947	1,000															
TAH	-.007	.935	.987	.820	-.855	-.559	-.672	-.822	.821	-.961	1,000														
TAE	-.007	.935	.987	.820	-.855	-.559	-.672	-.822	.821	-.961	1,000	1,000													
LE	.995	-.451	-.268	-.656	.606	.884	.808	.654	-.655	.377	-.106	-.106	1,000												
LC	-.856	.791	.655	.916	-.889	-.999	-.983	-.915	.916	-.738	.523	.523	-.903	1,000											
LB	.041	-.946	-.991	-.839	.872	.586	.696	.840	-.839	.970	-.999	-.999	.139	-.551	1,000										
NbGE	-.933	.002	-.194	.246	-.184	-.580	-.457	-.244	.246	.080	-.352	-.352	-.893	.614	.321	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	.093	.895	.965	.759	-.799	-.473	-.594	-.761	.759	-.929	.995	.995	-.006	.435	-.991	-.444	1,000								
PMG	.418	.697	.824	.500	-.554	-.154	-.294	-.503	.501	-.753	.905	.905	.326	.112	-.891	-.716	.943	1,000							
D.Ep.	.007	-.935	-.987	-.820	.855	.559	.672	.822	-.821	.961	-1,000	-1,000	.106	-.523	.999	.352	-.995	-.905	1,000						
Rdt	-.620	.955	.879	.999	-.993	-.950	-.985	-.998	.999	-.928	.789	.789	-.695	.936	-.809	.298	.723	.453	-.789	1,000					
Poys	.128	.879	.955	.735	-.777	-.441	-.566	-.737	.736	-.915	.991	.991	.029	.403	-.986	-.475	.999	.954	-.991	.698	1,000				
Flavs	.257	.809	.908	.640	-.688	-.320	-.453	-.643	.641	-.854	.965	.965	.160	.280	-.955	-.587	.986	.985	-.965	.599	.991	1,000			
Taus	.649	.475	.639	.246	-.307	.121	-.023	-.249	.246	-.546	.756	.756	.571	-.163	-.734	-.879	.818	.962	-.756	.194	.837	.902	1,000		
%Inh	.311	.774	.883	.596	-.646	-.266	-.402	-.598	.597	-.824	.948	.948	.215	.225	-.937	-.631	.975	.993	-.948	.552	.982	.998	.925	1,000	

Tableau25. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez l'orge pour la campagne 2018/2019.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbG/E	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	D.Ep.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	%Inh	
TRE	1,000																								
Chla	,632	1,000																							
Chlb	,569	,997	1,000																						
Chlt	,615	1,000	,998	1,000																					
Car	,175	-,653	-,710	-,669	1,000																				
Pro	-,866	-,935	-,904	-,927	,340	1,000																			
Ss	-,659	-,999	-,993	-,998	,625	,947	1,000																		
MDA	-,987	-,749	-,695	-,734	-,014	,936	,772	1,000																	
SF	,949	,844	,799	,832	-,144	-,980	-,863	-,988	1,000																
HP	-,439	-,974	-,989	-,979	,808	,829	,965	,579	-,700	1,000															
TAH	-,149	,672	,728	,688	-1,000	-,365	-,645	-,012	,170	-,823	1,000														
TAE	,840	,951	,925	,945	-,388	-,999	-,962	-,916	,968	-,857	,412	1,000													
LE	-,859	-,145	-,068	-,124	-,655	,488	,181	,765	-,654	-,083	,635	-,443	1,000												
LC	,845	,949	,921	,942	-,380	-,999	-,960	-,920	,970	-,852	,403	1,000	-,451	1,000											
LB	-,706	-,995	-,984	-,993	,573	,966	,998	,811	-,893	,946	-,594	-,978	,244	-,976	1,000										
NbG/E	,837	,104	,027	,083	,685	-,451	-,140	-,737	,622	,124	-,666	,405	-,999	,414	-,204	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	,127	,849	,887	,860	-,955	-,605	-,829	-,285	,433	-,947	,962	,645	,400	,638	-,792	-,437	1,000								
PMG	-,174	,653	,710	,670	-1,000	-,341	-,625	,013	,145	-,808	1,000	,389	,654	,380	-,574	-,685	,955	1,000							
D.Ep.	-,228	-,899	-,930	-,908	,919	,684	,882	,383	-,523	,975	-,929	-,721	-,303	-,714	,850	,342	-,995	-,919	1,000						
Rdt	,679	,998	,990	,996	-,604	-,955	-1,000	-,789	,876	-,958	,624	,969	-,208	,967	-,999	,167	,814	,604	-,870	1,000					
Polys	-,600	,241	,316	,262	-,892	,120	-,205	-,333	-,318	-,455	,880	-,070	,925	-,079	-,142	-,940	,717	,892	-,642	,179	1,000				
Flavs	-,289	,559	,622	,577	-,993	-,228	-,529	-,131	,027	-,733	,990	,277	,739	,269	-,473	-,766	,913	,993	-,866	,506	,939	1,000			
Taus	,228	,899	,930	,908	-,919	-,684	-,882	-,383	,523	-,975	,929	,721	,303	,714	-,850	-,342	,995	,919	-1,000	,870	,642	,866	1,000		
%Inh	-,486	,370	,441	,390	-,945	-,015	-,336	,339	-,186	-,571	,937	,066	,865	,057	-,275	-,885	,805	,945	-,740	,311	,991	,977	,740	1,000	

Tableau 26. Matrice des coefficients de corrélations des différentes variables mesurées chez l'orge pour les deux campagnes.

	TRE	Chla	Chlb	Chlt	Car	Pro	Ss	MDA	SF	HP	TAH	TAE	LE	LC	LB	NbGE	NbE/m <sup>2</sup>	PMG	DEp.	Rdt	Polys	Flavs	Taus	% Inh	
TRE	1,000																								
Chla	.856	1,000																							
Chlb	.838	.994	1,000																						
Chlt	.851	.999	.997	1,000																					
Car	.827	.892	.921	.911	1,000																				
Pro	-.796	-.867	-.819	-.843	-.646	1,000																			
Ss	-.780	-.850	-.790	-.825	-.566	.963	1,000																		
MDA	-.849	-.830	-.792	-.810	-.691	.971	.890	1,000																	
SF	.742	.901	.893	.887	.752	.918	.827	.910	1,000																
HP	.222	.223	.298	.271	.615	.172	.262	.075	-.004	1,000															
TAH	.728	.931	.938	.924	.762	-.783	-.778	-.727	.903	.062	1,000														
TAE	.825	.825	.773	.797	.577	-.976	-.965	-.955	.881	-.274	.781	1,000													
LE	.478	.645	.668	.659	.564	-.265	-.403	-.159	.345	.298	.699	.288	1,000												
LC	.782	.972	.965	.967	.848	-.909	-.850	-.878	.966	.143	.919	.847	.490	1,000											
LB	.197	.320	.383	.367	.625	.103	.136	.081	.027	.945	.151	-.229	.464	.227	1,000										
NbGE	.202	.269	.252	.268	.358	-.462	-.269	-.531	.422	.194	.043	.305	-.471	.416	.162	1,000									
NbE/m <sup>2</sup>	.780	.961	.952	.952	.764	-.843	-.862	-.773	.896	.028	.985	.838	.707	.935	.144	.074	1,000								
PMG	.228	.307	.287	.278	-.035	-.320	-.448	-.213	.356	-.583	.575	.461	.502	.273	-.509	-.609	.552	1,000							
DEp.	.557	.614	.662	.651	.882	-.291	-.198	-.357	.401	.889	.407	.171	.423	.555	.892	.413	.411	-.439	1,000						
Rdt	.623	.842	.824	.821	.607	-.907	-.845	-.856	.974	-.192	.893	.877	.330	.925	-.120	.352	.887	.480	.221	1,000					
Polys	-.665	-.648	-.650	-.669	-.826	.516	.431	.576	-.466	-.662	-.347	-.393	-.225	-.612	-.685	-.640	-.413	.500	-.895	-.301	1,000				
Flavs	.810	.936	.959	.938	.878	-.742	-.696	-.741	.892	.266	.965	.734	.667	.913	.292	.110	.938	.422	.575	.824	-.484	1,000			
Taus	.857	.948	.968	.953	.909	-.727	-.701	-.728	.847	.327	.943	.722	.719	.896	.360	.081	.932	.383	.631	.763	-.549	.990	1,000		
% Inh	-.656	-.678	-.690	-.700	-.866	.534	.420	.602	-.539	-.684	-.406	-.403	-.215	-.665	-.691	-.679	-.449	.484	-.919	-.373	.988	-.548	-.595	1,000	

**Annexe 03**

Tableau 27. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Blé dur 2017/2018.

	Bousselem	GTA dur	Vitron
Bousselem	0		
GTA dur	0,5500	0	
Vitron	0,5263	0,6818	0

Tableau 28. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Blé dur 2018/2019.

	Bousselem	GTA dur	Vitron
Bousselem	0		
GTA dur	0,2143	0	
Vitron	0,4286	0,4375	0

Tableau 29. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Blé tendre 2017/2018.

	ARZ	Ain abid	Hidhab
ARZ	0		
Ain abid	0,5714	0	
Hidhab	0,7647	0,7333	0

Tableau 30. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Blé tendre 2018/2019.

	ARZ	Ain abid	Hidhab
ARZ	0		
Ain abid	0,3571	0	
Hidhab	0,3077	0,2143	0

Tableau 31. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Orge 2017/2018.

	Fouara	Barbe rousse	Saida
Fouara	0		
Barbe rousse	0,6875	0	
Saida	0,7500	0,5385	0

Tableau 32. Matrice de proximité (coefficient de Jaccard). Orge 2018/2019.

	Fouara	Barbe rousse	Saida
Fouara	0		
Barbe rousse	0,4286	0	
Saida	0,6875	0,4167	0



**Articles**  
**et**  
**Communications Scientifiques**

## Article internationales

1. **Boudersa N**, Chaib G, Atoui A, Cherfia R, Bouderbane H, Boudour L. 2021. Assessment of biological and agronomic diversity of seven durum wheat varieties cultivated in the Northeastern region of Algeria. *Biodiversitas*. 22: 1025-1036.
2. **Boudersa N**, Chaib G, Cherfia R, Atoui A, Boudour L. 2021 .Biological and agronomic characterization of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivated in the region of Constantine, Algeria. *South Asian J Exp Biol*. 11 (5): 572-582.

## Communications Internationales

1. **BOUDERSA Nabil**, CHAIB Ghania, le 26-27 Novembre 2019. Etude du comportement variétal des trois espèces céréalière, Blé dur (*Triticum durum* Desf.), Blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) vis-à-vis les conditions climatiques naturelles. Congrès International sur la Valorisation des Bioressources : Application et Impact sur le Développement (CIVBAIDD). Université M'hamed Bougara- Boumerdes. <https://www.univ-boumerdes.dz/CIVBAIDD%202019>.
2. **BOUDERSA Nabil**, CHAIB Ghania, le 09-10 Mars 2020. Etude du comportement variétal chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivée au champ. International Conference on Biodiversity in Service of Biotechnologies. (icbio). Université Abdelhafid Boussouf – Mila. <https://icbio2019.sciencesconf.org/>
3. **BOUDERSA Nabil**, CHAIB Ghania, le 28-29 Avril 2021. Etude de la diversité morpho-physiologique et agronomique de sept variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems: (In support of sustainable development). Université Mohamed Boudiaf – M'sila.
4. Chaib Ghania, **Boudersa Nabil**, Bouchibi Baaziz Nacera and Boudour Leila (2020). Study of the varietal behavior of cereals for human consumption: wheat (*Triticum* sp) and barley (*Hordum vulgare*) cultivated in greenhouse. **Online International Conference on Life Sciences (Biomedical, Nutrition and Agricultural Approach) ICLS20, 19-20 Decembre 2020, ISBN: 978-600-98459-6-5.**

## Communications Nationales

1. **BOUDERSA Nabil**, CHAIB Ghania, le 30-31 Octobre 2019. Etude du comportement variétal chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivé au champ. Séminaire National de Biodiversité, Biologie Médicale et Eco-toxicologie (SNBBMEE). Université 20Aout 1955- Skikda. <fs.univ-skikda.dz/documents/Snbsee-2019.pdf>.
2. **BOUDERSA Nabil**, CHAIB Ghania, le 18-19 Novembre 2019. Contribution à l'étude phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante d'extrait méthanolique des feuilles des trois espèces céréalières. Séminaire national des molécules bioactives intitulé : valorisation des plantes médicinales pour lutter contre les dommages cellulaires (SNMB). Université de Larbi ben m'hidi OEB- <http://www.univ-oeb.dz/wp-content/uploads/2019/08/BROCHURE-Fran%C3%A7ais-final.pdf>.

# Assessment of biological and agronomic diversity of seven durum wheat varieties cultivated in the Northeastern region of Algeria

NABIL BOUDERSA<sup>1,\*</sup>, GHANIA CHAIB<sup>1</sup>, AICHA ATOUT<sup>1</sup>, RADIA CHERFIA<sup>2</sup>, HANANE BOUDERBANE<sup>1</sup>,  
LEILA BOUDOUR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of the Development and Valorization of Plant Genetic Resources, Department of Biology and Plant Ecology, Frères Mentouri University. Constantine1, Route de Ain El Bey, Constantine 25017, Algeria. Tel. +213-671977482, \*email: nabil.boudersa@student.umc.edu.dz

<sup>2</sup>Laboratory of Mycology, Biotechnology and Microbial Activity, Department of Applied Biology, Faculty of Nature and Life Sciences, Frères Mentouri University. Constantine1, BP, 325 Route de Ain El Bey, Constantine 25017, Algeria

Manuscript received: 30 November 2020. Revision accepted: 25 January 2021.

**Abstract.** Boudersa N, Chaib G, Atoui A, Cherfia R, Bouderbane H, Boudour L. 2021. Assessment of biological and agronomic diversity of seven durum wheat varieties cultivated in the Northeastern region of Algeria. *Biodiversitas* 22: 1025-1036. The present work was carried out during the 2017/2018 agricultural season, at the experimental station of the 'Institut Technique des Grandes Cultures' (ITGC) – El Khroub, Constantine, Algeria. The main objective of this study was the evaluation and the characterization of seven varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in terms of their behavior and yield. For these reasons, several phenological, morpho-physiological, and biochemical traits, as well as the yield with its components were studied. The obtained results showed a significant variety effect, in particular, for the variables corresponding to the production and to the tolerance. The analysis of the correlation coefficients indicated that the number of spikes per m<sup>2</sup>, the number of grains spike<sup>-1</sup>, and the rate of chlorophyll pigments in the leaves were the most related characteristics to grain yield. Indirect selection for breeding productivity through these traits could prove to be effective. Besides, it revealed that tall varieties displayed better resistance to possible hazards; had high relative water content (RWC), accumulated more soluble sugars and proline, as well as, they showed a low level of Malondialdehyde (MDA) compared to other varieties. In addition, this study allowed us to determine many relationships between the studied parameters, that can make a contribution in both the productivity and the adaptation improvement programs of the durum wheat.

**Keywords:** Characterization, correlation, diversity, productivity and adaptability, *Triticum durum*

## INTRODUCTION

*Triticum durum* Desf. is one of the most essential cereals that are cultivated worldwide on almost 17 million hectares (ha), with a global production of 38.1 million tonnes in 2019 (Xynias et al. 2020). In Algeria, durum wheat is the first cultivated cereal; it occupies 45% of the area designated for cereals, or 1.6 Mha (ONFA 2017). However, its production is still insignificant, it covers only 20 to 25% of the needs of an increasingly growing population, and the rest being imported (Chehili et al. 2017). This low production is often explained by the fact that the majority of the area sown to durum wheat is located on the high plains, where the rainfall and the temperatures are subjected to large intra and inter-annual variations, often combined with frequent spring frosts and the appearance of sirocco at the grain filling stage; which seriously affect the yields (Benniou et al. 2018). Indeed, this situation can only be unblocked by a real and an effective increase in yields through the application of better management of both adapted technical pathways (soil preparation, date and dose of sowing, irrigation, fertilization, weed control, and disease control), and genetic improvement allowing to create adapted varieties to environmental conditions of cultivation.

The goal of genetic improvement in wheat has always been to increase productivity. Whereby, the success of this

strategy is linked to the existence of favorable environmental conditions, which allow the expression of the different factors of the yield (Ghennai et al. 2017). For this reason, the study and the characterization of genetic resources to create new varieties with good quality, high yield, adapted to climatic variations, and resistance to diseases are essential (Amallah et al. 2016). Besides, these steps also make it possible to estimate the existing diversity in the studied material, and they are considered as a starting point for their use in breeding programs (Khennaoui 2018). Thus, this research requires studying, identifying, and verifying the phenological, morpho-physiological, and biochemical characteristics related to the yield. Therefore, a good understanding of all of these aspects during the life cycle of the plant and a well comprehension of the main links between the grain yield and these components can be useful in the identification and the selection of the interest traits. Indeed, several agricultural studies have confirmed that this information is used to guide the selection process in order to improve the characteristics capable of obtaining better performance (Aghae et al. 2010; Zarkti et al. 2012; Sahri et al. 2014).

The current study had two main objectives: (i) Evaluation of the variability of seven varieties of durum wheat, using measurements of agro-morpho-physiological and biochemical characters. (ii) Analyzing and highlighting the different links recorded between the studied parameters

in order to improve our knowledge about the extraction of the most discriminating and important traits that may be useful for the classification and the characterization of durum wheat varieties. This study, also, allowed us to identify the most interesting and relevant varieties that would largely be behind the choice of adapted genotypes to the unfortunate conditions.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant material

This study has focused on seven varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) mostly cultivated in the region of northeastern Algeria. The grains were supplied by the 'Institut Technique des Grandes Cultures' (ITGC) of Constantine, Algeria. The name, the pedigree, and the origin of the varieties are shown in Table 1.

### Location of the experiment

The experiment was conducted on the ITGC site of El Khroub, Constantine, Algeria at an altitude of 640 m, a latitude of 36.25° North and a longitude of 6.67° East (Figure 1). The site soil has a slimy-clayey texture, with a dry condition, a depth of 120 cm, and a flat topography. The bioclimatic stage of the site is semi-arid, characterized by a Mediterranean climate and an average annual rainfall of 450 mm over 25 years.

### Physicochemical characteristics of the soil in the experimental area

Soil analysis was regularly carried out by the ITGC laboratory. The results are shown in Table 2.

### Test setting up

The test was carried out during the 2017/2018 agricultural campaign. The sowing was carried out on

January 03<sup>rd</sup>, 2018. A manual sowing was carried out at a regular depth of  $4 \pm 1$  cm by distributing the grains in a regular manner along parallels lines.

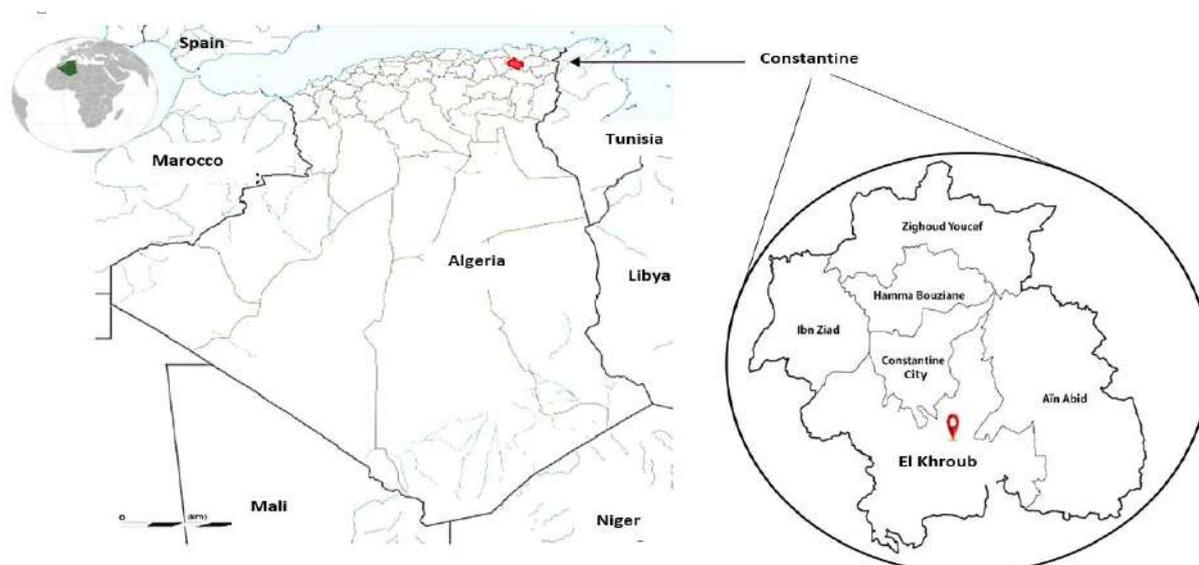
The adopted experimental device is a simple device, which consists in distributing the plots CÔTE to CÔTE. Each five meters long by 1.2 meters wide and comprising six lines 20 cm apart from each other; i.e. an area of 6 m<sup>2</sup>, the distance between plots is 50 cm. Each elementary plot receives a unique treatment at a density of 250 seeds/m<sup>2</sup> (Table 3).

### Climatic characteristics of the experimental site

The observed characteristics in the region are notably the rainfall and the temperature (Table 4). These two factors have an important effect on the development of cereals. According to Table 4, the cumulative rainfall was generally good with an annual cumulative rainfall of 550 mm. This year was characterized by fairly rainy autumn which allows adequate preparation of the seedbeds. The winter period was marked by relatively average rainfall, which allowed a good start to the crop. The spring was fairly well moist with a suitable beneficial distribution for the development and the formation of crop yield components. Temperatures were mild during this campaign.

**Table 1.** Name, pedigree, and origin of the used varieties

Variety	Pedigree	Origin
Waha	Plc/Ruff//Gta's/3/Rolette CM 17904	Syria, Algeria
Cirta	KB214-0KB-20KB-OKB-OKB-1KB-0KB	Algeria
Wahbi	KB86022-1KB0KB-2KB-2KB0KB	Algeria
Bousselem	Heider/Martes/Huevos d'Oro. ICD-414	Algeria
Semito	Capeiti8/Valvona	Italy
GTA dur	Crane/4/PolonicumPII85309//T.glutin en/2* Tc60/3/Gil	Mexico, Algeria
Vitron	Turkey77/3/Jori/Anhinga/Flamingo	Spain



**Figure 1.** Geographical location of the study area

**Table 2.** Physicochemical characteristics of the soil

Depth (cm)	0-30	30-60	60-90
Clay (%)	55	44	60
Fine silt (%)	29	3	6
Coarse silt (%)	3	3	4
Fine sand (%)	11	11	18
Coarse sand (%)	3	3	13
Organic matter (%)	1.49	1.45	1.37
pH	7.6	7.6	7.9
Electrical conductivity (mS/cm)	0.5	1.7	0.6
Real density (g/cm <sup>3</sup> )	2.2	2.2	2.2

**Table 3.** Main characteristics of the test during the campaign

Characteristics of the tests	Dates, tools, and used doses
Previous cultivation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lentil cultivation.</li> </ul>
Plowing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carried out at the end of September at a depth of 35 cm with a plowshare.</li> </ul>
Cross-crossing	<ul style="list-style-type: none"> <li>1<sup>st</sup> passway October 15<sup>th</sup>, 2017, 2<sup>nd</sup> passway October 22<sup>nd</sup>, 2017 with a Cover crop.</li> </ul>
In-depth fertilization	<ul style="list-style-type: none"> <li>100 kg ha<sup>-1</sup> of MAP (12% N, 52% P) on 21/11/2017 and the 3<sup>rd</sup> Cover crop pass way on 12/11/2017.</li> </ul>
Installation date of the sowing	<ul style="list-style-type: none"> <li>On 03/01/2018.</li> </ul>
Seeding rate (Dose)	<ul style="list-style-type: none"> <li>250 seeds/m<sup>2</sup>.</li> </ul>
Nitrogen fertilization	<ul style="list-style-type: none"> <li>1<sup>st</sup> dose: Urea 46% dose 0.7Qt/ha on 02/28/2018.</li> <li>2<sup>nd</sup> dose: Urea 46% dose 0.7Qt/ha on 04/04/2018.</li> </ul>
Chemical weed control	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zoom (anti dicotyledon) and Akopik (anti-Gramineae) on 03/05/2018;</li> <li>Dose : 0.25 L ha<sup>-1</sup> Akopik + 120 g ha<sup>-1</sup> zoom.</li> </ul>

### Measured parameters

Several agro-morphological, physiological and biochemical parameters were evaluated: the duration of heading (DH) expressed in days from the sowing to the stage of the appearance of the outlines of the spikes. To determine the period of heading, it should be mentioned the date when 50% of the spikes of the elementary plot emerged from the sheath of the last leaf. The height of the plant (HP, cm), the area of flag leaf (AFL, cm<sup>2</sup>), the length

of the spike (LS, cm), beards not included, the length of the spike peduncle (LSP, cm), the length of beards (LB, cm), the number of herbaceous tillers (Nb HT), the number of spike tillers (Nb ST), the grain yield (GY, t ha<sup>-1</sup>); and these components including the number of spikes per square meter (Nb S/m<sup>2</sup>), the number of grains per spike (Nb G/S) and the weight of thousand grains (WTG, g). The relative water content (RWC, %) was determined by the method of Barrs (1968), the determination of chlorophyllian and carotenoid pigments Chl (a), Chl (b), Chl (t), Car (µg.ml<sup>-1</sup>/FM) was established according to the method of Lichtenthaler (1987). The determination of proline (Pro, mg g<sup>-1</sup> FM) was carried out according to Troll and Lindsey (1955), the determination of soluble sugars (Ss, mg g<sup>-1</sup> FM) was performed by the method of (Dubois et al. 1956), and the determination of malondialdehyde (MDA, nmol g<sup>-1</sup> FM) was realized according to the method of (Ksouri et al. 2007).

### Data processing

The obtained results were analyzed using the statistical program SPSS v.25. Statistical treatments included the correlations, the analysis of variance, the principal component analysis (PCA), as well as the ascending hierarchical classification (AHC).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Results analysis

In light of the results presented in Table 5, the heading duration recorded for each variety, Waha and Vitron were characterized by a short duration of 118 days. Wahbi, Semito, and GTA dur recorded a two-day longer period (+2 days) than the two previous varieties (120 days). Bousselem was characterized by duration of 122 days, while Cirta was distinguished by the longest heading duration, 124 days.

For the yields (Y) results, they varied between 3.32 ± 0.16 and 5.46 ± 0.2 t ha<sup>-1</sup>, the maximum value of 5.46 ± 0.22 t ha<sup>-1</sup> was observed in GTA dur, while the minimum value of 3.32 ± 0.16 t ha<sup>-1</sup> was noted in Wahbi.

The values of the WTG ranged between 40.61 ± 0.51 and 47.33 ± 0.20 g. The highest value of 47.33 ± 0.20 g was obtained in Cirta, whilst, the low value of 40.61 ± 0.51 g was recorded in the Waha variety.

The Nb S/m<sup>2</sup> was very variable, The highest value of 265.00 ± 1.73 S/m<sup>2</sup> was observed in GTA dur. However, the lowest value of 200.00 ± 5.29 S/m<sup>2</sup> has been observed in Wahbi.

**Table 4.** Climatic data recorded during the campaign

Month factors	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fab	Mar	Apr	May	Jun	Total
Precipitation (mm)	33	18.5	120.70	62.50	28.40	45.00	115.60	54.30	59.10	12.90	550
Temperature average (°C)	24.35	18.79	12.40	09.21	07.49	07.40	09.71	11.15	13.53	17.72	-

**Table 5.** Variables average values measured in the studied varieties (n = 3)

Varieties parameters	Waha	Cirta	Wahbi	Bousselem	Semito	GTA dur	Vitron
RWC	79.88±4.61	62.34±8.63	93.88±4.16	69.90±2.16	87.42±3.87	71.02±0.22	83.04±5.70
Chl a	119.37±7.64	115.43±3.48	118.69±1.85	137.58±2.94	135.46±10.67	169.94±14.99	132.90±5.34
Chl b	90.78±2.19	90.23±2.61	90.70±6.32	91.84±9.56	91.79±1.04	92.27±4.57	90.92±4.29
Chl t	210.15±9.69	205.66±5.92	209.40±6.89	229.42±10.50	227.25±9.65	262.22±19.45	223.82±5.08
Car	40.06±3.11	23.84±5.75	40.03±1.84	50.91±4.23	44.23±1.93	52.33±2.53	42.12±5.50
Pro	0.49±0.13	0.25±0.07	0.97±0.06	0.36±0.02	0.75±0.04	0.44±0.07	0.53±0.05
Ss	0.65±0.06	0.54±0.03	0.87±0.04	0.87±0.01	0.73±0.01	0.42±0.09	0.49±0.03
MDA	1.82±0.01	2.46±0.23	1.74±0.07	1.85±0.01	1.78±0.02	1.54±0.08	1.81±0.06
AFL	35.36±0.59	31.56±0.90	31.30±0.76	36.77±0.37	31.40±0.49	38.55±0.21	29.14±2.85
PH	90.80±0.44	81.40±1.15	92.50±0.44	86.00 ± 1.32	92.30±2.35	81.44±0.59	91.77±1.70
Nb HT	4.00±1.00	4.00±1.00	4.00±1.00	5.00±0.00	4.00±0.00	4.00±1.00	4.00±1.00
Nb ST	2.90±0.17	2.40±0.10	2.20±0.72	3.00±0.00	2.90±0.10	3.20±0.26	3.10±0.17
LS	6.80±0.26	6.30±0.35	6.20±0.26	5.50±0.44	5.80±0.72	7.00±0.30	6.50±0.70
LSP	17.00±0.30	24.00±2.00	17.50±0.50	35.60± 0.36	20.00±1.80	30.33±0.21	23.10±1.05
LB	13.80±0.20	15.37±0.25	14.16±0.31	16.200± 0.26	14.20±0.44	17.50±0.20	14.20±0.36
Nb G/S	41.40±1.97	36.00±1.00	39.40±1.22	42.30± 2.07	40.10±2.15	44.40±1.44	43.40±1.44
Nb S/m <sup>2</sup>	239.33±3.06	220.00±2.65	200.00±5.29	237.00±6.24	230.00±2.00	265.00±1.73	240.00±2.00
WTG	40.61±0.51	47.33±0.20	42.18±0.38	45.27±0.06	43.97±0.09	46.45±0.22	45.17±0.11
HD	118.00	124.00	120.00	122.00	120.00	120.00	118.00
GY	4.02±0.14	3.74±0.08	3.32±0.16	4.53±0.20	4.05±0.23	5.46±0.22	4.70±0.14

For the Nb G/S, the greatest value  $44.40 \pm 1.44$  G/S has been registered by GTA dur. While the lower value of  $36.00 \pm 1.00$  G/S was showed in Cirta variety. The Nb ST, it was found that the highest value of  $3.200 \pm 0.26$  tillers plant<sup>-1</sup> was observed in the variety GTA dur and the lowest value  $2.20 \pm 0.72$  tillers plant<sup>-1</sup> was detected in the variety Wahbi. Furthermore, a similarity for the Nb HT equal to  $4.000 \pm 1.00$  tillers plants<sup>-1</sup> was registered in all the varieties with the exception of the Bousselem variety which discriminated by a Nb HT of  $5.00 \pm 0.00$ .

Regarding the morphological traits assessed. The HP varied depending on the variety. It fluctuates between  $81.40 \pm 1.15$  and  $92.50 \pm 0.44$  cm. The highest height  $92.50 \pm 0.44$  cm was noted in the Wahbi variety. The lowest height equal to  $81.40 \pm 1.15$  cm was recorded in the Cirta variety.

The AFL has varied between  $29.14 \pm 2.85$  and  $38.55 \pm 0.21$  cm<sup>2</sup>. The largest area  $38.55 \pm 0.21$  cm<sup>2</sup> was showed in the variety GTA dur. The smallest area of  $29.140 \pm 2.85$  cm<sup>2</sup> was recorded in Vitron variety.

The obtained results of the LSP showed that the longest peduncle  $35.60 \pm 0.36$  cm was recorded in the variety Bousselem while the shortest was observed in the variety Waha with  $17.00 \pm 0.30$  cm.

For the LB, the values recorded for this parameter ranged between  $13.80 \pm 0.20$  and  $17.50 \pm 0.20$  cm, the longest beard  $17.50 \pm 0.20$  cm distinguished the GTA dur variety while the shortest beard was recorded by Waha  $13.80 \pm 0.20$  cm.

The LS values varied from  $5.50 \pm 0.44$  and  $7.00 \pm 0.30$  cm, the longest spike  $7.00 \pm 0.30$  cm was obtained in GTA dur variety, however, the shortest estimated at  $5.50 \pm 0.44$  cm was detected in Bousselem.

At the physiological level, the RWC oscillated between  $62.34 \pm 8.63$  and  $93.88 \pm 4.16\%$ . The maximum value was

recorded in Wahbi, in contrast, the minimum value was noted in Cirta. For the chlorophyll pigments; Chl (a), Chl (b), Chl (t) and Car; GTA dur recorded the best performing values ( $169.94 \pm 14.99$ ;  $92.27 \pm 4.57$ ;  $262.22 \pm 19.45$  and  $52.33 \pm 2.53$   $\mu\text{g ml}^{-1}/\text{FM}$ ) unlike, Cirta revealed the lowest values ( $115.43 \pm 3.48$ ;  $90.23 \pm 2.61$ ;  $205.66 \pm 5.92$  and  $23.84 \pm 5.75$   $\mu\text{g ml}^{-1}/\text{FM}$ ).

From a biochemical point of view, the results relating to the proline content of the leaves showed that Wahbi variety has the highest concentration estimated at  $0.97 \pm 0.06$  mg g<sup>-1</sup> FM, while the lowest concentration  $0.25 \pm 0.07$  mg g<sup>-1</sup> FM was recorded in Cirta leaves.

The determination of the Ss revealed that Wahbi has accumulated greatest amount  $0.87 \pm 0.04$  mg g<sup>-1</sup> FM unlike GTA dur accumulated the smallest amount estimated at  $0.42 \pm 0.09$  mg g<sup>-1</sup> FM. As for the MDA assay, the highest rate is noted in Cirta with a value of  $2.46 \pm 0.23$  nmol g<sup>-1</sup> FM, while GTA dur recorded the lowest rate of  $1.54 \pm 0.08$  nmol g<sup>-1</sup> FM.

All the measured parameters (n = 20 variables) of the seven varieties were subjected to a principal component analysis (PCA). The correlations of the variables measured with the first two axes (axis 01 and axis 02) are shown in Figure 2; they explained 46.21 and 26.29 % respectively, i.e., 72.5 % of information. The plane formed by these two axes constitutes a basis for the interpretation of any correlation between these variables and the behavioral relationships of the different varieties as a function of these parameters.

Axis 1 (horizontal axis) is formed on the positive side by the majority of production characters such as Nb S/m<sup>2</sup>, Nb ST, Yield, and chlorophyll pigments, in addition to certain morphological characters such as AFL, LB and LSP. This axis could be defined as an axis of morphology and productivity.

Axis 02 (vertical axis) is denoted by the strong contribution of DH and MDA on the negative side; while on the positive side of this axis the HP, RWC, and Pro are found at the same time. This axis can be qualified as a component of precocity, at heading stage, and of tolerance.

The graphical representation of the seven varieties (Figure 3) makes it possible to distinguish that: GTA dur was characterized by high values of the following variables: GY, Nb S/m<sup>2</sup>, Nb ST, Nb G/S, Chl (a), Chl (t), Car, AFL, LS, and LB. However, this variety is distinguished by a short straw and a slight build-up of Pro, Ss, and MDA. In contrast, on the negative side, is Wahbi, which performed less well on the previous variables, this variety stands out for a higher HP, a high RWC and a strong accumulation of Pro and Ss. The variety Cirta was characterized by the lowest average values of all of the following variables: the content of chlorophyll pigments, HP, RWC and Pro and a late heading, while it has accumulated the greatest amount of MDA and it has the

highest WTG. Bousselem was characterized by a dense herbaceous tillering, a short spike with a long peduncle, and also a relatively late heading. Moreover, Waha was distinguished by an early heading, a short peduncle and a barbecued and the lowest WTG. Vitron was distinguished by its narrowest AFL, short duration of heading. For Semito, this variety includes average values of all the studied variables.

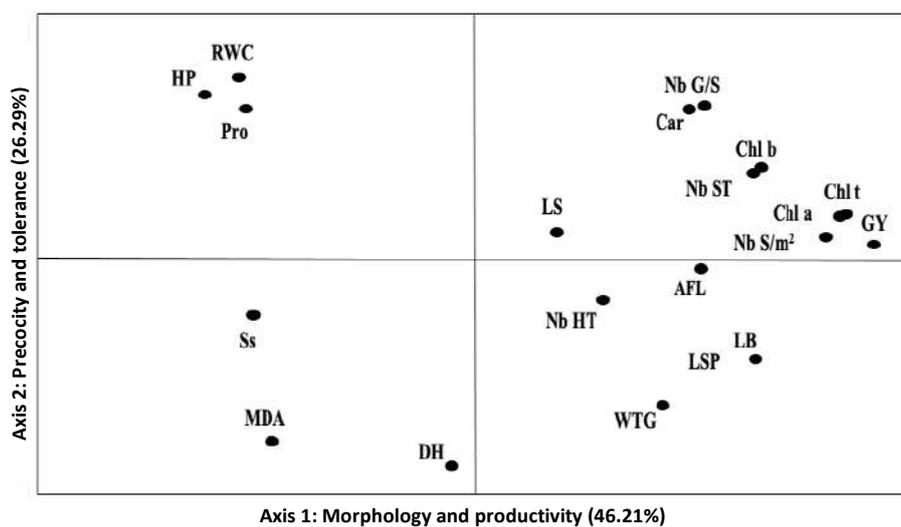
PCA made it possible to organize phenotypic diversity among our seven varieties into four distinct groups according to the productivity, which proves that the studied varieties did not behave in the same way according to the climatic conditions of the agricultural year 2017/2018, which were more or less favorable to good agriculture.

Group 1 = GTA dur.

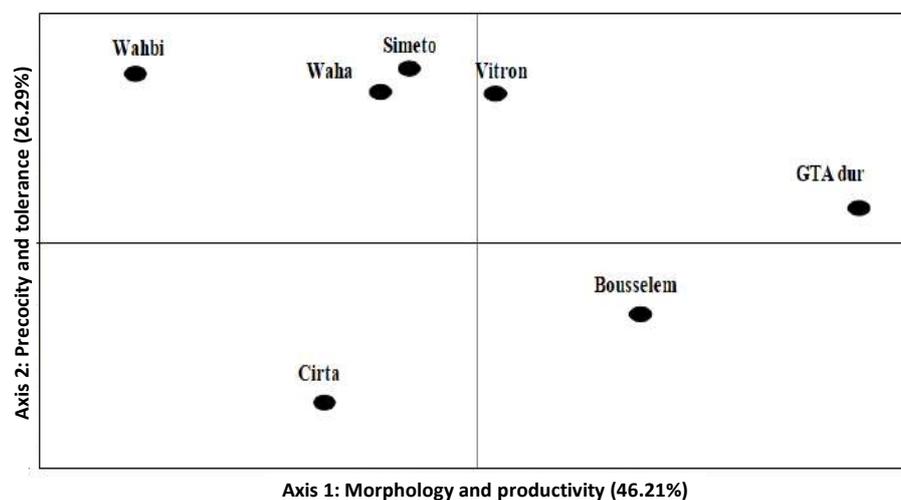
Group 2 = Vitron and Bousselem.

Group 3 = Cirta, Waha and Semito.

Group 4 = Wahbi.



**Figure 2.** Correlations graph of 20 analyzed parameters



**Figure 3.** Distribution of varieties in function of two principal components

To corroborate these results, a one-factor ANOVA analysis was carried out (Table 6). This test is limited to the parameter which discriminates the best-studied varieties, namely the GY (see Table 8). The test of homogeneity of the variances gave a Levene statistic of 0.449 (Sig. = 0.834) which expresses equality of the seven varieties variances.

The observed F value of 46.764 (Sig. = 0.000) indicates that the seven varieties do not have the same behavior in terms of production. The *post hoc* test of Newman-keuls revealed the existence of four groups (Table 6): the 1<sup>st</sup> group consisted of the variety GTA dur, the 2<sup>nd</sup> group was formed by the grouping of the three varieties Cirta, Waha and Semito, the 3<sup>rd</sup> group included the two varieties Bousselem and Vitron, as well as the 4<sup>th</sup> group consisted of the variety Wahbi.

Figure 4 shows that the distribution of varieties differs significantly in terms of productivity. Indeed, GTA dur was characterized by the highest average yield with  $5.46 \pm 0.22$  t ha<sup>-1</sup>, followed by the 2<sup>nd</sup> group that made up of two varieties Vitron and Bousselem which stood out with average yields of  $4.70 \pm 0.14$ , and of  $4.53 \pm 0.20$  t ha<sup>-1</sup>, respectively. Semito, Waha and Cirta form the 3<sup>rd</sup> group that was characterized by almost similar averages of  $4.02 \pm 0.23$ , of  $4.05 \pm 0.14$  and of  $3.74 \pm 0.08$  t ha<sup>-1</sup>, consecutively. Besides, Wahbi variety comes in the bottom of the classification with the lowest grain yield of  $3.32 \pm 0.16$  t ha<sup>-1</sup>.

#### Cluster analysis

The analysis of the hierarchical classification results made it possible to clarify the differences that exist

between the different varieties based on the measured parameters (Figure 5).

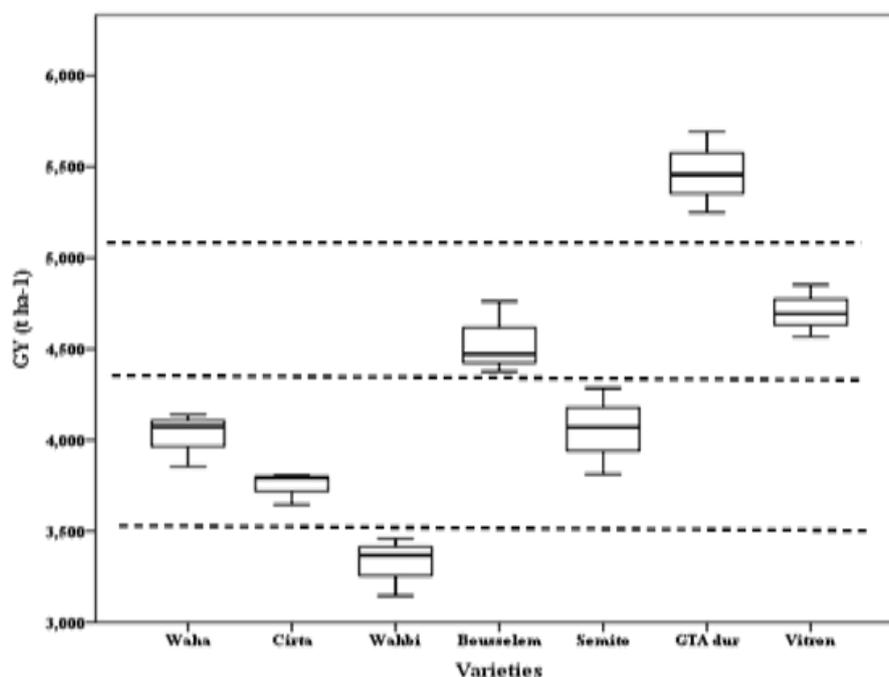
The first group is represented by GTA dur and Bousselem varieties. They are the most profitable varieties given the higher or lower values of the yield and its components. These varieties seem to be well adapted to the environmental conditions, recording the highest values in terms of chlorophyll pigment content in the leaves, a large AFL and a long spike peduncle.

The second group includes the varieties Waha, Cirta, Semito and Vitron that showed average values of the different studied parameters. The third group is formed by the only Wahbi variety that presents a certain dissimilarity compared to the other varieties. It is distinguished by the least efficient production characters, as it is tolerant giving the high values of HP, RWC and of the rate of osmo-regulators that it has displayed.

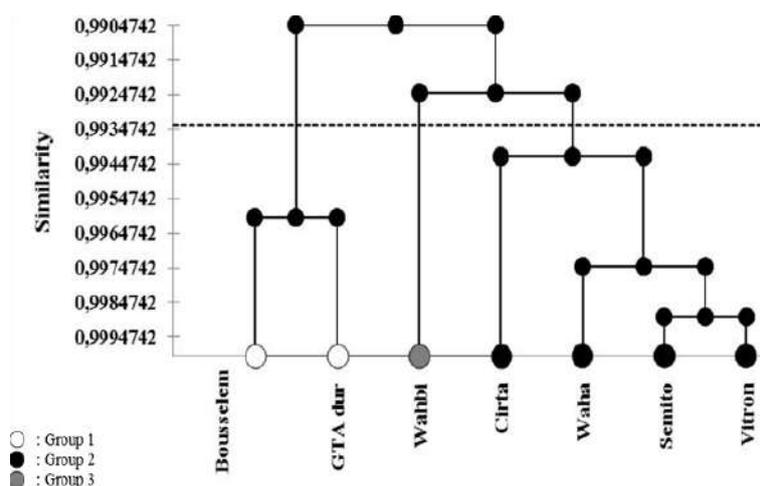
**Table 6.** Homogeneous groups according to the Student-Newman-Keuls test

Varieties	Sub-division for $\alpha = 0.05$			
	1	2	3	4
Wahbi	33.245 <sub>a</sub>			
Cirta		37.481 <sub>b</sub>		
Waha		40.228 <sub>b</sub>		
Semito		40.563 <sub>b</sub>		
Bousselem			45.370 <sub>c</sub>	
Vitron			47.052 <sub>c</sub>	
GTA dur				54.673 <sub>d</sub>
Signification	1	0.122	0.267	1

Note: a, b, c and d indicate the homogeneous groups



**Figure 4.** Graphical comparison of grain yield (GY) averages



**Figure 5.** Ascending hierarchical classification (AHC) of studied durum wheat varieties based on the measured parameters.

### Discussion

In the present work, seven varieties of durum wheat were evaluated on the basis of numerous agromorphological, physiological and biochemical traits in order to extract the most useful traits that can be used by breeders in a breeding program. The results showed an important diversity between the studied varieties which would be attributed to the genetic heritage of each variety as well as to the environment in which they were regenerated.

The phenological monitoring results revealed that the duration between the sowing and the heading of the different studied varieties varied from 118 to 124 days. Couvreur (1985) reported that the earliness of a variety is determined from the duration length of the development cycle from the sowing to the heading stage. According to this author, a variety is considered early if the duration is less than 100 days; it is semi-early if the duration is between 100 and 120 days, and tardy if this duration exceeds 120 days. On this basis, our varieties can be classified into two groups: the semi-early group including Waha, Vitron, Wahbi, Semito, as well GTA and the 2<sup>nd</sup> is tardy group comprising the two varieties Bousselem, and Cirta. On the other hand, it appears that the GY has represented the most discriminating characteristic between the studied varieties.

According to Kara and Bellkhiri (2011) annual variations in climatic conditions make the selection based solely on the yield is difficult. The results of several studies exhibited that the grain yield is very variable, polygenic and the most often subject to strong genotype by environment ( $G \times E$ ) interactions (Benmahammed et al. 2010; Sanchez-Garcia et al. 2012; Semcheddine et al. 2017). For this reason, breeders often use the indirect selection and the traits that are well correlated with the yield to improve grain yields in dry environments (Sallam et al. 2014). However, the principal components analysis (PCA) makes it possible to highlight the different correlations between the measured variables, ranging from a weak to a strong correlation. The study of these relations

and their good understanding are interesting for the breeder who seeks to identify the effect of the characters, easily measurable very early in the development cycle of the plant (DH, HP, AFL, LSP, LB, LS, RWC, Pro, Ss, MDA, etc.), on more complex characteristics such as Nb G/S, WTG, and Yield, that are measured at the harvesting stage by destructive and relatively less precise methods (Kirouani et al. 2019). The correlation matrix (Table 7) displays that the DH is negatively correlated with the Nb S/m<sup>2</sup> ( $r = -0.276$ ), the Nb G/S ( $r = -0.637$ ), and the Yield ( $r = -0.213$ ). This means that more or less early growth gives a high Nb S/m<sup>2</sup> as well as a big Nb G/S; which leads to a gain in grain yield of durum wheat. These results are in agreement with those observed by Mansouri et al. (2018). Similarly, Chennafi et al. (2010) found in their work that cultivars with early headings are more productive than those characterized by tardy heading. Chentoufi et al. (2014) considered that the earliness at the heading stage and that at maturity as important selection criteria, are parameters of tolerance and adaptation to climatic constraints.

Considering the random distribution of precipitation in arid to semi-arid regions, the adoption of relatively short-cycle varieties is necessary, this biological mechanism is a desirable feature and could be quantified as evasion since early genotypes can accomplish their cycle through avoiding also terminal drought (Megherbi et al. 2012). Nevertheless, the increase in the earliness of cereals, although it has given undeniable results, is not without drawbacks, it contributes, among other things, to the reduction of productivity and is only suitable for late drought and short duration (Melki and Dahmane 2008). Slafer et al. (2005) demonstrated that, in the absence of stress, the late genotypes are generally more productive than early ones. This is due to the fact that the early genotypes make less use of the availabilities offered by the production medium.

**Table 7.** Correlation coefficients matrix of the various analyzed variables

	RWC	Chl a	Chl b	Chl T	Car	Pro	Ss	MDA	AFL	PH	Nb HT	Nb ST	LS	LSP	LB	Nb G/S	Nb S/m <sup>2</sup>	WTG	D H	GY	
RWC	1.000																				
Chl a	-0.202	1.000																			
Chl b	-0.042	0.884	1.000																		
Chl T	-0.197	1.000	0.893	1.000																	
Car	0.205	0.762	0.891	0.771	1.000																
Pro	0.952	-0.164	-0.008	-0.159	0.174	1.000															
Ss	0.420	-0.427	-0.029	-0.413	0.123	0.496	1.000														
MDA	-0.536	-0.634	-0.693	-0.639	-0.881	-0.498	-0.062	1.000													
AFL	-0.457	0.612	0.627	0.615	0.576	-0.384	-0.053	-0.379	1.000												
HP	0.908	-0.405	-0.172	-0.398	0.106	0.764	0.467	-0.354	-0.548	1.000											
Nb HT	-0.333	0.114	0.366	0.124	0.422	-0.321	0.529	-0.011	0.425	-0.178	1.000										
Nb ST	-0.205	0.725	0.706	0.728	0.69	-0.375	-0.446	-0.507	0.447	-0.111	0.220	1.000									
LS	-0.079	0.263	-0.113	0.249	-0.059	-0.133	-0.755	-0.214	0.205	-0.215	-0.667	0.203	1.000								
LSP	-0.653	0.606	0.594	0.608	0.481	-0.597	-0.074	-0.058	0.586	-0.648	0.75	0.483	-0.27	1.000							
LB	-0.666	0.769	0.612	0.766	0.413	-0.52	-0.324	-0.14	0.727	-0.846	0.367	0.375	0.118	0.844	1.000						
Nb G/S	0.124	0.743	0.694	0.745	0.872	-0.009	-0.255	-0.823	0.459	0.085	0.204	0.836	0.294	0.394	0.339	1.000					
Nb S/m <sup>2</sup>	-0.422	0.807	0.666	0.805	0.577	-0.525	-0.640	-0.420	0.628	-0.414	0.087	0.921	0.45	0.516	0.589	0.752	1.000				
WTG	-0.702	0.418	0.202	0.412	-0.100	-0.608	-0.491	0.376	0.060	-0.758	0.157	0.183	-0.074	0.668	0.690	-0.056	0.308	1.000			
DH	-0.659	-0.139	-0.13	-0.139	-0.424	-0.452	0.138	0.702	0.088	-0.677	0.354	-0.426	-0.442	0.444	0.443	-0.637	-0.276	0.640	1.000		
GY	-0.379	0.901	0.727	0.898	0.660	-0.449	-0.604	-0.478	0.555	-0.432	0.17	0.889	0.354	0.657	0.698	0.815	0.943	0.464	-0.213	1.000	

**Table 8.** Components' matrix

	GY	Chl a	Chl T	Nb S/m <sup>2</sup>	LB	Chl b	Nb ST	LSP	Nb G/S	AFL	Car	Ss	Nb HT	LS	D H	RWC	MDA	HP	Pro	WTG
Axe 1	<b>0,960</b>	0.932	0.932	0.906	0.83	0.821	0.818	0.769	0.751	0.732	0.715	-0.448	0.322	0.235	-0.046	-0.457	-0.475	-0.543	-0.462	0.472
Axe 2	0.084	0.186	0.192	0.091	-0.409	0.311	0.283	-0.413	0.581	-0.059	0.58	0.188	-0.225	0.161	-0.898	0.85	-0.844	0.777	0.732	-0.698

However, wheat is generally cultivated in rainy conditions in the Mediterranean region which often imposes a certain number of environmental constraints on tardy varieties. The varietal selection based on the earliness must favor obtaining varieties with an earliness date of Heading, which varies from one year to another, should coincide with the optimum heading period. Obtaining optimum and stable productivity depends on obtaining this type of variety. To achieve this goal, this selection should relate to both the thermo-periodic and the photo-periodic requirements of the plant (Mekhlouf et al. 2006).

DH also has shown a positive correlation with WTG ( $r = 0.640$ ). According to Samira et al. (2011), developmental delay allows the plant to accumulate energy and resources to combat stress, before the imbalance between the inside and the outside of the body increased to threshold where the damage will be irreversible. The link is explained by a greater accumulation of reserves; consequently, the grains are well filled. Similar results have been obtained in the work of Al-Doss et al. (2010) ( $r = 0,370$ ).

The GY presents positive correlations with the components : Nb S/m<sup>2</sup> ( $r = 0.943$ ), Nb G/S ( $r = 0.815$ ), and WTG ( $r = 0.464$ ). The varieties Bousselem, Vitron, and GTA dur gave the highest values for these traits and, therefore, they displayed the highest yields. These results are in agreement with several studies that showed that the yield is the result of several characters that contribute to its achievement (Kahrizi et al. 2010; Lopes et al. 2012; Farshadfar et al. 2013). In the light of these results, the best yields were observed due to the high Nb S/m<sup>2</sup> and to the high Nb G/S which are in agreement with those obtained by several researchers (Mazouz and Bouzerzour 2017; Kizilgeci 2019). Fellahi et al. (2019) stated that the number of grains per spike and the number of ears per plant have high direct effects on yield. This does not exclude the important role of WTG in the expression of yield. Erchidi et al. (2000) reported that the indirect contribution of this component to yield, under variable climates, is greater via the number of grains per spike than their direct contribution. Furthermore, Whan et al. (2014) showed that seed size is a very important part of basic plant research, since, in plant reproduction, seed formation and development had significant effects, as well as cereal breeding, as a related trait yield and vigor. Grain size and shape are two among main targets in wheat breeding programs, due to their significant effect on grain weight and yield (Okamoto et al. 2013; Rasheed et al. 2014). Similar results of relationships between grain yield and WTG have been observed in previous studies (Ferdous et al. 2010; Khan et al. 2013; Zoghmar et al. 2016; Safarova et al. 2019).

In addition, the Yield is positively correlated with the Nb ST ( $r = 0.889$ ). According to Khan and Naqvi (2011) tillering is a varietal character, which under favorable conditions, could provide information on the potential of varieties. He also noted that the number of tillers per plant has direct contribution towards grain yield. It means, as the number of productive tillers increases there will be simultaneous increase in yield. Our results agree with the

observations made by Sang et al. (2014) who concluded that tiller formation affects grains number and grain weight, therefore it is closely related to yield, besides, Hazmoune and Benlaribi (2004) found that the ability of a plant to form a large number of tillers is very beneficial for increasing and stable yield in variable environments. Understanding this contribution can help in the selection of suitable and highly productive genotypes (Elhani et al. 2007).

From the results presented in Table 7, it emerges that the AFL has significant and positive correlations with the yield, the spike characteristics (LS, LSP and LB), as well as with all the chlorophyll pigments. Overall, these results are in agreement with those of Salmi et al. (2015) who reported that a flag leaf with large dimensions is certainly desirable in favorable environmental conditions, since this organ is the last, which remains inactivity, with the spike and the beards. An increase in AFL induces an increase in the photosynthetic capacity for the synthesis of organic compounds that are favorable to a high yield. Since the productivity of a plant is linked to its growth capacities, in the event of stress causing the decrease in FLA as well as in the vegetative part of the plant and, therefore, in the photosynthesis, the priority of the plant is to preserve its ability to produce at least one viable seed. Thus, it, therefore, implements a process of abortion of seeds that cannot be filled for the lack of sufficient resources. Our results are also supported by other studies (Guendouz et al. 2012; Allam et al. 2015; Himani et al. 2018).

The HP showed negative and significant associations with the yield and their components (Table 7). These results mean that the varieties with short straws present the best values for the agronomic characteristics. Our results are in agreement with those of several studies showing that short plants are more productive than tall straw plants. Since the short ones have a significant tillering capacity, each tiller will lengthen and put an inflorescence which increases the spike stand, consequently, an increase in yield (Bennioui et al. 2018). In the same context, Kirouani et al. (2019) obtained similar results to ours and they attributed the reason to the fact that tall varieties do not have the capacity to provide the energy and the assimilates necessary for the formation of spikes and the elongation of tillers at the same time. However the great length of the plant has many advantages such as adaptation to the lack of water at the end of the cycle, thus ensuring a good filling of the grain and the use of straw in animal feed breeding when the stem pith is absent or thin (Zerafa et al. 2017).

It is also important to note the positive correlation recorded between the characteristics of the spike (LS, LSP, and LB), and the yield and its components. This is corroborated with the hypothesis presented by Guo et al. (2018), who assumed that it was possible to maximize grain yield by manipulating and predicting wheat spike morphology. Kahali et al. (2016) explained the role of the peduncle by the quantity of photosynthetic assimilates stored in this part of the plant, which are likely to be transferred to the grains, while Kong et al. (2010) also felt that the peduncle contributes crucially during the final

stages of grain filling. Regarding to the LS, many authors have pointed out the important role of a long spike (Subhashchandra et al. 2009; Rebetzke et al. 2016) reported that the length of the spike has a positive and a high direct effect on the yield/plant. Likewise, Merah and Monneveux (2014) reported that beards play an important role in the stress tolerance and in the filling of grains by their developed surface, their upright port and their position in the immediate vicinity of the seed that promotes its formation, which would make a gain performance.

The mechanisms of adaptation and of tolerance to abiotic constraints are diverse. For example, the measurement of the relative water content (RWC) makes it possible to describe in a global way the water status of the plant, reflecting the metabolic activity of the tissues and used as the most significant index of tolerance to stress in particular dehydration Sallam et al. (2019). It has also been proposed as a useful trait for breeding stress-tolerant wheat varieties (Hasheminasab et al. 2012; Farshadfar et al. 2014). The obtained results showed that the RWC reveals a negative correlation with the yield. The varieties Wahbi, Waha, and Semito showing the highest RWCs, are relatively the least productive, with the exception of the variety Cirta, which seems to have little tolerance for the yield compared to other varieties. This is perfectly similar to the results obtained by Khennaoui et al. (2016) who recorded a negative relationship ( $R = -0.466$ ) between RWC and Yield, and on the basis of previous studies, they have been concluded that genotypes tolerant to abiotic stress are less productive and lose less water leaf area per unit of time. In addition, the RWC shows negative correlations with the following parameters: AFL, LSP and LB this means that the narrow AFL and the characteristics of a short spike contribute to a limitation of water losses. Similar results have been reported by other studies (Salmi 2015; Khennaoui et al. 2016). On the other hand, it appears that varieties with a high height have a high RWC; these results correspond to those obtained by Jatou et al. (2011). Elevated RWC is a form of resistance which probably results from active osmoregulation, by a mechanism of stress tolerance, by osmotic adjustment which results in an increase in osmotic potential due to an accumulation of osmolytes in the cytoplasm such as proline and soluble sugars. Chaib et al. (2015) clarified the important role of these osmolytes in osmo-regulation in order to ensure the optimal physiological functioning of the cell, especially under stressful conditions. Positive correlations were observed in our study between RWC and Pro ( $r = 0.952$ ) and Ss ( $r = 0.420$ ). These results suggest that the varieties with the highest relative water content accumulate more Ss and Pro. These results are supported by the findings of Sassi et al. (2012). MDA is negatively correlated with RWC and chlorophyll pigments (Table 7). This suggests that the peroxidation of the membrane lipids would be associated with a malfunction and lead to the damage of the main cellular components, consequently, the membrane then loses its integrity by becoming permeable, plasmolysis and releases, towards the extracellular space, its contents, which seriously affects the productivity of the plant; in general. Similar results have been obtained in many

species, such as (colza) (*Brassica napus* L.) (Toumi et al. 2014), soft wheat (*Triticum aestivum*) (Khalilzadeh et al. 2016), and durum wheat (*Triticum durum*) (Bouchemal et al. 2018). Besides, the presence of a negative correlation between Pro, Ss and MDA (Table 7) could be explained by the role of these compounds in the protection of cell membranes. Hacini and Brinis (2012) pointed out that osmo-protection is another trait for which researchers are unanimous in its participation in the tolerance of genotypes. The diversity of responses, even if basically, proteolysis necessarily leads to an accumulation of solutes such as proline and soluble sugars, proves that genotypes react differently depending on their genetic origin. On the other hand, the result of study by Salmi (2015) suggested that the accumulation of these osmolytes seems much more intended for stress tolerance but it is not able to have a contribution to the expression of yield in semi-arid areas. Maury et al. (2011) and Simonneau et al. (2014) mentioned that the fundamental biological mechanisms, of tolerance to droughts such as the reduction of the leaf surface, the closure of stomata, the osmotic regulation, which contribute to the maintenance of a water balance, between the plant and the soil, hinder the growth and the photosynthesis, are the main physiological functions of the plant, that leads to certain yield losses. Our results are consistent with those obtained by Fellah et al. (2002), who revealed a negative relationship between adaptation, as measured by tolerance to caloric stress, and grain yield. Sensitive varieties produce more under stress compared to tolerant varieties. Menad et al. (2011) recorded that highly productive genotypes suffer greater yield reduction under drought conditions compared to moderately yielding genotypes.

In conclusion, the obtained results revealed the existence of variability for most of the measured parameters in the studied varieties. This variability is only an ineluctable consequence of genetic variation which constitutes a gain that must rationally be preserved, enriched and valued according to the drowned objectives. Indeed, the phenology analysis (duration of heading) has revealed an inter-specific variability in the studied varieties, and has demonstrated that the use of more or less early varieties is favorable to the expression of grain yield; in which the varieties had the most important values for all the morpho-physiological parameters were those presented the highest yields. These findings lead us also to conclude that in order to improve the performance of cereals in areas dominated by conditions similar to those of our study area, it is recommended to develop a plant material characterized by good productivity (Nb S/m<sup>2</sup>, Nb G/S) and adaptive (AFL, LS, LSP, LB) qualities; able to maintain its photosynthetic activity as long as possible with a stable yield. Finally, it should be noted that these types of studies require conducting both multi-site and multi-year behavioral tests to determine and characterize the performing genotypes; with a good approximation for the target environment; as well as they must be completed by molecular biology techniques that can help to identify desirable genes to support future durum wheat improvement programs.

## REFERENCES

- Aghaee M, Mohammad R, Nabovati S. 2010. Agro-morphological characterization of durum wheat accessions using pattern analysis. *Aust J Crop Sci* 4 (7) : 505.
- Al-Doss AA, Saleh M, Moustafa KA, Elshafei AA, Barakat MN. 2010. Grain yield stability and molecular characterization of durum wheat genotypes under heat stress conditions. *Afr J Agric Res* 5 (22) : 3065-3074.
- Allam A, Tirichine A, Madani H, Benlamoudi W, Attali Y. 2015. Agronomic and morphological evaluation of the cultivars of durum wheat: (*Triticum Durum* Desf.) cultivated in the Palm Groves of the Valley of Oued Righ, Algerian South-Est. *Rev des Bioressources* 5 (2): 10-10.
- Amallah L, Hassikou R, Rhrib K, Gaboun F, Ennadir J, Bouazza F, Rochd 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.
- Barrs HD. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. *Water Deficit and Plant Growth* 235-368.
- Benmahammed A, Nouar H, Haddad L, Laala Z, Abdelmalek O, Bouzerzour H. 2010. Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol Agron Soc Environ* 14 (1) :177-186.
- Benniou R, Badache F, Regoub A, Bendada H. 2018. Etude comparative du comportement et de l'adaptation de différents génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride dans l'Est de l'Algérie. *Rev Agric* 9 (1) : 16-31.
- Bouchemal K, Bouldjadj R, Belbekri M, Ykhlef N, Djekoun A. 2018. Pigments photosynthétiques, enzymes antioxydantes et potentiel osmotique foliaire de dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Effet du stress hydrique. *Phytoprotection* 98 (1):13-24.
- Chaib G, Benlaribi M, Hazmoune T. 2015. Accumulation d'osmomètres chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. *Eur Sci J* 11 (24): 378-395.
- Chehili F, Boudour L, Bouchtab K. 2017. Etude de la variabilité agronomique et biochimique des quatre génotypes d'une variété de blé dur cultivé en Algérie (*Triticum durum* Desf.). *Eur Sci J* 13 (9) : 409-425.
- Chennafi H, Makhlouf M, Ayadi AL. 2010. 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, Irekti H, Vadon B (éds); 4. Actes des Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Sétif, 03-05 Mai 2010. [Algérie]
- 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 Marocaine Sci Agron Vet* 2 (2) : 30-38.
- Couvreur F. 1985. Formation du rendement du blé et risque climatiques. *Perspectives agricoles* 95: 12-15.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PT, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28 (3) : 350-356.
- Erechidi AE, Talouizte A, Benbella M. 2000. Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. In : Royo C, Nachit M, Di Fonzo N, Araus J.L (éds); Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Zaragoza, 12-14 Avril 2000. [Spain]
- Farshadfar E, Romena H, Shabani A. 2013. Evaluation of genetic parameters in agro-physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated condition. *Intl J Adv Biol Biomed Res* 4 : 319-326.
- Farshadfar E, Ghasemi M, Rafii F. 2014. Evaluation of physiological parameters as a screening technique for drought tolerance in bread wheat. *J Biodivers Environ Sci* 4: 175-186.
- Fellah A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Djekoun A. 2002. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Rev Marocaine Sci Agron Vet* 22 (3) : 161-168.
- Fellahi Z, Hannachi A, Guendouz A, Rabti A, Bouzerzour H. 2019. Heritability, correlations and selection gain in F2 early generation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under semi-arid conditions. *J Algérien des Régions Arides* 13 (2) : 37- 49.
- Ferdous MF, Shamsuddin AKM, Hasna D, Bhuiyan MMR. 2010. Study on relationship and selection index for yield and yield contributing characters in spring wheat. *J Bangladesh Agric Univ* 8: 191-194.
- Ghennai A, Zerafa C, Benlaribi M. 2017. Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'UPOV. *J Appl Biosci* 113 (1): 11246-11256.
- Guendouz A, Maamari K, Guessoum S, Hafsi M, Benidir M. 2012. Flag leaf senescence, chlorophyll content and its relationships with yield components under drought in durum (*Triticum durum* Desf.). *Intl J Innovations Bio-Sci* 2 (4): 186-192.
- Guo Z, Zhao Y, Röder MS, Reif JC, Ganai MW, Chen D, Schnurbusch T. 2018. Manipulation and prediction of spike morphology traits for the improvement of grain yield in wheat. *Sci Rep* 8 (1): 1-10.
- Hacini N, Brinis L. 2012. Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de tolérance au stress hydrique chez 10 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Synthèse: *Rev Sci Technol* 25 (1): 6-16.
- Hasheminasab H, Assad MT, Aliakbari A, Sahhafi SR. 2012. Evaluation of some physiological traits associated with improved drought tolerance in Iranian wheat. *Ann Biol Res* 3 (4) :1719-1725.
- Hazmoune T, Benlaribi M. 2004. Etude comparative de l'effet de la profondeur de semis sur les caractères de production de trois génotypes de (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Sci Technol C, Biotechnol* 94-99.
- Himani SM, Renu M. 2018. Morpho-physiological characterization of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under irrigated conditions. *Intl Curr Microbiol Appl Sci* 7 (2): 2350-2354.
- Jatoi WA, Baloch MJ, Kumbhar MB, Khan NU, Kerio MI. 2011. Effect of water stress on physiological and yield parameters at anthesis stage in elite spring, wheat cultivars. *Sarhad J Agric* 27 (1): 59-65.
- Kahali L, Djekoun A. 2016. Analyse génotypique de la contribution de la matière assimilée du pédoncule dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Eur Sci J* 12 (18): 151-166.
- Kahrizi D, Maniee M, Mohammadi R, Cheghamirza K. 2010. Estimation of genetic parameters related to morpho-agronomic traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* var. durum). *Biharean Biol* 4 (2): 93-97.
- Kara Y, Bellkhiri C. 2011. Study of the adaptation to water stress of some durum wheat and related wild species: Potential interest of these species for the improvement of the yield. *Courier du Savoir* 11: 119-126.
- Khalilzadeh RRS, Sharifi, Jalilian J. 2016. Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and biofertilizers under water limitation condition. *J Plant Interact* 11: 130-137.
- Khan N, Naqvi FN. 2011. Effect of water stress in bread wheat hexaploids. *Curr Res J Biol Sci* 3 (5): 487-498.
- Khan AA, Alam MA, Alam MK, Alam MJ, Sarker ZI. 2013. Correlation and path analysis of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum). *Bangladesh J Agric Res* (3): 515-521.
- Khennaoui A, Djekoun A, Benbelkacem A, Ykhlef N. 2016. Agro morphological characterization and study of grain yield of Algerian durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Intl J Adv Res* 4 (11) : 1071-1080.
- Khennaoui A. 2018. Diversité phénotypique et moléculaire du blé dur cultivé en Algérie: Identification et caractérisation des accessions. [Thèse]. Université des Frères Mentouri, Constantine. [Algérie]
- Kirouani A, Kiar RO, Boukhalfoun L, Fellahi ZEA. 2019. Caractérisation de quelques variétés Algériennes de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) par le biais des marqueurs phénotypiques. *J Appl Biosci* 142 (1) : 14464-14477.
- Kizilgeci F. 2019. Physiological, agronomical and quality response of bread wheat to phosphorus application under dryland condition. *Appl Ecol Environ Res* 17 (2): 1979-1987.
- Kong L, Wang F, Feng B, Li S, Si J, Zhang B. 2010. The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): An important photosynthate source for grain-filling. *BMC Plant Biol* 10: 141. DOI: 10.1186/1471-2229-10-141
- Ksouiri R, Megdiche W, Debez A, Falleh H, Grignon C, Abdely C. 2007. Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiol Biochem* 45 (3-4): 244-249. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.02.001
- Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. Academic Press 148: 350-382.

- Lopes MS, Reynolds MP, Jalal-Kamali MR, Moussa M, Feltaous Y, Tahir ISA, Barma N, Vargas M, Mannes Y, Baum M. 2012. The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Res* 128: 129-136.
- Mansouri A, Oudjehih B, Benbelkacem A, Fellahi Z, Bouzerzour H. 2018. Variation and relationships among agronomic traits in durum wheat [*Triticum turgidum* L. Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] under South Mediterranean growth conditions: Stepwise and path analyses. *Intl J Agron*. DOI: 10.1155/2018/8191749
- Maury P, Langlade N, Grieu P, Rengel D, Sarrafi A, Debaeke P, Vincourt P. 2011. Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Agron Innovations* 14 :123-138.
- Mazouz L, Bouzerzour H. 2017. Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride. Synthèse: *Rev Sci Technol* 35 (1) : 45-58.
- Megherbi A, Mehdadi Z, Toumi F, Moueddene K, Bouadjra SEB. 2012. Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Bot Gall* 159(1) : 137-143.
- Mekhlouf A, Bouzerzour H, Bemahammed A, Hadj Sahraoui A, Harkati N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17 (4): 507-513.
- Melki M, Dahmane A. 2008. Identification de quelques mutants de blé dur performants en conditions de sécheresse naturelle. *Sécheresse* 19 (1) : 47-53.
- Menad A, Meziani N, Bouzerzour H, Bemahammed A. 2011. Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): Application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nat Technol* 5: 99-106.
- Merah O, Monneveux P. 2015. Contribution of different organs to grain filling in durum wheat under Mediterranean conditions I. contribution of post-anthesis photosynthesis and remobilization. *J Agron Crop Sci* 201 (5) : 344-352. DOI: 10.1111/jac.12109
- Okamoto Y, Nguyen AT, Yoshioka M, Iehisa JC, Takumi S. 2013. Identification of quantitative trait loci controlling grain size and shape in the D genome of synthetic hexaploid wheat lines. *Breed Sci* 63 (4): 423-429.
- ONFA. 2017. Pré-Bilan de la campagne céréalière 2016/2017. N°2.
- Rasheed A, Xia X, Ogbonnaya F, Mahmood T, Zhang Z, Mujeeb-Kazi A, He Z. 2014. Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheat using digital imaging analysis. *BMC Plant Biol* 14 (1) : 128. DOI: 10.1186/1471-2229-14-128
- Rebetzke GJ, Bonnett DG, Reynolds MP. 2016. Awns reduce grain number to increase grain size and harvestable yield in irrigated and rainfed spring wheat. *J Exp Bot* 67 (9): 2573-2586. DOI: 10.1093/jxb/erw081
- Sahri A, Chentoufi L, Arbaoui M, Muller M. H, Belqadi L, Birouk 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 de l'Er Rich à Imilchil (Maroc). *Rev Marocaine Sci Agron Vet* 2 (2).
- Sallam A, Hamed E. S, Hashad M, Omara M. 2014. Inheritance of stem diameter and its relationship to heat and drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Plant Breed Crop Sci* 6 (1): 11-23.
- Sallam A, Alqudah AM, Dawood MF, Baenziger PS, Börner A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in physiology, breeding and genetics research. *Intl J Mol Sci* 20 (13): 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137
- Salmi M. 2015. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*triticum durum* desf.) sous conditions semi-arides. [Thèse]. Université Ferhat Abbas, Sétif. [Algérie]
- 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. *Eur Sci J* 11 (21): 99-111.
- Safarova G, Akhundova E, Ramazanova M, Salayeva S, Ojaghi J. 2019. Agro-morphological characterization of Azerbaijan durum wheat accessions by multiple statistical analysis. *Khazar J Sci Technol* 3 (1): 5-13.
- Samira IB, Dridi-Mouhanded B, ben Mansour-Gueddes S, Denden M. 2012. 24-Epibrassinolide améliore l'adverse effect of salt stress (NaCl) on pepper (*Capsicum annum* L.). *J Stress Physiol Biochem* 8 (1) :232-240.
- Sanchez-Garcia M, Álvaro F, Martín-Sánchez J.A, Sillero J.C, Escribano J, Royo C. 2012. Breeding effects on the genotype x environment interaction for yield of bread wheat grown in Spain during the 20th century. *Field Crops Res* 126: 79-86.
- Sang D, Chen D, Liu G, Liang Y, Huang L, Meng X, Chu J, Sun X, Dong G, Yuan Y, Qian Q, Li J, Wang Y. 2014. Strigolactones regulate rice tiller angle by attenuating shoot gravitropism through inhibiting auxin biosynthesis. *Proc Natl Acad Sci* 111 (30): 11199-11204.
- Sassi K, Abid G, Jemni L, Dridi-Al Mohandes B, Boubaker M. 2012. Etude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *J Anim Plant Sci* 15: 2157-2170.
- Semcheddine N, Oulmi A, Rouabhi A, Hafsi M. 2017. Relationship between grain yield, agronomic traits and carbon isotope discrimination in durum wheat cultivated under semi-arid climate. *Intl Innovation Appl Stud* 20: 1068-1077.
- Simonneau T, Ollat N, Pellegrino A, Lebon E. 2014. Contrôle de l'état hydrique dans la plante et réponses physiologiques de la vigne à la contrainte hydrique. *Agron Innovations* 38: 13-32.
- Slafer GA, Araus JL, Royo C, Del Moral LFG. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann Appl Biol* 146 (1): 61-70.
- Subhashchandra B, Lohithaswa HC, Desai SA, Hanchinal RR, Kalappanavar IK, Math KK, Salimath PM. 2009. Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat. *Karnataka J Agric Sci* 22 (1): 36-38.
- Toumi M, Barris S, Aid F. 2014. Effects of water and osmotic stress on the accumulation of proline and malondialdehyde (MDA) in two varieties of colza (*Brassica napus* L.). *Bul Sci Inst: Life Sci Sect* 36: 17-24.
- Troll W, Lindsley J. 1955. A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem* 215 (2): 655-660.
- Whan AP, Smith AB, Cavanagh CR, Ral JPF, Shaw LM, Howitt CA, Bischof L. 2014. Grain Scan: A low-cost, fast method for grain size and color measurements. *Plant Methods* 10 (1): 23.
- Xynias IN, Mylonas I, Korpetsis EG, Ninou E, Tsaballa A, Avdikos ID, Mavromatis AG. 2020. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy* 10 (3): 432. DOI: 10.3390/agronomy10030432
- Zarkti H, Ouabbou H, Udupa S. M, Gaboun F, Hilali A. 2012. Agro-morphological variability in durum wheat landraces of Morocco. *Aust J Crop Sci* 6: 1172.
- Zerfa C, Ghenai A, Benlaribi M. 2017. Comportement Phénologique et Morpho-Physiologique de Quelques Génotypes d'orge et de blé. *Eur Sci J* 13 (6): 287-299.
- Zoghmar M, Kara Y, Farhati L, Zelti A.E, Bouchareb R. 2016. Morphological and agricultural diversity of durum wheat varieties sown in a semi-arid area. *Adv Environ Biol* 10 (4): 108- 120

**REGULAR ARTICLE**

## Biological and agronomic characterization of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivated in the region of Constantine, Algeria

Boudersa Nabil<sup>1\*</sup>, Chaib Ghania<sup>1</sup>, Cherfia Radia<sup>2</sup>, Atoui Aicha<sup>1</sup>, Boudour Leila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques (La D.V.R.P), Département de Biologie et Ecologie végétale, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Frères Mentouri Constantine 1, Route d'Ain El Bey, Constantine 25017, Algérie

<sup>2</sup>Laboratoire de Mycologie, de Biotechnologie et de l'Activité Microbienne (LaMyBAM), Département de Biologie Appliquée, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Frères Mentouri Constantine1, BP, 325 Route d'Ain El Bey, Constantine 25017, Algérie

**ARTICLE INFO****Article History:**

Received: 30 May 2021

Revised: 5 Jul 2021

Accepted: 11 Jul 2021

**\*Corresponding Author:**

Email: nabil.boudersa@

student.umc.edu.dz

Telephone: 00213671977482

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.; *Hordeum vulgare* L.; Diversity; Characterization; Correlation

**ABSTRACT**

The biological and agronomic characterization of cereals constitutes a preliminary and essential step for the assessment of genetic diversity state which must be valued, exploited and known in a clear and complete manner in order to be able to exploit them in improvement and adaptation programs of cereals. In this context, our study was carried out during the 2018/2019 agricultural campaign on the experimental site of the technical institute of field crops ITGC of El Khroub (Constantine, Algeria). Its objective was to characterize the biological and agronomic diversity in two cereal species, bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) by evaluating many pheno-morphological, physiological and biochemical characters as well as production traits (agronomic traits). The correlation coefficients analysis between traits indicates that the short and early heading varieties which accumulate less proline are more productive than varieties which are characterized by long straw and late heading in both species. However, it has been noted that barley varieties reach heading before bread wheat varieties. In addition, it shows that the grain yield is positively correlated with these components, in particular with the number of seeds per ear, the number of ears per square meter, and with the following parameters: the surface of the flag leaf and its content of chlorophyll pigments, the totality of the ear characteristics such as the length of the ear neck. These results lead us to say that an indirect selection via these crops can be beneficial for the production and improvement programs of cereals.

**1. Introduction**

The cultivation of cereals is very old in Northeast Africa, particularly in Algeria. Almost all of the nutrition of the world's population is provided by

grain foods of which 95% is produced by cereal crops. These cereal crops are the basis of agricultural research programs (Oulmi et al., 2017). Indeed. Cereal production in semi-arid zones remains relatively low and very irregular in spatio-temporal

dimensions (Ceccarelli, 2010 ; Menad et al., 2011). Indeed, the annual production of cereals in Algeria has fluctuated from the country's independence in 1962 to today between 1 and 4.5 million tonnes, which covers 20% of the population's food needs (Benniou et al., 2018). Bouziani and Benmoussa (2015) attributed this low level of production to three main factors: (i) the cereal production is located in semi-arid and arid areas that subjected to climatic hazards, generating average levels of productivity ; (ii) the lack of mastering production techniques by farmers; (iii) the poor choice of plant material adapted to environmental conditions where water is a limiting factor. In reality, this situation can only be resolved by a real and effective increase in yields through the application of better management of the technical routes in place (soil preparation, date and dose of sowing, irrigation, fertilization, weed control, and disease control). As well as by genetic improvement which allows the creation of varieties with good quality, high yield, adapted to climatic variations and resistant to diseases (Amallah et al., 2016). The success of this strategy requires a complete and a precise assessment of the genetic resources that constitute a heritage that is necessary to preserve and explore it in order to better exploit it (Ghennai et al., 2017). Several previous studies have focused on estimating the genetic diversity of cereals in Algeria, through the use of different data sets such as SSR molecular markers (Kirouani et al., 2018), biochemical markers (Atoui et al., 2021), and agro-morphological characters (Boudersa et al., 2021). Many researchers have used agronomic traits to estimate the genetic diversity (Chahredine and Benderradji 2019). The characterization of these genetic resources constitutes an important step for the evaluation of the state of genetic variation over time, knowledge of which constitutes a prerequisite for varietal improvement through adequate and necessary genetic manipulations. In this context, our study aimed to (i) assess the intra and inter-specific variability by studying the pheno-morpho-physiological and agronomic characters for a few varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.), (ii) analyze the different interactions existing between the measured variables which can be useful in the selection process.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Plant material

The plant material used in our study consisted of three species of straw cereals. The test involved three varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and three varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.). These varieties were brought from different regions of Algeria and are kept at the I.T.G.C. of El Khroub-Constantine. The name, the pedigree, and the origin of the varieties are shown in Table 1.

Species	Variety	Pedigree	Origin
Bread wheat ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	ARZ	Mayo54/LR64/IITAC 'S'/3/LR64	Mexico
	Ain abid	AS 81189'A'	Spain
	Hidhab	HD1220/*Kal/Nal CM 40454	Mexico
Barley ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	Fouara	Deir alla106/Strain 205// Gerbel	Algeria
	Barberousse	Barberousse/PI382696 //gloria: hv/ comanche-B	France
	Saida	Saida/6/cita'S'/4/ Apm/RI//Manker/3/ Maswi/ Bon/5/Copal'S'/7/	Algeria

Table 1: Name, pedigree, and origin of the used varieties.

### 2.2. Conduction of the test

The test was set up during the 2018-19 agricultural campaign at the experimental station of the ITGC. Details of the geographic coordinates, climatic conditions and soil characteristics of the study area are presented in Table 2.

Characteristics of the experimental site	
Geographic coordinates	High plains
Latitude	36°25'N
Longitude	6°67'E
Altitude	640 m
Climate type	Mediterranean type, Semi-arid
Rainfall (Novembr-June) mm	370
Minimum temperature (°C)	7.08
Maximum temperature (°C)	26.32
Soil characteristics	Clay-loam with clay varies from 30 to 39% and organic matter 0.95-1.25 %, rich in limestone with a content of 12%.

Table 2: Geographic coordinates, climatic conditions and soil characteristics of the -field trial location.

The sowing was carried out on January 03<sup>rd</sup>, 2019 on elementary plots of 6m<sup>2</sup> of each according to a simple device which consists of distributing the plots CÔTE to CÔTE. Each elementary plot receives a unique treatment at a density of 250 grains/m<sup>2</sup>.

### 2.3. Measurements and Notations

The measurements taken during this agricultural campaign are summarized in Heading date (DH, days). To determine the heading period, the date must be mentioned when 50% of the spikes of the elementary plot have emerged from the sheath of the last leaf, in number of spikes by counting the spikes of the samples and the number is reduced to the unit area ( $m^2$ ) ( $NS / m^2$ ), the number of grains per spike ( $NG / S$ ). The weight of thousand grains (WTG, g) and the grain yield (GY, t / ha). The height of the plant (HP, cm), the area of flag leaf (AFL,  $cm^2$ ), the length of the spike (LS, cm) barbes none included, the length of the spike peduncle (LSP, cm), the length of beards (LB, cm). The relative water content (RWC, %) was determined by the method of Barrs (1968), the determination of chlorophyllian pigments Chl (a), Chl (b), Chl (t) ( $\mu g / g$  FM) was established according to the method of Lichtenthaler (1987). The determination of proline (Pro, mg / g DM) was carried out according to Troll and Lindsey (1955).

#### 2.4. Data treatment

The obtained results were analyzed using the statistical program SPSS v.25. Statistical analyses in-

cluded the correlations, the analysis of variance and the principal component analysis.

### 3. Results

The obtained results by measuring the various variables are presented in Table 3.

The analysis of the phenology and in particular the duration of heading revealed an intra and an inter-specific variation in the two studied species. Indeed, it was found that the genus *Hordeum* covers varieties that are earlier than the genus *Triticum*. Heading time has been found to vary from 109 (in the case of Fouara and Saida varieties) to 113 days in Barberousse variety. Regarding the bread wheat, the heading duration is 114 days for ARZ and 116 days for Hidhab compared to 122 days for Ain abid variety.

As for the evaluated agronomic characteristics, the values recorded for the  $NS / m^2$  vary between  $160.00 \pm 3.46$  and  $204.00 \pm 2.00 S / m^2$  for Ain abid and Hidhab respectively for bread wheat, and between  $120.00 \pm 6.11$  and  $156.00 \pm 2.00 S / m^2$  for Barberousse and barley Saida. The  $NG / S$  ranged

	Species					
	<i>Triticum aestivum</i> L.			<i>Hordeum vulgare</i> L.		
	ARZ	Ain abid	Hidhab	Fouara	Barberousse	Saida
RWC (%)	84.38±7.65	83.38±0.73	73.12±3.06	73.13±3.68	59.13±8.23	53.22±6.44
Chl a ( $\mu g / g$ FM)	166.25±12.90	83.59±6.70	92.52±16.50	75.73±16.60	65.38±5.02	81.49±4.74
Chl b ( $\mu g / g$ FM)	77.69±10.62	35.68±9.17	39.51±1.61	56.67±2.64	25.99±2.12	35.76±7.48
Chl t ( $\mu g / g$ FM)	243.94±27.34	119.27±23.46	132.03±10.46	132.40±14.55	91.38±5.52	117.26±11.76
Pro (mg / g D M)	0.20±0.04	0.56±0.02	0.40±0.04	1.08±0.07	1.50±0.02	1.40±0.03
AFL ( $cm^2$ )	22.50±3.16	32.50±2.14	30.50±0.5	13.54±3.16	7.64±1.34	7.73±0.84
HP (cm)	84.20±0.72	104.6±6.61	98.40±6.32	85.50±1.80	106.1±1.65	90.3±1.57
LS (cm)	10.65±1.23	9.80±0.35	12.45±0.43	4.55±0.50	5.00±1.00	6.55±0.42
LSP (cm)	22.65±1.26	17.50±2.18	20.85±1.23	24.65±0.78	17.80±0.75	19.70±0.20
LB (cm)	4.30±0.35	3.50±0.50	3.90±0.17	9.70±0.60	15.40±0.52	12.70±0.26
NG/S (G/S)	50.00±2.00	42.00±2.00	38.66±1.15	48.66±1.15	45.33±1.15	30.66±1.15
NS/ $m^2$ (S/ $m^2$ )	189.00±3.61	160.00±3.46	204.00±2.00	152.00±3.00	120.66±6.11	156.00±2.00
WTG (g)	32.65±0.32	31.35±0.79	30.75±0.63	40.232±0.116	28.80±0.17	47.762±0.06
DH (Days)	114.00	122.00	116.00	109.00	113.00	109.00
GY (t / ha)	3.08±0.73	2.11±1.95	2.42±1.44	2.97±0.94	1.57±0.92	2.28±0.88

Table 3: Variables average values measured in the studied varieties (n = 3).

between  $38.60 \pm 1.15$  and  $50.00 \pm 2.00$  G / S for bread wheat for Hidhab and ARZ, while it was between  $30.66 \pm 1.15$  and  $48.66 \pm 1.15$  G / S for barley (Saida and Fouara, respectively). The values recorded for WTG vary between  $30.75 \pm 0.63$  and  $32.65 \pm 0.32$  g for bread wheat (ARZ and Ain abid, consecutively), and between  $28.80 \pm 0.17$  and  $47.76 \pm 0.06$  g for barley (Barberousse and Saida, respectively). Concerning the GY, the highest value of bread wheat was marked by ARZ  $3.08 \pm 0.73$  t / ha. However, the low value was observed in Ain abid variety  $2.11 \pm 1.95$  t / ha. On the other hand, the maximum yield in barley was observed in Fouara at  $2.97 \pm 0.94$  t / ha and the minimum in Barberousse  $1.57 \pm 0.92$  t / ha.

With regard to the evaluated morphological variables in bread wheat, the ARZ variety was marked by the highest values for all the measured variables, namely AFL, LS, LSP, and LB. However, this variety showed the lowest HP value, unlike Ain abid, which was characterized by the lowest values for AFL, LS, LSP, LB, and the highest value for HP.

In barley, the HP oscillated between  $85.50 \pm 1.80$  and  $106.10 \pm 1.65$  cm. The highest height  $106.10 \pm 1.65$  cm was noted in Barberousse. The low height  $85.50 \pm 1.80$  cm was observed in Fouara. The AFL fluctuated between  $7.64 \pm 1.34$  and  $13.54 \pm 3.16$  cm<sup>2</sup>. The largest surface  $13.54 \pm 3.16$  cm<sup>2</sup> was recorded in Fouara variety, while the smallest area  $7.64 \pm 1.34$  cm<sup>2</sup> was observed in Barberousse. Furthermore, the LSP results showed that the longest neck  $24.65 \pm 0.78$  cm was recorded in Fouara while the shortest was observed in Barberousse with  $17.80 \pm 0.75$  cm. For LB, the values recorded for this parameter ranged between  $9.70 \pm 0.60$  and  $15.40 \pm 0.52$  cm, Barberousse was characterized by the longest beard while the shortest beard was noted in Fouara. The LS values varied from  $4.55 \pm 0.50$  and  $6.55 \pm 0.42$  cm, in which the longest spike  $6.55 \pm 0.42$  cm was obtained from Saida while the shorter  $4.55 \pm 0.50$  cm was marked in Fouara variety.

In physiological terms, the ARZ variety of bread wheat and the Fouara variety of barley were distinguished by the best performing values for the rate of chlorophyll pigments (Chl a =  $166.25 \pm 12.90$ , Chl b =  $77.70 \pm 10.62$ , Chl T =  $243.95 \pm 27.34$  µg / g MF for ARZ), and (Chl a =  $81.50 \pm 16.60$ , Chl b =  $56.67 \pm 2.64$ , Chl T =  $138.17 \pm 14.55$  µg / g MF for Fouara ). On the other hand, the lowest values were displayed by the Ain abid variety of bread wheat (Chl a =  $83.59 \pm 6.70$ , Chl b =  $35.68 \pm 9.17$ , Chl T =  $119.27$

$\pm 23.46$  µg / g MF) and by the Barberousse variety of barley (Chl a =  $65.38 \pm 5.02$ , Chl b =  $26.00 \pm 2.12$ , Chl T =  $91.38 \pm 5.52$  µg / g MF). For the WRC, the maximum values  $84.38 \pm 7.65$  and  $73.13 \pm 3.06\%$  were recorded for ARZ and Fouara while the minimum values  $73.13 \pm 3.68$  and  $53.23 \pm 6.44\%$  were noted for Hidhab and Saida of bread wheat and barley, consecutively.

The determination of proline revealed that the highest concentrations were marked by Ain abid bread wheat variety and Barberousse of barley with  $0.57 \pm 0.02$  and  $1.51 \pm 0.02$  mg/ g DM. While the lowest concentrations  $0.21 \pm 0.04$  and  $1.08 \pm 0.07$  mg/g DM were recorded at the content of the leaves of the varieties ARZ and Fouara.

### 3.1. Statistical analysis

In order to better understand and assess the possible relationships between the different studied variables, the principal component analysis of the 15 measured variables in the two species *Triticum* and *Hordeum* was used. The latter has the advantage of characterizing a given genotype by a numerical value, linked to a given axis, representing a set of characters that are specific to this genotype. These numerical values can be taken as being an integrating index of several characteristics of the studied genotypes (Oosterom *et al.*, 1993).

#### 3.1.1. For Bread wheat

The two axes 1, 2 respectively explain 72.01% and 27.98%, or 100% of the total variability. From Figure 1, the first axis on its positive side carries most of the information which is explained mainly by GY, LSP, LB, NG / S, WTG, chlorophyll pigment content, and AFL. These variables play a very important role in determining productivity. On its negative side it is formed by HP, Pro and DH, which largely express tolerance and adaptation. The WRC, LS and NS / m<sup>2</sup> contribute to the formation of the axis 2.

Also, from Figure 1, it can be seen that the ARZ variety is an early variety which is characterized by a

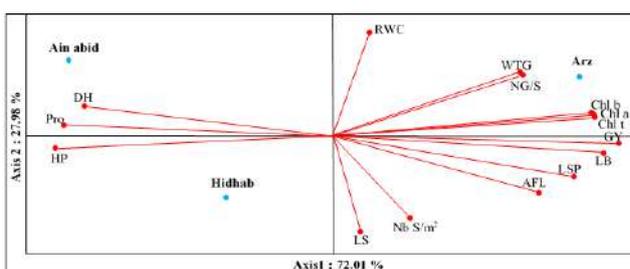


Figure 1: Distribution of variables and varieties in function of two principal components for bread wheat.

	GY	HP	PRO	LB	Chl a	Chl t	Chl b	LSP	DH	AFL	NG/S	WTG	LS	WRC	NS/m <sup>2</sup>
Axis 1	.999	-.998	-.995	.986	.967	.965	.963	.943	-.901	.877	.789	.780	.152	.245	.516
Axis 2	-.042	-.056	.103	-.166	.255	.261	.271	-.332	.433	-.480	.614	.626	-.988	.970	-.857

Table 4: Components' matrix.

short straw and accumulates less Pro. In addition, it includes the highest values for the following variables: GY, LSP, LB, NG / S, WTG, the rate of chlorophyll pigments, and AFL. At the opposite side, the Ain abid variety is found which represents the late variety, the longer one, and which accumulates more proline compared to other bread wheat varieties. As far as the Hidhab variety seems to contain the mean values for all the measured variables.

In order to support the obtained results by PCA assay, a one-factor ANOVA test was carried out. This test concerns the parameter which better discriminates the studied varieties, namely the yield (table 4), the test of homogeneity of variances (Table 5) gives a Levene statistics of 3.158 (Sig = 0.116) which means equality of the three variances.

Statistic of Levene	ddl1	ddl2	Sig
3.158	2	6	0.116

Table 5: Test of variances homogeneity.

The observed F is 27.777 (Sig = 0.001) which expresses a significant difference between the three varieties from the yield point of view, Tukey's post-hoc test revealed the existence of two groups (table 6): the 1<sup>st</sup> group formed by the variety ARZ and the 2<sup>nd</sup> group includes the two other varieties namely Hidhab and Ain abid.

Grain yield				
Varieties		N	Sub-division for $\alpha = 0.05$	
			1	2
Test of Tukey	Ain abid	3	2.111 <sub>a</sub>	
	Hidhab	3	2.427 <sub>a</sub>	
	ARZ	3		3.084 <sub>b</sub>
	Signification		0.062	1.000

Table 6: Homogeneous groups according to the Tukey test.

Note: a, b and c indicate the homogeneous groups.

Besides, Figure 2 clearly shows that the studied varieties are distributed differently in terms of production, the ARZ variety is characterized by the greatest average yield with  $3.08 \pm 0.73$  t / ha followed by the Hidhab variety which is not very different from the Ain abid variety with means of  $2.42 \pm 1.44$  and  $21.11 \pm 1.95$  t / ha, respectively.

### 3.1.2. For Barley

It was noted that the first axis alone explains

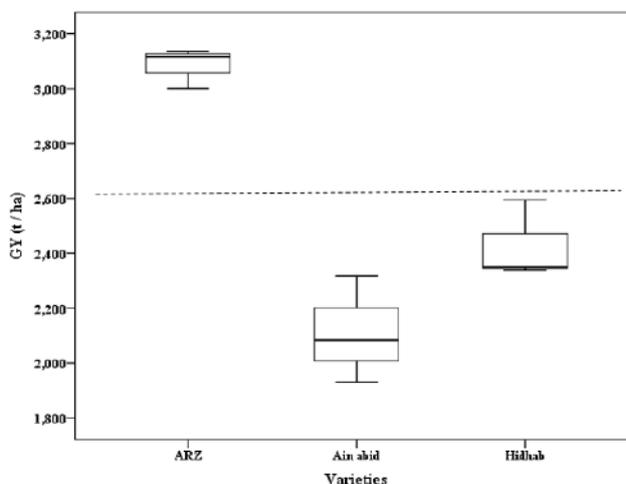


Figure 2: Graphical comparison of grain yield (GY) averages for bread wheat varieties.

62.62% of the information; the first two axes develop 100% of the total variation. So these two axes clearly summarize the information provided by all the initial variables. On the positive side, the first component (axis 1) integrates information on the variation of variables: GY, NS / m<sup>2</sup>, WTG, WRC, all chlorophyll pigments, AFL, LS and LSP. While, on the negative side, the HP, the DH and the Pro were presented. Along this axis 1, the phenology and the morphological characteristics are related to production capacities. The NG / S, WRC and LB variables determine the axis 2 on the positive side, and the WTG on the negative side.

This distribution of variables along the two axes makes it possible to characterize the studied varieties and to group together individuals that are more or less alike on the basis of one or more of the measured variables. The information provided by axis 1 indicates that the Fouara variety was characterized by high values of GY, NS / m<sup>2</sup>, WTG, WRC, all chlorophyll pigments, AFL, LS, and LSP. In contrast to the Barberousse variety which seems less performing for the previous variables, it is distinguished by a long heading duration, a higher HP, and a strong accumulation of proline. The Saida variety includes average values for the majority of the studied variables. However, it discriminates by the highest values for NS / m<sup>2</sup>, WTG and LSP (Figure 3).

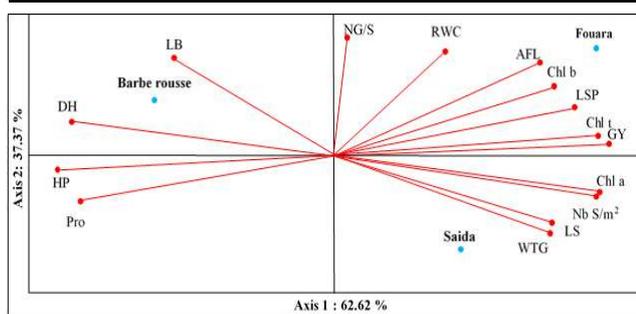


Figure 3: Distribution of variables and varieties in function of two principal components for Barley.

To confirm the observed results in PCA, a one-factor ANOVA test was performed. This test is limited to the parameter which better discriminates between the studied varieties, namely the Yield (Table 7). The homogeneity of variances test (Table 8) gives a Levene statistics of 0.02 (Sig = 0.981) which is expressed as an equality of 03 variances.

Levene statistics	ddl1	ddl2	Sig
0.020	2	6	0.981

Table 8: Test of variances homogeneity

The observed F value is 174.413 (Sig = 0.00) indicates that the three varieties do not have the same behavior in production traits, Tukey's post hoc test revealed the existence of three groups (Table 9): the 1<sup>st</sup> group formed by the Fouara variety, the 2<sup>nd</sup> group includes the Saida variety, and the 3<sup>rd</sup> formed by the Barberousse variety.

Grain yield					
Test of Tukey	Varieties	N	Sub-division for α = 0.05		
			1	2	3
	Barberousse	3	1.575 <sub>a</sub>		
	Saida	3		2.284 <sub>b</sub>	
	Fouara	3			2.976 <sub>c</sub>
	Signification		1.000	1.000	1.000

Table 9: Homogeneous groups according to the Tukey test. Note : a, b and c indicate the homogeneous groups.

From the Figure 4, it becomes clear to us that the studied varieties are distributed differently in terms of yield; the highest yield is marked in the Fouara variety with  $2.97 \pm 0.94$  t / ha, followed by the Saida variety with  $2.28 \pm 0.88$  t / ha and finally the Barberousse variety which scored the lowest value for this criterion with  $1.57 \pm 0.92$  t / ha.

4. Discussion

	GY	LB	Chl t	HP	Chl b	LSP	Pro	DH	AFL	NS/m <sup>2</sup>	NG/S	LS	WTG	WR C	Chl a
Axis 1	.991	-.988	.982	-.928	.924	-.915	.894	.884	.873	.795	.739	.034	-.534	.575	.706
Axis 2	.133	-.157	.189	.373	.383	-.404	-.447	-.467	.487	.607	-.674	.999	.845	.818	-.709

Table 7: Components' matrix.

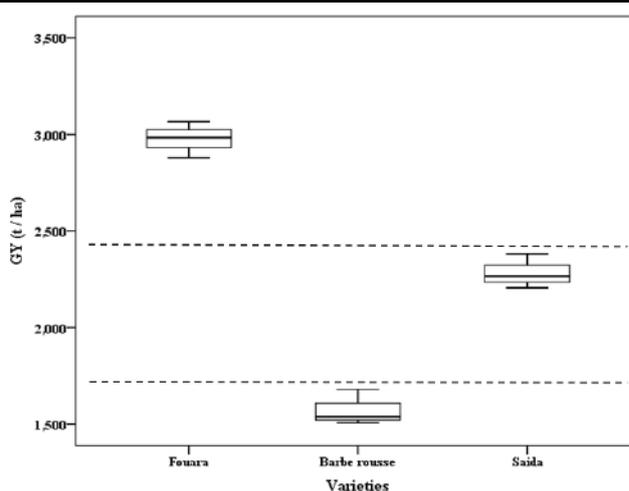


Figure 4: Graphical comparison of grain yield (GY) averages for Barley varieties.

In any genetic improvement scheme, the breeder can only act when there is a certain genetic diversity in traits. In fact, in order to assess this diversity, it is first necessary to know the genetic characteristics of the studied plant material which are materialized. On the one hand by, the phenotypic characters appearing in the morpho-physiology and in the phenology; and on the other hand by, the production traits represented by the yield and its components. The knowledge of this diversity is a prerequisite for varietal improvement through appropriate genetic manipulations.

Through this study, we tried to assess and to characterize the biological and the agronomic diversity of two cereal genera from the study of a set of characteristics associated with productivity and adaptation; in order to extract the most useful and which can be used by breeders in a breeding program.

The obtained results for all the characteristics of the studied varieties indicated the presence of great variability. The genetic response of varieties is strongly influenced by environmental conditions. Rainfall and the variability of thermal amplitudes reduce the growth and the development of plants (Khan et al., 2010).

The phenology analysis, particularly the duration of heading (DH) which provides relatively precise information on the precocity of the varieties, re-

vealed an intra and an inter-specific variability in the two studied genera; the comparison of the obtained values in the two genera with those of Soltner (2005) clearly showed that these varieties are of the alternative type. Indeed, it was noted that the genus *Hordeum* covers earlier varieties than the genus *Triticum*, and within each there is a notable variation in terms of this criterion. In this context, it was noted that the two varieties of barley; Fouara and Saida; are distinguished by a short half-heading duration (109 days) compared to the Barberousse variety (113 days). While in bread wheat it is the ARZ variety which was discriminated by early heading (114 days) followed by the Hidhab variety (116 days), then the Ain abid variety (122 days).

These results are consistent with those of Algerian farmers, who resort to barley cultivation in the most remote areas of the semi-arid where the drought period is notified sooner. This remarkable intra-specific and inter-specific diversity offers wide possibilities in the choice of varieties according to the cultivation areas for which they are intended. Similar results have been obtained by Zerafa et al. (2017).

In addition, the obtained results in PCA showed that the GY is the criterion which well differentiates (clearly distinguishes) the studied varieties, whether in bread wheat or in barley, a selection based solely on the yield is difficult and inefficient due to annual variations in climatic conditions. As a result, yield becomes a complex selection criterion. Hence, it is necessary to test plant material across a range of sites over several seasons to obtain relatively accurate results (Kadi et al., 2010). Therefore, it is essential to switch to indirect breeding for yield via easily and very early measurable traits in the plant's development cycle. The study of correlations between traits is an essential step in the field of selection. It is important to know how improving one character will make other characters varied.

Analysis of correlation coefficients (Table 10 for bread wheat and Table 11 for barley) showed a negative and a significant relationship between DH and  $NS / m^2$  and GY in both bread wheat and barley. These results suggest that early growth gives a high number of spikes per  $/ m^2$ , which leads to improved grain yield. Megherbi et al. (2012) asserted that the adoption of relatively short-cycle varieties in arid to semi-arid areas is necessary, this biological mechanism is a desirable characteristic and could be quantified as evasive since early geno-

types can realize their cycle through avoiding terminal drought. However, the increase in the earliness of cereals, although it has given undeniable results, is not without its drawbacks. It contributes, among other things, to reduce productivity and is only suitable for late and short-lived drought (Melki and Dahmane, 2008). Our results are in agreement with those of (Khennaoui et al., 2016; Karkour et al., 2019).

On the other hand, it was emerged that the GY is positively correlated with its components (NG / S, NS /  $m^2$ , WTG) in the two genera. These results are in agreement with several studies which showed that the yield is made up of different components which are set up successively or simultaneously during the development of the culture (Mansouri et al., 2018). In addition, Ghennai et al. (2017) reported that grain yield is determined by its components such as 1000 grains weight, number of grains per spike, and biomass; this means that all yield components have a considerable contribution to grain yield and that any direct or indirect disturbance affecting any of the yield components inevitably affects the grain yield. According to Tattaris et al. (2016), selecting one of the yield components could significantly improve yields. Overall, these results corroborate those reported by (Fellahi et al., 2013; Kandel et al., 2017).

Another finding showed a negative correlation in barley genus between NG / S and WTG. This last result is the consequence of an established competition between the grains for assimilates which often generates the fall of the WTG, that is to say the production of a lot of grains / spike influences negatively the WTG which corresponds to a weak filling of the grains. This is perfectly consistent with the results obtained by (Bouziani and Benmoussa, 2015; Chahredine and Benderradji, 2019).

Also GY has exhibited positive correlations with AFL and all chlorophyll pigments, which are positively related in both genera. Overall, these results are in agreement with those of Salmi et al. (2015); Himani et al. (2018) who reported that a large flag leaf is certainly desirable in favorable environments, since this organ is the last remaining active, with the spike and the barbs. An increase in AFL induces an increase in photosynthetic capacity for the synthesis of organic compounds which are favorable to high yield. Moreover, Sallam et al. (2019) reported that chlorophyll has an important role in energy production in plants, since they suffer from insufficient energy necessary for normal growth. For this

	RWC	Chl a	Chl b	Chl t	Pro	AFL	HP	LS	LSP	LB	NG/S	NS/m <sup>2</sup>	WTG	DH	GY
RWC	1.000														
Chl a	.484	1.000													
Chl b	.498	1.000	1.000												
Chl t	.489	1.000	1.000	1.000											
Pro	-.144	<b>-.936*</b>	<b>-.930*</b>	<b>-.934*</b>	1.000										
AFL	-.250	.726	.715	.722	-.922	1.000									
HP	-.298	-.980	-.976	-.978	<b>.987*</b>	-.849	1.000								
LS	-.921	-.105	-.121	-.111	-.253	.608	-.097	1.000							
LSP	-.092	.827	.818	.824	-.972	.987	-.923	.472	1.000						
LB	.080	.911	.904	.909	-.998	.945	-.975	.314	.985	1.000					
NG/S	.788	.920	.926	.922	-.722	.398	-.822	-.487	.540	.676	1.000				
NS/m <sup>2</sup>	-.705	.280	.264	.275	-.601	.863	-.467	.925	.771	.651	-.119	1.000			
WTG	.798	.914	.920	.916	-.711	.384	-.813	-.500	.527	.665	1.000	-.134	1.000		
DH	.199	-.761	-.750	-.757	<b>.941*</b>	-.999	<b>.876*</b>	-.565	-.994	-.961	-.446	<b>-.836*</b>	<b>-.432*</b>	1.000	
GY	.203	<b>.955*</b>	<b>.950*</b>	<b>.953*</b>	<b>-.998*</b>	<b>.897*</b>	<b>-.995*</b>	.194	<b>.956*</b>	<b>.992*</b>	<b>.762*</b>	<b>.552*</b>	<b>.752*</b>	<b>-.919*</b>	1.000

Table 10: Correlation coefficients matrix of the various analyzed variables (Bread wheat). (\*) Significant correlation

	RWC	Chl a	Chl b	Chl t	Pro	AFL	HP	LS	LSP	LB	NG/S	NS/m <sup>2</sup>	WTG	DH	GY
RWC	1.000														
Chl a	.149	1.000													
Chl b	.993	.034	1.000												
Chl t	.897	.570	.840	1.000											
Pro	<b>-.857*</b>	<b>-.637*</b>	<b>-.792*</b>	<b>-.966*</b>	1.000										
AFL	.954	.440	.912	.989	-.972	1.000									
HP	-.697	-.813	-.609	-.942	<b>.967*</b>	-.881	1.000								
LS	-.126	.962	-.240	.324	-.403	.178	-.623	1.000							
LSP	.845	.655	.777	.994	-.1000	.967	-.972	.424	1.000						
LB	.384	-.856	.488	-.063	.147	.088	.395	-.964	-.170	1.000					
NG/S	.837	-.417	.895	.510	-.435	.633	-.191	-.649	.414	.827	1.000				
NS/m <sup>2</sup>	.127	1.000	.011	.551	-.620	.420	-.800	.968	.638	-.867	-.437	1.000			
WTG	-.174	.948	-.286	.279	-.359	.131	-.585	.999	.380	-.976	-.684*	.955	1.000		
DH	-.229	-.997	-.115	-.635	<b>.698*</b>	-.511	<b>.858*</b>	-.937	-.714	.811	.341	<b>-.995*</b>	<b>-.919*</b>	1.000	
GY	<b>.679*</b>	<b>.827*</b>	<b>.590*</b>	<b>.933*</b>	<b>-.960*</b>	<b>.869*</b>	<b>-.1000*</b>	<b>.642*</b>	<b>.967*</b>	-.417	.167	<b>.814*</b>	<b>.605*</b>	<b>-.870*</b>	1.000

Table 11.: Correlation coefficients matrix of the various analyzed variables (Barley). (\*) Significant correlation

reason, breeders and geneticists should choose wheat and barley varieties capable of supporting the photosynthetic system under unfavorable conditions to reduce grain yield losses.

Likewise, a positive correlation was marked between GY and RWC in the two studied genera. According to Sallam et al. (2019), RWC is a measure of plant water status, reflecting tissue metabolic activity and used as the most significant index of tolerance to dehydration. Nezhadahmadi et al. (2013) has also suggested that genotypes with good water management can produce high yields under stressful conditions, and can therefore be used to create new breeding lines and cultivars that have developed resistance to stress. Furthermore, and from our results, it was emerged that the GY is positively correlated with all of the spike characteristics (LS, LSP, LB) in the two genera except for the recording of a negative relationship between the GY and LB in barley. Many authors have emphasized the important role of a long spike (Iftikhar et al., 2012; Allahverdiyev, 2016). According to Subhashchandra et al. (2009) the length of the spike has a positive and a high direct effect on the yield / plant. Similarly, Djekoun et al. (2002) reported that high spike length is a predictor of a high harvest index and a high yield potential. Therefore, an increase in the length of the spike contributes to an increase in photosynthetic capacity. Thus Slama et al. (2005) reported that barbs can improve yield in drought conditions by increasing the photosynthetic area of the spike after flag leaf senescence. With regard to LSP, several authors have concluded that this latter plays an essential role during the grain filling period by transmitting the photosynthetic assimilates stored in this part of the plant to the grains (Kong et al., 2010; Kahali et al., 2016).

Besides, a negative correlation was recorded between GY and both its components and PH in the two genera. These results indicate that the GY is higher for short varieties than for tall varieties. Kirouani et al. (2019) attributed the reason to the fact that tall varieties lack the ability to provide the necessary energy and assimilations for spike formation and tiller elongation at the same time. In addition Benniou et al. (2018) showed that short plants are more productive than tall straw plants. Since the former have a high tillering capacity, each tiller will lengthen and put an inflorescence which increases the spike stock, therefore, an increase in yield. In contrast, it has been found that greater plant height has a positive effect on yield in dry

Mediterranean rainy conditions; for this reason, it is desirable that genotypes retain their height in arid rain-fed areas (Royo et al., 2014) compared to irrigated areas (Mwadzingeni et al., 2016). Additionally, Mansouri et al. (2018) reported that the cycle and the size of the plant should not be too short for the reason that these characteristics reduce yields under both stressful and optimal conditions. This can be attributed to the low capacity to accumulate enough stalk reserves to distribute them to the grains. On the other hand, Mazouz and Bouzerzour, (2017) stated that in order to obtain better yields, it is recommended to focus on the use of varieties with an intermediate stubble in order to reduce negative indirect effects on the number of grains / m<sup>2</sup>.

Equally, the HP is positively correlated with the DH and the Pro. These results are in agreement with those reported by Fellah et al. (2002) who showed that tolerant genotypes to abiotic stress are less productive. So, they are taller and later in the heading stage. Hazmoune and Benlaribi, (2004) revealed that the fundamental biological mechanisms of stress tolerance such as the reduction of the leaf area, the stomatal regulation, and the osmotic regulation that contribute to the maintenance of a water balance between the plant and the soil, disturb both the proper functioning of the plant and consequently limit its production. Likewise, a negative correlation was noted between Pro and all chlorophyll pigments. This finding leads us to suggest that plants which accumulate the most proline are also those which experience the greatest reduction in these chlorophyll pigments contents. Tahri et al. (1998) hypothesized the existence of a plausible connection between the biosynthetic pathways of chlorophyll pigments and the proline. A competition between these two compounds on their common precursor, glutamate (Ledily et al., 1993). Our results are also supported by Laala et al., (2012) and Hana et al. (2014). Conflicting results are reported by Merabta et al. (2018) who came to a conclusion that there was no relationship between the evolution of proline and that of chlorophyll under stress conditions.

## 5. Conclusion

In the light of the obtained results in this study, the following notes can be extracted; the intra- and the inter-specific diversity observed between the studied varieties, in the two genera, is a genetic reality which provides a rich material to the breeders. These latest must exploit and enhance it in order to

achieve valuable objectives by improving the quantity and the quality of the grain yield as well as orienting the selection pathway. These results lead us to say that the genus *Hordeum* contains varieties that are earlier than those of the genus *Triticum*, this is a fact that has been known for a very long time. They have also been shown that barley is more tolerant of possible stress than bread wheat, due to the large accumulated amounts of proline. In addition, they reflect that early varieties are more productive than late varieties; this precocity must be associated with good water management, intermediate-sized stubble, and good morphological (AFL, LS, LSP, LB) and production characteristics (leaf chlorophyll content, NG / S, NS / m<sup>2</sup>, WTG) in both bread wheat and barley.

## References

- Allahverdiyev T (2016)** Yield and yield traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress. *Genetika* 48 : 717-727.
- Amallah L, Hassikou R, Rhrib K, Gaboun F, Ennadir J, Bouazza F, Rochd A, Arahou M, Diria G, Taghouti M (2016)** Genetic diversity analysis of durum wheat collection by agro-morphological and biochemical markers. *Journal of Materials and Environmental Science* 7 : 2435-2444.
- Atoui A, Boudour L, Chaib G, Boudersa N (2021)** Evaluation of diversity in some genotypes of Algerian durum wheat using agronomical and biochemical markers. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22: 2005-2011.
- Barrs H.D (1968)** Determination of water deficits in plant tissues. *Water Deficit and Plant Growth* 1: 235-368.
- Benniou R, Badache F, Regoub A, Bendada H (2018)** Comparative study of the compartment and adaptation of different genotypes durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in a semi-arid area in eastern Algeria. *Revue Agriculture* 9 : 16-31.
- Boudersa N, Chaib G, Atoui A, Cherfia, R, Bouderbane H, Boudour L (2021)** Assessment of biological and agronomic diversity of seven durum wheat varieties cultivated in the Northeastern region of Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22: 1025-1036.
- Bouziani Y, Benmoussa M (2015)** Impact de l'interaction génotype -environnement sur le rendement et ses composantes d'une gamme variétale de blé tendre (*Triticum aestivum* em thell). *Revue Agrobiologia* 7: 51-56.
- Ceccarelli S, S Grando, Maatougui M, Michael M, Slash M, Haghparast R, Rahmanian M, Taheri A, Al-yassin A, Benbelkacem A, Labdi M, Mimoun H, Nachit M (2010)** Plant breeding and climate changes. *Journal of Agricultural Science* 148 : 627-637.
- Chahredine S, Benderradji L (2019)** Evaluation of genetic progress in fifteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties growing in Algeria. *Agriculture and Forestry Journal* 3 : 15-22.
- Djekoun A, Ykhlef N, Bouzerzour H, Hafsi M, Hamada Y, Kahali L (2002)** Production du blé dur en zone semi-aride : identification des paramètres d'amélioration du rendement. Journées scientifiques sur le blé 11, 12,13 Février. Université Mentouri. Constantine. Algérie.
- Fellah A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Djekoun A (2002)** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 22 : 161-168.
- Fellahi Z.E.A, Hannachi A, Bouzerzour H, Boutekrabi A (2013)** Linex tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2013/201851>.
- Ghennai A, Zerafa C, Benlaribi M (2017)** Study of the genetic diversity of some varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.) According to the basis of the characters of the U.P.O.V. *Journal of Applied Biosciences* 113: 11246-11256.
- Hana S, Leila M. A, Nedjoud G, Reda M.D (2015)** Physiology and biochemistry effects of herbicides Sekator and Zoom on two varieties of wheat (Waha and HD) in semi-arid region. *Annual Research & Review in Biology* 5: 449-459.
- Hazmoune T, Benlaribi M (2004)** Etude comparative de l'effet de la profondeur de semis sur les caractères de production de trois génotypes de (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Sciences & Technologie* 22: 94-99.
- Himani SM, Renu M (2018)** Morpho-physiological characterization of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under irrigated conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7: 2350-2354.
- Iftikhar R, Ihsan K, Kashif M, Ahmad M.A, Smiullah (2012)** Study of morphological traits affecting grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) under field stress condition. *Middle East Journal of Scientific Research* 11 : 19-23.
- Kadi Z, Adjel F, Bouzerzour H (2010)** Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi- arid conditions. *Advances in Environmental Biology*. 4 : 34-40.
- Kahali L, Djekoun A (2016)** Analyse génotypique de la contribution de la matière assimilée du pédoncule dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *European Scientific Journal* 12 :151-166.
- Kandel M, Bastola A, Sapkota P, Chaudhary O, Dhakal P, Chalise P (2017)** Association and path coefficient analysis of grain yield and its attributing traits in different genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* 5 : 449-453.
- Karkour L, Fenni M, Ramla D, Gaad D, Benbelkacem A (2019)** Evaluation of agronomic performances of rainfed barley double-haploids (DHs) lines under semi-arid conditions. *Biodiversitas* 20: 1398-1408.
- Khan A. J, Azam F, Ali A. 2010.** Relationship of morphological traits and yield in recombinant in bread wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botany* 42 : 259-267.
- Khennaoui A, Djekoun A, Benbelkacem A, Ykhlef N (2016)** Agro morphological characterization and study of grain yield of Algerian durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *International Journal of Advanced Research* 4 : 1071-1080.
- Kirouani A, Henkrar F, Udupa SM, Boukhalfoun L, Bouzerzour H (2018)** Genetic diversity in Algerian durum wheat varieties (*Triticum turgidum* L var.durum) using microsatellite markers. *Bioscience journal* 34:1575-1583.

- Kirouani A, Kiar R.O, Boukhalfoun L, Fellahi Z.E.A (2019)** Characterization of some Algerian varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using phenotypic markers. Journal of Applied Biosciences 142: 14464-14477.
- Kong L, Wang F, Feng B, Li S, Si J, Zhang B (2010)** The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): An important photosynthate source for grain filling. BMC Plant Biology 10 : 1-10.
- Laala A, Rached-Kanouni M, Alatou D (2013)** Les variations thermiques saisonniers et leurs impacts sur le comportement écophysiological des semis de pin d'Alep. European Scientific Journal 9 : 143-153.
- Ledily F, Billard J. P, Lesaos J, Hvault C (1993)** Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. Plant Physiology and Biochemistry 31 : 303-310.
- Lichtenthaler H.K (1987)** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. Academic Press 148: 350-382.
- Mansouri A, Oudjehih B, Benbelkacem A, Fellahi Z, Bouzerzour H (2018)** Variation and relationships among agronomic traits in durum wheat [*Triticum turgidum* L. Thell. ssp. turgidum conv. durum (Desf.) MacKey] under South Mediterranean growth conditions: Stepwise and path analyses. International Journal of Agronomy. <https://doi.org/10.1155/2018/8191749>
- Mazouz, L. and H. Bouzerzour (2017)** Study of the morphological and phenological parameters contribution in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) selection in semi-arid climate. Revue des Sciences et de la Technologie 35 : 45-58.
- Megherbi A, Mehdadi Z, Toumi F, Moueddene K, Bouadjra SEB (2012)** Drought tolerance and morpho-physiological parameters identification of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) adaptation in the Sidi Bel-Abbes region (western Algeria). Acta Botanica Gallica 159 : 137-143.
- Melki M, Dahmane A (2008)** Identification of some mutants of durum wheat with high performance under natural drought conditions. Sécheresse 19: 47-53.
- Menad A, Meziani N, H. Bouzerzour H, Benmahammed A (2011)** Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : Application des modèles AMMI et la régression conjointe. Revue Nature & Technologie 5 : 99-106.
- Merabta S, Zerafa C, Benlaribi M (2018)** Y A-T-II une relation entre teneur en chlorophylle et accumulation de la proline chez les céréales à paille sous déficit hydrique ? European Scientific Journal 14 : 234- 245.
- Mwadingeni L, Shimelis H, Tesfay S, Tsilo T.J (2016)** Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. Frontiers in Plant Science 7 : 1276.
- Nezhadahmadi A, Prodhon Z.H, Faruq G (2013)** Drought tolerance in wheat. Scientific World Journal <https://doi.org/10.1155/2013/610721>.
- Oosterom V. E, Ceccarelli S, Peacock J.M (1993)** Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. Journal of Agricultural Science 121 : 307-313.
- Oulmi A, Salmi M, Laala Z, Fellahi Z, Adjabi A, Rabti A, Benmahammed A (2016)** Morpho-Physiological Variability Studies in F6 Populations of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under Semi-arid Mediterranean Conditions. Advances in Environmental Biology 10 : 161-170.
- Royo C, R. Nazco R, Villegas D (2014)** The climate of the zone of origin of Mediterranean durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces affects their agronomic performance. Genetic Resources and Crop Evolution 61 : 1345-1358.
- Sallam, A., A .M. Alqudah, M.F. Dawood, P.S. Baenziger and A. Börner (2019)** Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. International Journal of Molecular Sciences 20 : 133-137.
- 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 : 99-111.
- Slama A, Ben Salem M, Ben Naceur M, Zidi E (2005)** Cereals in Tunisia: production and resistance mechanisms to drought. Sécheresse. 16 : 225-229.
- Soltner D (2005)** Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
- Subhashchandra B, Lohithaswa H.C, Desai S.A, Hanchinal R.R, Kalappanavar I.K, Math K.K, Salimath P.M (2009)** Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 22 : 36-38.
- Tahri E, Belabed A, Sadki K (1998)** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat 21 : 81-87.
- Tattaris M, Reynolds M.P, Chapman S.C (2016)** A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. Frontiers in Plant Science 7 : 1131. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01131>.
- Troll W, Lindsley J. 1955.** A photometric method for the determination of proline Journal of Biological Chemistry 215: 655-660.
- Zerafa C, Ghenai A, Benlaribi M (2017)** Comportement Phénologique et Morpho-Physiologique de Quelques Génotypes d'orge et de blé. European Scientific Journal 13 : 287-299.

**ABOUT THE JOURNAL:** SAJEB (eISSN: 2230-9799) is a peer-reviewed, open-access and online journal aimed at advancement and rapid dissemination of scientific knowledge generated by the highly motivated researchers in the field of biological sciences through publication of high-quality original research and critical up-to-date review articles covering all the aspects of biological sciences. Every year, it publishes six issues. SAJEB has received Global Impact Factor (GIF)-2015, 0.765; Index Copernicus Value-2015, 93.0 and NAAS (ICAR)-India 2017 rating, 4.79. SAJEB has been included in the ISI master list of journals of Thomson Reuters under Zoological Record. The SAJEB is also covered by CABI (UK), AGRICOLA, NLM catalogue, CAS (ACS, USA), DOAJ, Journal TOCs (ICBL, Edinburgh), Directory of research Journals Indexing (DRJI) and Indian Science Abstracts (ISA, NISCAIR). SAJEB is a member of CrossRef.

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

Direction Générale des Enseignements et de la Formation Supérieurs  
Direction de la Formation Doctorale et de l'Habilitation Universitaire

**Sous-Direction de la Recherche-Formation et de l'Habilitation Universitaire  
Evaluation des bilans mi-parcours des projets de recherche universitaire**

N° : 50 / S.D.R.F.H.U / 2020

Établissement : Université Constantine 1

Domaine : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Filière: Sciences biologiques

Session des bilans mi-parcours : 2018

Intitulé	Chef du projet	Membres	Grade	Observations
Diversité Biologique : biométrie, phytochimie et moléculaire chez deux genres des céréales ( Triticum et Hordeum)	Mme. CHAIB GHANIA  Grade: MCA	- Mme. Boudour Leila - Mme. Bouchibi -Baaziz Nacera - Mme. Bouchteb-Ghioua karima - M. Boudersa Nabil - Mme. Atoui Aicha	PR MCB MAA Doctorant Doctorant	- Projet reconduit pour les années 2020 et 2021 - Code de projet: D01N01UN250120180006

17/12/2020

عن الوزير بالتنويض منه  
المديرة القومية للبحث التكويني  
والباحثين الجاهلي  
امضاء : بوقادي مختارية يمينية



**Nom :** BOUDERSA

**Soutenue le :** 12/ 05/ 2022

**Prénom :** Nabil

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle**  
en Biologie et physiologie Végétale  
**Spécialité :** Biodiversité et Amélioration génétique des plantes

**Thème :** Diversité biologique, biochimique, phytochimique et génétique chez deux genres de céréales (*Triticum* et *Hordeum*)

**Résumé**

La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C) d'El Khroub, wilaya de Constantine au cours des deux campagnes agricoles 2017/2018 et 2018/2019. Elle avait pour objectif d'évaluer la diversité biologique chez deux genres céréaliers (*Triticum* et *Hordeum*) afin d'identifier les traits de base qui peuvent être exploités en amélioration de ces céréales d'une part. D'autre part d'analyser et de mettre en évidence les différents liens enregistrés entre les paramètres étudiés, qui peuvent apporter une contribution dans les programmes d'amélioration de la productivité et de l'adaptation de ces céréales. L'étude a remis une vue globale des comportements de neuve variétés étudiées vis-à-vis des conditions environnementales et de distinguer les plus performantes et les moins affectées par les contraintes expérimentales. Les résultats obtenus soutenus par les analyses statistiques effectuées ont révélé clairement une importante variation génotypique pour l'ensemble des caractères étudiés, ceux qu'indique l'existence d'une variabilité intra et interspécifique considérable qui doit être préservée et améliorée afin qu'elle puisse être utilisé dans des programmes visant à améliorer la productivité et l'adaptation. L'analyse en composantes principales (ACP) génère la variation des deux campagnes agricoles avec un taux optimal de 72,83 ; 85,30 et 85,08% d'information chez les trois espèces respectivement *T.durum*, *T. aestivum* et *Hordeum vulgare*. Cette information présente une bonne base d'interprétation de la typologie des variétés évaluées et des relations entre les différentes variables mesurées. De plus, il a également montré que le rendement en grains est lié positivement avec ses composantes, la surface de la feuille étendard et la teneur des feuilles en pigments chlorophylliens. Alors que l'adaptation et la tolérance aux stress sont liées à la précocité d'épiaison, la hauteur de plante, la teneur relative en eau, le contenu des feuilles en osmolytes et en métabolites secondaires et le niveau de dommage cellulaire. Une sélection indirecte via ces traits peut être bénéfique pour les programmes d'amélioration de la production et d'adaptation. Dans l'ensemble, les variétés GTA dur du blé dur, la variété ARZ du blé tendre et la variété Fouara d'orge présentent les meilleurs caractères de production au cours des deux campagnes d'étude et peuvent de ce fait être proposées dans les régions de la production des céréales. Alors que, les variétés Bousselem, Hidhab et Saida sont avérées plus stables et possèdent des potentialités à minimiser la variation du rendement grain, ces variétés peuvent être recommandées à plusieurs zones agro-climatiques. Quant au reste des variétés étudiées (Vitron, Ain abid et Barbe rousse), elles ont montré l'avantage de tolérer les stress et sont donc recommandées pour les environnements contraignants et moins favorables. L'analyse des protéines totales des grains par la technique électrophorèse (SDS-PAGE) au cours des deux campagnes d'étude chez les deux genres (*Triticum* et *Hordeum*), a démontré un polymorphisme considérable équivalent à 75,00 ; 84,21 et 83,33% chez les trois espèces respectivement *T.durum*, *T.aestivum* et *Hordeum vulgare* sous conditions favorables durant la première campagne. Contrairement, aux conditions plus sévères, à la deuxième campagne, ce polymorphisme décroît en enregistrant un taux de 52,94 ; 42,85 et 68,75% chez les trois espèces successivement. Ceci est nettement illustré par les profils et la classification hiérarchique ascendante (CHA) des protéines des grains obtenus chez les différentes variétés, qui ont révélé une différence dans le nombre de bandes protéiques, leurs poids moléculaires et leurs densités, ainsi que dans la structuration des groupes et le positionnement des variétés dans les deux campagnes agricoles. Cette analyse a mis en évidence l'existence d'une variabilité génotypique pour les protéines totales des grains. Ces dernières peuvent donc constituer des critères potentiels d'amélioration et ouvrent de nouvelles perspectives pour les sélectionneurs. Cette étude a permis de conclure que pour mieux contrôler la productivité et l'adaptation des céréales dans les zones arides et semi-arides, il est nécessaire de caractériser le milieu de production d'une façon complète et précise pour identifier les stress les plus fréquents auxquels la culture est sujette. En outre, l'application d'une meilleure gestion des itinéraires techniques établies et d'avoir des connaissances plus approfondies sur la diversité des plantes et sur leurs comportements sous conditions limitantes afin d'obtenir des variétés plus productives, mieux adaptées, et plus régulières.

**Mots clés :** *Triticum*, *Hordeum*, Diversité biologique, Production, Adaptation, Protéines totales.

**Laboratoire de recherche :** Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques.

**Jury d'évaluation :**

<b>Président :</b>	BAKA Mebarek	<b>Prof.</b> Université Frère Mentouri, Constantine 1.
<b>Directrice de thèse :</b>	CHAIB Ghania	<b>Prof.</b> Université Frère Mentouri, Constantine 1.
<b>Examineurs :</b>	BOUDOUR Leila	<b>Prof.</b> Université Frère Mentouri, Constantine 1.
	HAMIDECHI M <sup>ed</sup> A.EL Hafid	<b>Prof.</b> Université Frère Mentouri, Constantine 1.
	HAZMOUNE Tahar	<b>Prof.</b> Université 20 Aout 1955, Skikda.