N° d'ordre…

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département de Biologie

THESE DE DOCTORAT

Présentée par :

M^me^ *Lahouaria LABGA* épouse *DERRAR*

Domaine : *Sciences de la Nature et de la Vie*

Filière : *Science Biologique*

Spécialité : *Biochimie Appliquée*

Intitulé

Isolement Et Étude De La Variabilité Nutritionnelle Des Couches Périphériques Des Grains D'orge Au Cours De Développement

Soutenue le : …/../2023

Devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Dr ZAIRI Mohamed	**(MCA, Université Djillali Liabes)**
Examinateur : Pr DEMMOUCHE Abbassia	**(Professeur, DL Sidi Bel Abbes)**
Examinateur: Dr KHALDI Amina	**(MCA, Université Djillali Liabes)**
Examinateur : Pr BENSAHLA TALET Lotfi	**(Professeur, Université Oran 1)**
Directeur de thèse : Pr HAOUD Khadidija	**(Professeur, UDL Sidi Bel Abbes)**
Co-directeur de thèse : Pr MEZIANI Samira	**(Professeur, UDL Sidi Bel Abbes)**

Année universitaire 2022 - 2023

Dédicace

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, santé, souffle et Patience pour accomplir ce travail.

Pour mon père, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments. Que Dieu le garde en bonne santé. Ma tante, mes sœurs, mes frères, mes belles sœurs, mes beaux-frères et leurs enfants

Je remercie mon Mari qui m'a toujours soutenu et aider par son savoir-faire qui m'a toujours sacrifié pour me voir réussir et pour son encouragement ainsi pour ma belle-mère, mes belles sœur, mes beaux frère et leurs enfants.

En fin, mes remerciements s'adressent à toutes les personnes ayant contribué du près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Remerciement

Enfin cette thèse a fini par aboutir. Ce ne fut pas une mince affaire et les obstacles furent multiples, et si j'ai su les franchir (parfois les contourner) c'est avant tout grâce à un grand nombre de personnes auxquelles je voudrais exprimer mes remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier très sincèrement madame

Professeur ***Haoud Khadidja****, Mon encadreur.*

Et mon Co-encadreur madame Professeur ***Meziani Samira***

Pour sa disponibilité, sa gentillesse et le degré d'humanisme dont elle fait preuve, elle s'est impliquée avec enthousiasme et esprit de responsabilité à tous les niveaux de conception des travaux de recherche qui ont abouti à la rédaction de cette thèse. Veuillez trouver ici, madame, l'expression de ma profonde gratitude et de l'estime que je porte pour vous.

Je remercie monsieur ***ZAIRI Mohamed*** *docteur et enseignant à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes pour l'honneur d'accepté de juger mon travail et d'être le président de ce jury.*

Pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'accepter de siéger dans le jury de cet thèse, je tiens à remercier

Professeur ***DEMOUCHE Abbassia****, enseignant à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes*

Docteur ***KHALDI Amina****, enseignante à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes*

Monsieur ***BENSAHLA Lotfi*** *professeur a université d'Oran*

Je tiens à remercie très sincèrement ***Docteur BENMENSOR*** *et son équipe du laboratoire de ITGC de SIDI BEL ABBES pour leurs aides, leurs soutien et disponibilité.*

J'exprime mon remerciement et reconnaissance au ***professeur DEMMOUCHE Abbassia*** *directrice du laboratoire de Biotoxicologie de sidi bel abbés ainsi que madame RABEHE Kheira l'ingénieur principale du laboratoire pour son aide*

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants, ingénieurs du laboratoire et à tout le personnelle du département de biologie et de l'environnement

Et que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse trouve ici l'expression de notre profonde sympathie

Résumé

L'orge est l'une des plus anciennes céréales cultivée dans le monde, importante pour l'alimentation humaine et animale. Les couches périphériques (CP) sont un coproduit utilisées pour la protection chimique de l'endosperme et le germe, sont une source importante de micronutriments et offre de nombreux avantages pour la santé. Peu des travaux sur la composition structurale des tissus en développement du grain d'orge. L'objectif de cette étude est de déterminer les composants des (CP) isolées provenant pendant la phase de remplissage du grain d'orge (Saida 183), de voir aussi les changements progressifs subissent au cours de cette phase. Les observations par le microscope optique et électronique à balayage ont été réalisées pour voir la pureté des tissus. La macération en éthanol, des analyses physico-chimiques (minéraux, fibres brutes, acide phytique, proline et protéines) et biologiques (polyphénols totaux et flavonoïdes) suivies par les activités antioxydantes réalisées par la méthode de pouvoir réducteur du fer (fluorescence recovery after photobleaching, FRAP), transfert d'hydrogéné (2,2-diphenyl 1-picrylhydrazyle DPPH) et le blanchissement de B-carotène ont été réalisés dans cette partie. Des molécules identifiées par HPLC (chromatographie liquide à haute performance) ont été caractérisées dans cette étude.

Les résultats du taux d'humidité des extraits des CP présentent au moyen de 17%, ainsi le poids de 1000 grains des grains matures qui est conforme à la norme. La teneur en cendre d'orge est variée entre 2.5 à 3.1 %. La teneur de la matière grasse au différent stade de développement est conforme à la norme. Les résultats des protéines obtenues de nos échantillons pour les quatre stades de développement du grain d'orge sont identiques par les deux méthodes (Bradford et Lowry) est de (5.152 µg, 5.13 µg, 5.092 µg, 5.186 µg) et (3.418 µg, 2.732 µg, 2.496 µg, 4.139 µg) respectivement pour les différents stades de développement. Pour la proline l'accumulation augmente de stade laiteux vers le stade de maturation (2.474 mg/ml à 7.148 mg/ml) respectivement. La teneur en phytate diminue à la moitié du premier stade jusqu'au quatrième stade de maturation de (8.96 ± 0.56 mg/g à 5.22 ± 0.26 mg/g). Pour les minéraux, la concentration du fer augmente à travers les différents stades de développement, par contre pour le Zn, Mg, Mn, Ca, on observe une diminution progressive à travers les différents stades, pour la teneur en Na commence a augmenté du stade mi- laiteux jusqu'à stade de maturation physiologique, cette concentration diminue dans le stade de maturation ; tandis pour le K et les fibres, ces valeurs augmentent à travers les quatre stades de développement ou le stade de maturation présentent 16,6 % donc l'orge qui est une bonne source de fibres alimentaires.

Concernant les polyphénols, les résultats obtenus montrent des taux respectivement (39.98 ± 5.90 mg/ml ;40.357 ± 3.174 mg/ml ; 68.094 ± 8.260 mg/ml ; 90.395 ± 0.757 mg/ml) pour les stades suivants (maturation ; maturation physiologique ; pâteux mou ; mi- laiteux), les flavonoïdes présentent respectivement de valeurs de (15.843 ± 0.366 mg EQ /g ; 28.149 ± 4.453 mg EQ/g ; 36.92 ± 17.928 mg EQ/g ; 44.285 ± 1.653 mg EQ/g) pour les mêmes stades. Les résultats du pouvoir antioxydant révèlent que le stade quatre (maturation) a une activité antioxydante élevée avec IC50 est de 186.125µg/ml suivis par stade trois (maturation physiologique) de 206.944 µg/ml, le stade deux (pâteux mou) est de 227,615 µg/ml et le stade un (mi- laiteux) est de 282,79 µg/ml. Pour le pouvoir réducteur les (CP) de stade de maturation présentent une valeur très élevée est de 0.169 mg/ml a 1mg/ml suivi par le stade de maturation physiologique est de 0.129 mg/ml ,stade pâteux mou est de 0.115 mg/ml arrivé au stade laiteux qui enregistre une valeur de 0.108 mg/ml , la teneur de B-carotène dans les CP de grain d'orge dans différents stades de développement est presque identique avec des valeurs respectivement est (0.177 ± 0.0 ; 0.274 ± 0.009 ; 0.335 ± 0.031 ; 0.356 ± 0.036) mg/100g de MS pour les stades suivants (mi-laiteux, pâteux mou ,maturation physiologique , maturation), le contenu de la B-carotène a augmenté de manière significative ($P<0,05$) avec les jours de croissance. Les images des couches périphériques de quatre stades de grain d'orge observé par microscopie électronique à balayage qui montré des structures diffère de chaque stade de développement.

Mots clés : Saida 183. ; Couche périphérique ; Observations microscopiques; développement du grain, Valeur nutritionnelle, valeur biologique

Abstract

Barley is one of the oldest cereals grown in the world, important for human and animal nutrition. The peripheral layers (PL) are a co-product used for chemical protection of the endosperm and germ, are an important source of micronutrients and offer many health benefits. Little work has been done on the structural composition of the developing tissues of barley grain. The objective of this study is to determine the components of (CP) isolated from the filling phase of the barley grain (Saida 183), to see also the progressive changes undergo during this phase. Observations by optical and scanning electron microscope were made to see the purity of the tissues. Ethanol maceration, physicochemical (minerals, crude fiber, phytic acid, proline and proteins) and biological (total polyphenols and flavonoids) analyses followed by antioxidant activities performed by the iron reducing power method (fluorescence recovery after photobleaching, FRAP), hydrogen transfer (2,2-diphenyl 1-picrylhydrazyl DPPH) and B-carotene bleaching were performed in this part. Molecules identified by HPLC (high performance liquid chromatography) were characterized in this study.

The results of the moisture content of the extracts of the CP show an average of 17%, thus the weight of 1000 grains of mature grains which is in accordance with the standard. The barley ash content is varied from 2.5 to 3.1 %. The fat content at different stages of development is in accordance with the standard. The protein results obtained from our samples for the four developmental stages of barley grain are identical by both methods (Bradford and Lowry) is (5.152 µg, 5.13 µg, 5.092 µg, 5.186 µg) and (3.418 µg, 2.732 µg, 2.496 µg, 4.139 µg) respectively for the different developmental stages. For proline the accumulation increases from milky stage to maturation stage (2.474 mg/ml to 7.148 mg/ml) respectively. Phytate content decreases halfway from the first stage to the fourth maturation stage from (8.96 ± 0.56 mg/g to 5.22 ± 0.26 mg/g). For minerals, the concentration of iron increases through the different stages of development, on the other hand for Zn, Mg, Mn, Ca, we observe a progressive decrease through the different stages, for the content of Na begins to increase from the mid-milky stage to the physiological maturation stage, this concentration decreases in the maturation stage; while for K and fiber, these values increase through the four stages of development where the latter present 16.6% so barley which is a good source of dietary fiber.

Regarding polyphenols, the results obtained show levels respectively (39.98 ± 5.90 mg/ml;40.357 ±3.174 mg/ml; 68.094 ± 8.260 mg/ml; 90.395 ± 0. 757 mg/ml) for the following stages (ripening; physiological ripening; soft doughy; mid-milky), the flavonoids present respectively values of (15.843 ± 0.366054 mg EQ /g; 28.149 ± 4.453 mg EQ/g; 36.92 ± 17.928 mg EQ/g; 44.285 ± 1.653 mg EQ/g) for the same stages. The results of antioxidant power reveal that stage four (ripening) has a high antioxidant activity with IC50 is 186.125µg/ml followed by stage three (physiological ripening) is 206.944 µg/ml, stage two (soft dough) is 227,615µg/ml and stage one (mid-milk) is 282,79 µg/ml. For the reducing power the (CP) of maturation stage present a very high value is 0.169 mg/ml to 1mg/ml followed by the physiological maturation stage is 0.129 mg/ml, soft pasty stage is 0.115 mg/ml arrived at the milky stage which records a value of 0. 108 mg/ml, the content of B-carotene in the CP of barley grain in different stages of development is almost identical with values respectively is (0.177 ± 0.0007; 0.274 ± 0.009; 0.335 ± 0.031; 0. 356 ± 0.036) mg/100g DM for the following stages (mid-milky, soft doughy, physiological ripening, ripening), the B-carotene content increased significantly ($P<0.05$) with the days of growth. Images of the peripheral layers of four stages of barley grain observed by scanning electron microscopy that showed structures differed from each developmental stage.

Keywords: Saida 183.; peripheral layer; histology; grain development, Nutritional value, biological value.

ملخص

يعتبر الشعير من أقدم الحبوب المزروعة في العالم، وهو مهم لتغذية الإنسان والحيوان. الطبقات المحيطية (PC) هي منتج مشترك يستخدم للحماية الكيميائية للسويداء والجراثيم، وهي مصدر مهم للمغذيات الدقيقة وتقدم العديد من الفوائد الصحية. قليل من الأعمال على التركيب الهيكلي لنمو أنسجة حبوب الشعير. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد مكونات (CP) المعزولة خلال مرحلة تعبئة حبوب الشعير (سعيدة 183)، لمعرفة التغييرات التدريجية التي تحدث خلال هذه المرحلة. تم إجراء الملاحظات بواسطة المجهر الإلكتروني البصري والمسح الضوئي لمعرفة نقاء الأنسجة. نقع الإيثانول ، التحليلات الفيزيائية الكيميائية (المعادن، الألياف الخام ، حمض الفيتيك ، البرولين والبروتينات) والبيولوجية (البوليفينول الكلي والفلافونويد) تليها الأنشطة المضادة للأكسدة التي يتم إجراؤها بواسطة طريقة تقليل قوة الحديد (استعادة التألق بعد التبييض الضوئي، FRAP) ، تم إجراء نقل الهيدروجين (2،2-diphenyl 1-picrylhydrazyl DPPH) وتبييض B-carotene في هذا الجزء. تم تمييز الجزيئات التي تم تحديدها بواسطة HPLC (كروماتوغرافيا سائلة عالية الأداء) في هذ ه الدراسة.

تظهر نتائج محتوى الرطوبة في مستخلصات CP بمتوسط 17٪ ، وبالتالي فإن وزن 1000 حبة من الحبوب الناضجة يتوافق مع المعيار. يتراوح محتوى رماد الشعير بين 2.5 إلى 3.1٪. يتوافق محتوى الدهون في مراحل التطور المختلفة مع المعيار. نتائج البروتينات التي تم الحصول عليها من عيناتنا للمراحل الأربع لتطوير حبوب الشعير متطابقة بالطريقتين (برادفورد ولوري) هي (5.152 ميكروغرام ، 5.13 ميكروغرام ، 5.092 ميكروغرام ، 5.186 ميكروغرام) و (3.418 ميكروغرام ، 2.732 ميكروغرام). ، 2.496 ميكروغرام ، 4.139 ميكروغرام) على التوالي لمراحل التطور المختلفة. بالنسبة للبرولين ، يزيد التراكم من مرحلة اللبني إلى مرحلة النضج (2.474 ملغ / مل إلى 7.148 ملغ / مل) على التوالي. ينخفض محتوى الفيتات في منتصف الطريق خلال المرحلة الأولى إلى المرحلة الرابعة من النضج من (8.96 ± 0.56 ملغ / غ إلى 5.22 ± 0.26 ملغ / غ). بالنسبة للمعادن ، يزداد تركيز الحديد خلال مراحل التطور المختلفة ، ومن ناحية أخرى بالنسبة للزنك ، والمغنيسيوم ، والمنغنيز ، والكالسيوم ، ويلاحظ انخفاض تدريجي خلال المراحل المختلفة ، حيث يبدأ محتوى الصوديوم في الزيادة من المرحلة شبه حليبي حتى مرحلة النضج الفسيولوجي ، ينخفض هذا التركيز في مرحلة النضج ؛ بينما بالنسبة للبوتاسيوم والألياف ، تزداد هذه القيم خلال المراحل الأربع للتطور أو أن الأخيرة تقدم 16.6٪ لذلك يعتبر الشعير مصدرًا جيدًا للألياف الغذائية

فيما يتعلق بالبوليفينول ، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها مستويات على التوالي (39.98 ± 5.90 ملغ / مل ؛ 40.357 ± 3.174 ملغ / مل ؛ 68.094 ± 8.260 ملغ / مل ؛ 90.395 ± 0.757 ملغ / مل) للمراحل التالية (النضج ؛ النضج الفسيولوجي ؛ لينة معجون ؛ شبه حليبي) ، تحتوي مركبات الفلافونويد على التوالي على قيم (15.843 ± 0.366 ملغ EQ / غ ؛ 28.149 ± 4.453 ملغ EQ / غ ؛ 36.92 ± 17.928 EQ ملغ / غ ؛ 44.285 ± 1.653 ملغ EQ /) غ لنفسه مراحل. تظهر نتائج فعالية مضادات الأكسدة أن المرحلة الرابعة (النضج) لها نشاط مضاد للأكسدة عالي مع IC50 هو 186.125 ميكروغرام / مل تليها المرحلة الثالثة (النضج الفسيولوجي) 206.944 ميكروغرام / مل ، المرحلة الثانية (معجون ناعم) 206.944 ميكروغرام / مل والمرحلة الأولى (حليبي) 186.125 ميكروغرام / مل. بالنسبة لقوة الاختزال ، تكون قيمة (CP) لمرحلة النضج عالية جدًا هي 0.169 ملغ / مل إلى 1 ملغ / مل تليها مرحلة النضج الفسيولوجي 0.129 ملغ / مل ، ومرحلة الفطيرة اللينة هي 0.115 ملغ / مل عند وصول اللبني المرحلة التي تسجل قيمة 0.108 ملغ / مل ، يكون محتوى B-carotene في أجهزة كمبيوتر حبوب الشعير في مراحل مختلفة من التطور متطابقًا تقريبًا مع القيم على التوالي (0.177 ± 0.0007 ؛ 0.274 ± 0.009 ؛ 0.335 ± 0.031 ؛ 0.356 ± 0.036) ملغ / 100 غ من DM للمراحل التالية (شبه حليبي ، فطيرة ناعمة ، نضج فسيولوجي ، نضج) ، زاد محتوى B-carotene بشكل ملحوظ ($P<0.05$) مع أيام النمو. لوحظت صور الطبقات المحيطية لأربع مراحل من حبوب الشعير عن طريق المسح المجهري الإلكتروني والتي أظهرت تراكيب مختلفة عن كل مرحلة من مراحل التطور.

الكلمات المفتاحية: سعيدة 183.؛ الطبقة المحيطية علم الانسجة؛ تنمية الحبوب ، القيمة الغذائية ، القيمة البيولوجية.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les dix principaux pays producteurs d'orge (2010 à 2018)..... 7

Tableau 2. Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie 10

Tableau 3 : Evolution des prévisions de production, de consommation et d'importation des céréales Par l'Algérie à l'horizon 2020 (millions de tonnes). 13

Tableau 4 : importance moyenne des céréales par zone agro climatique 14

Tableau 5 : Occupation de la surface agricole utile des hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès (En Milliers d'hectares) de 1987 à 2009 16

Tableau 6 : Stades de développement des céréales 23

Tableau 7 : Composition biochimique de l'endosperme 25

Tableau 8 : constituants biochimiques de l'orge en % de matière sèche..... 29

Tableau 9 : Composition en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains d'orge complet et Le blé 31

Tableau 10: les différences composition des protéines entre les différentes céréales 33

Tabeau11 : Teneur en acides aminés essentiels en mg/100 g de grains des principales Céréales..... .34

Tableau 12 : Structure des acides phénoliques 38

Tableau 13 : Composition en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains d'orge complet et Le blé 44

Tableau 14 : contenu en acide phytique des diverses céréales en mg/g de matière sèche 45

Tableau 15 : Composition des vitamines existant dans 100g de grains d'orge complet 47

Tableau 16 : Le système solvant (mode gradient) appliqué pour les analyses HPLC 50

Tableau 17 : Variétés d'orge cultivées en Algérie 55

Tableau 18 : les caractéristiques agronomiques morphologiques culturales et Qualitatives De la Variété expérimentée 57

Tableau 19: Appareillage 61

Liste des tableaux

Tableau 20 : Produit chimiques utilisés ……62

Tableau 21 : la comparaissent entre méthode de Bradford et méthode de Lowry ……70

Tableau 22 : Rendement des extraits en pourcentage et situation sur le comportement de la variété D'orge marine programme FILAHA-ANNOVE compagne 2019 /2020 (ITGC sidi bel abbés)……81

Tableau 23 : Les résultats des analyses physico-chimique des CP du grain d'orge (Saida 183)……85

Tableau 24 : Teneur en proline pour les quatre stades étudiés de grain d'orge (Saida 183)……86

Tableau 25: la Teneur en phytate des CP de grain d'orge en différents stade de développement (Saida 183) ……88

Tableau 26 : la teneur en minéraux de grain d'orge (Saida 183) en plein développement En mg/ml (Na et K) et mg/l (Mn, Fe, Zn, Ca et Mg)……89

Tableau 27 : les teneurs en fibres alimentaires exprimées en pourcentage De matière Sèche (MS) ……90

Liste des Figures

Figure1 : production des céréales, utilisation et stocks 7

Figure 2 : Bilan de l'irrigation des céréales 11

Figure 3 : production des céréales de la période 2010-2017 dans l'économie National 12

Figure 4 : Carte de localisation de la région des hautes plaines De Sidi-Bel-Abbès 15

Figure 5 : Inflorescence, fleur et pièces florales d'orge (Hordeum vulgare L) 19

Figure 6 : Le cycle de développement des céréales 21

Figure 7: Coupe longitudinale d'un grain d'orge 24

F***igure 8:*** Coupe transversale des enveloppes, de la couche à aleurone et de L'endosperme Amylacé d'un grain d'orge 26

Figure9: la structure d'une macromolécule protéique constituée par une chaine d'acides Aminés 36

Figure 10: la structure commune des polyphénols 37

Figure 11 : Classification des polyphénols 38

Figure 12 : structure de la Flavonoïdes..... 40

Figure 13: Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant 41

Figure 14 : Réaction de test FRAP (Ferric reducing antioxidant power) 42

Figure 15 : Principales voies de fonction des radicaux libres……..……45

Figure 16 : Structure moléculaire de l'acide phytique 53

Figure 17 : Situation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès 54

Figure 18: Les grands ensembles naturels de la wilaya de Sidi Bel Abbés 56

Figure 19 : les champs de notre expérience (ITGC de sidi bel abbés)..... 58

Figure20 : Représentation des photos de grain d'orge a diffèrent stade de développement (S1, S2, S3, S4) 58

Figure 21 : les étapes de la dissection des couches périphériques des grains d'orge (Saida 183) 59

Liste des figures

Figure 22 : Coupe transversale d'un grain d'orge à chaque stade de développementObservé au Microscope optique (grossissement x). …….78

Figure 23 : Graphique de microscopie électronique à balayage des couches périphériques et de L'endosperme. Amylacé d'un grain d'orge du cultivar (Saida 183) pendant le remplissage Du grain (900×). ……..….79

Figure 24: Le taux d'humidité, de cendre et de la matière grasse de grain d'orge (Saida 183……..81

Figure 25 : Teneurs en protéines solubles de grain d'orge (Saida 183) en développement Par la Méthode de Bradford et Lowry ……82

Figure 26 : La teneur en proline des quatre stades de développement de grain d'orge (Saida183)……..……...83

Figure 27 : la teneur en minéraux du grain d'orge en développement (Saida 183) À différents stades. Stade 1 : Mi- laiteux ; stade 2 : pâte mou ; stade 3 : maturation Physiologique ; Stade 4: Maturation ……..86

Figure 28 : la teneur en fibre alimentaire de grain d'orge (Saida183) En développement 87

Figure29: concentration de polyphénol en mg EAG/g, et de flavonoïdes en mg EC/g Des couches Périphériques Par deux extraits éthanolique et méthanolique de quatre stades De Développement de grain d'orge (Saida 183)……..89

Figure30 : Chromatogramme par analyse HPLC des CP du stade mi- laiteux du grain d'orge en plein Développement……90

Liste des figures

Figure 31 : Chromatogramme par analyse HPLC des CP du stade pâteux mou du grain d'orge en Plein développement……90

Figure 32 : Chromatogramme par analyse HPLC des CP du stade du maturation physiologique du grain d'orge en plein développement……91

Figure 33 : Chromatogramme par analyse HPLC des CP du stade de maturation du grain d'orge en plein développement……91

Figure 34: Concentration d'inhibition du différent stade de développement de grain d'orge (Saida 183)……95

Figure 35: Activité antioxydantes des quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183) par réduction du fer (test de FRAP)……96

Figure 36: Cinétique de blanchissement du *B*-carotène a 470nm en présence des extraits Des différents stades de Développement et le témoin Positif (VITC)……97

Liste des Abréviations

AG: acide gras

DPPH: 2,2 diphényl 1-1-picrylhydrazyl

IC50 : Concentration inhibitrice

IRS-1 : Récepteur d'Insuline 1

MS : Matière sèche

CP : couche périphérique

HPLC : chromatographie en phase liquide haute performance

AL: Aleurone Layer

FRAP: Ferric reducing ability of plasma

SAA: spectrophotomètre à absorption atomique

FAO: Food and Agriculture Organization

USDA: United States Department of Agriculture

MT : million de Tonnes

P : phosphore

Mg : Magnésium

Zn : Zinc

Fe: Fer

Na: Sodium

Al: Aluminium

K: Potassium

Ca : calcium

Gr : gramme

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

EA : acétate d'éthyle

EAG : équivalent acide gallique

BHA : Acide bêta-hydroxyle

BSA : Albumine de sérum bovin

OS : Orge Saïda

PPM : partie par million

DEDICACES

Remerciement

RÉSUMÉ

ABSTRACT

الملخص

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

TABLE DES MATIÈRES

Introduction……1

I. Synthèse bibliographique

I.1 L'importance de l'orge……6

I.1.1 L'orge dans le monde……6

I.1.2 L'orge en Algérie ……8

I.1.3 Principales zones de production d'orge cultivée en Algérie ……13

I.1.4 Production de l'orge dans la region de la wilaya de sidi bel abbes ……15

I.2 l'orge et son caractère génomique ……17

I.2.1 L'orge Hordeum-Vulgare ……17

I.3 Caractéristiques botaniques et histologiques de l'orge ……18

I.3.1 Histologie du grain d'orge ……18

I.3.2 Le cycle de développement et reproduction chez l'orge ……20

I.3.2.1 La periode végétative ……20

I.3.2.2 La periode de reproduction ……21

I.3.2.3 La periode de maturation ……22

I.4 Les différentes parties qui constituent les grains d'orge ……23

I.4.1 L'embryon ……24

I.4.2 L'endosperme ……..…..24
I.4.3 Composition histologique des couches périphériques……..…..25
I.4.3.1 Les Enveloppes ……26
I.4.3.1.1 Les glumelles ……26
I.4.3.1.2 Le péricarpe externe et le péricarpe interne ……27
I.4.3.1.3 La testa ……27
I.4.3.1.4 La paroi externe ……27
I.4.3.1.5 La couche Aleurone ……28
I.4.4 Principales fonctions des parois végétales ……...28
I.4.5 La croissance et l'adaptation des parois des plantes ……28
I.5 Composition biochimique des couches périphériques ……29
I.5.1 Les constituants biochimique de l'orge ……..29
I.5.1.1 Composition biochimique……29
I.5.1.1.1 Glucides ……30
I.5.1.1.2 Lipides ……..31
I.5.1.1.3 Proteines ……31
I.5.1.2 Métabolites secondaire ……34
I.5.1.2.1 Les composées phénoliques ……..35
I.5.1.3 Détermination de l'activité antioxydant ……..39
I.5.1.3.1 Methode DPPH ……..39
I.5.1.3.2 Reduction du fer : Frap (ferric roducing antioxydant)…….. 41
I.5.1.3.3 Les carotenoides……41
I.5.1.4 Décanisme dégénération des radicaux libres ……..42
I.5.2 Effet de stress hydrique sur l'accumulation de proline ……..42
I.5.3 Matieres minérales ……43

I.5.4 Acide phytique et son role dans la plante ……..44

I.5.5 Fibres alimentaires ……46

I.5.6 Les vitamines ……46

I.5.7 Les enzymes ……...47

I.5.7.1 Les enzymes hydrosolublent l'amidon ……..….48

I.5.7.2 Les enzymes hydrosolublent les proteines ……48

I.5.7.3 Les enzymes hydrosolublent les lipides ……48

I.6 La chromatographie liquide à haute performance (CLHP)…… 48

I.7 Microscope électronique à balayage (MEB)…….. 50

Partie I Etude expérimentale……52

I.1 Matériel et méthode…….……53

I.1.1 Situation geographique de la zone d'étude ……53

I.1.2 Matériels biologique et Méthodes d'étude…..54

I.1.2.1 Présentation du matériel biologique ……54

I.1.2.2 Les caractéristiques morphologique de la variété ……56

I.1.2.3 Paramétres pédoclimatiques ……57

I.1.3 Methode d'étude ……...58

I.1.3.1 Préparation des échantillons de la plante ……..58

I.1.3.2 Séchage et broyage ……60

I.1.3.3 Produit chimique utilisés ……60

I.1.3.4 Appareillage ……..60

I.1.4 Méthodologie ……..61

I.1.4.1 Observation au microscope optique ……..61

I.1.4.2 Observation par le Microscope électronique à balayage des différentes couches périphériques (CP) du grain d'orge :…….. 63

I.1.4.3 Préparation des extraits des couches periphériques ……64

I.1.4.4 Paramétres physico-chimiques ……..64

I.1.4.5 Valeur nutritionnelle des couches périphériques du l'orge …….67

I.1.4.5.1 Détermination de la teneur en lipide……..….67

I.1.4.5.2 Dosage des protéines brutes par deux méthodes (Bradford et Lowry)… 68

I.1.4.5.3 Détermination de la proline ……..71

I.1.4.6.4 Extraction et dosage de la phytate ……...72

I.1.4.5.5 Dosage des minéraux ……72

I.1.4.5.3.1Dosage des minéraux par spectrophotomètre à absorption atomique (SAA)……. 72

I.1.4.5.3.2Dosage des minéraux (Potassium et Sodium) par spectrophotomètre à flamme……73

I.1.4.4 Dosage de fibres brutes (Weende)…….…….. 74

I.1. 4.6 Dosages des métabolites secondaires des couches périphériques ……75

I.1.4.6.1 Dosage des polyphénols totaux …….…….75

I.1.4.6.2 Dosage des flavonoïdes totaux …….…….75

I.1.4.6.3 Caractérisation des composés phénoliques des couches périphériques des grains d'orge par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D …….……76

I.1.4.7 Étude de l'Activité antioxydante des couches périphériques ……77

I.1.4.7.1 Activité anti radicalaire du DPPH ……..77

I.1.4.8.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP)…….. 77

I.1.4.8.3 Test blanchissement de la B-caroténe ……78

I.2 Analyse statistique ……..78

II. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS ……79

II. 1 Résultats ……80

II.1.1 Le choix de matériel végétal ……80

II.1.2 Resultats du rendement et aspect physique du grain ……..…….80

II.1.3 Résultats de l'observation par la microscopique optique des extraits des CP ……82

II.1.4 Résultats de l'observation microscopique électronique à balayage (MEB)……. 82

II.1.5 Résultats de la valeur nutritionnelle des couches périphériques du grain d'orge…85

II.1.5.1 Résultat des analyses physico-chimiques de l'orge ……85

II.1.6 Résultats de la teneur en proline ……..….86

II.1.7 Résultats de l'acide phytique …….……..88

II.1.8 Résultats du dosage des minéraux ……88

II.1.9 Résultats du dosage des fibres brutes ……...90

II.1.10 Résultat du dosage des polyphénols totaux des extraits des stades de développement de couche périphérique du grain d'orge ……91

II.1.11 Résultat de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D des couches périphériques ….93

II.1.12 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante des couches périphériques ……...94

II.1.12.1 Piégeage de la radicale libre DPPH ……..…94

II.1.12.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP)……..… 95

II.1.12.3 Test de blanchissement du B-caroténe ……..…96

II.2 Discussion ……..98

Objectif de la recherche……98

Méthodologie mise en œuvre……....99

A propos de la valeur nutritionnelle ……102

Sur la valeur biologique du contenue phénolique total et du flavonoïde ……..109

Résultats de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030 C 3D……..112

Sur activités antioxydantes ……113

III. CONCLUSION GÉNÉRALE ……116

IV Références bibliographiques…….120

V. Annexes ……...150

Introduction

Introduction

Les céréales sont la principale source d'énergie, de protéines, de vitamines B, de minéraux et de nourriture pour la population mondiale actuelle **(Monterray, 2016).** L'utilisation des céréales a considérablement évolué et se répartit entre l'alimentation humaine, l'alimentation animale et les applications non alimentaires **(Saulnier, 2012).** La consommation de céréale a fourni 20 à 30 % de l'apport moyen en protéine, thiamine, phosphore et zinc et 10 à 20 % de nombreux nutriments tels que le sodium, le calcium, le potassium, les acides gras insaturés, la niacine, la riboflavine, la vitamine B6 d'après une enquête menée auprès de **(Laskowski et al, 2019).**

Parmi les céréales, l'orge (*Hordum Vulgare L*) présente une matière complexe, ses graines se forment au cours de processus de développement et pendant la germination impliquant le dépôt de réserves dans l'embryon qui est responsable des activités vitales du grain, les cellules mortes remplies de granules d'amidon présente une réserve de source nutritive, dans le testa et le péricarpe qui est membrane semi-perméable constituée par des cellules tubulaires et une couche à aleurone qui est une couche périphérique de cellules renferme des protéines, des lipides, des vitamines, de l'acide phytique et de cellulose **(Finni et al., 2002 ; Hamery et al., 2017 ; Meziani et al., 2021**). Le stade final s'accompagne d'une augmentation du dessèchement des graines matures. Ce stade de maturation est marqué par la dessiccation et l'apparition de la dormance. Les graines matures ne contiennent qu'environ 10 à 15 % d'eau **(Olsen et al., 1999).**

Les tissus les plus périphériques (péricarpe, testa) étant peu ou pas hydrolysés par des enzymes hydrolytiques tels que les xylanases, au contraire de la couche à aleurone **(Ordaz-Ortiz et al, 2005).** Les cellules de la couche a l'aleurone de l'orge est plus grande que celle de blé et seigle, mais elle comprend trois à quatre rangs de cellule **(Saulnier, 2012)** et renferme les cellules d'amidon qui est riche en micronutriments et ce dernier joue un rôle vital dans les processus de germination **(Hariri, 2003).**

Les grains d'orge sont principalement constitués de glucides (60 à 65% du poids sec de l'orge) qui se localisent principalement au niveau de l'endosperme et 25 % d'amylose de structure linéaire, avec des liaisons de type α (1-4) **(Jilal, 2011)**, la teneur en protéines des grains d'orge est de l'ordre de 10 à 17% **(Czuchajowska et al., 1998 ; Izydorczyk, et al.,**

2000), des lipides en petite quantité (2 à 3%) **(Saulnier, 2012)**. L'orge est caractérisée par l'abondance en acide glutamique et en proline, caractéristiques majeures des prolamines**,** ils sont ainsi une bonne source des minéraux (comme le potassium, le phosphore et le magnésium), ces minéraux peuvent contribuer significativement à l'apport dans la ration alimentaire **(Saulnier, 2012**).

L'alimentation joue un rôle important dans l'apport des antioxydants exogène, l'étude de l'activité antioxydante des céréales est devenue très importante, car elle contient des puissants antioxydants, les composés phénoliques liés par esters au polymère dans les couches extérieures du grain. D'après **Ragaee et al., (2006**), les composés phénoliques et d'autres antioxydants qui sont présents dans les céréales peuvent agir comme des piégeurs des radicaux libres, ces composés phénoliques peuvent constituer des appels avertisseurs entre les plantes et permet de résister contre les agressions d'extérieur. Les composés phytochimiques de l'orge sont classés en plusieurs classes clés, notamment les acides phénoliques, les flavonoïdes, les lignanes, les tocols, les phytostérols et les folates **(Idehen et al., 2017).** Une large gamme de ces composés a été trouvée dans l'orge comme les dériver les flavols, les flavonones et les composés aminés phénoliques **(Hermann et al., 2001)** qui sont présents sous forme libre et liée dans les céréales.

Actuellement, les défis lancés aux chercheurs, aux agronomes, aux technologues sur l'orge et ses fractions (comme sous produits), de développer des variétés à haute teneur de ces composants chimiques et biologiques de valoriser et produire des aliments à base d'orge à haute valeur nutritive qui réponds aux bienfaits pour la santé. L'identification de la période ou le stade de croissance pendant laquelle la teneur maximale de ces composés nutritionnels et bioactifs peut se produire dans la phase de croissance des grains, plus particulièrement pendant le remplissage des grains est un choix pourrait être utile et qui va nous aider pour la recherche agronomique et la technologie de transformation, de possibilité d'utiliser et valoriser mieux les sous-produits des grains d'orge non mûrs et mûrs comme ingrédients fonctionnels dans la production de produits alimentaires à base d'orge. Peu de données publiées sur la composition chimique et fonctionnelle du son ou sur les couches externes en développement. C'est pourquoi le but de cette étude est observé les coupes histologique évolutive des couches externes pendant le remplissage des grains, de déterminer la composition chimique et biologique.

Dans la présente étude, nous avons fixé les objectifs suivants :

1/ Evaluation La composition structurelle des couches périphériques de l'orge en développement pendant le remplissage des grains (stade mi- laiteux, stade pâteux mou, stade de maturation physiologique, stade de maturation)

- Une séparation manuelle des couches périphériques des quatre stades de développement a été réalisée à l'aide d'une lampe binoculaire suivie par une observation par observation par le microscope optique et le microscope électronique à balayage.

2/Evaluation de paramètres physico-chimiques

3/Etude quantitative et qualitative des molécules naturelles (composés phénoliques) et caractérisation des composés phénoliques par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D des quatre stades de développement de grain d'orge

- Étude de l'activité antioxydante des couches périphériques des quatre stades a été évaluer par trois méthodes, la méthode du piégeage du radical 1,1 diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), le pouvoir réducteur du fer (FRAP) et blanchissement de B-carotène.

I. *SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE*

I.1 *L'importance de l'orge*

I.1.1 *l'orge dans le monde*

L'orge est l'une des céréales les plus importantes dans le monde, pour la compagne 2010/2011, étant classée au quatrième rang pour la production mondiale de l'ordre de 2400 Mt se répartissant, le maïs occupe 38%, 29% pour le blé, 20% pour le riz, 6% pour l'orge et 7% pour les autres céréales (seigle**,** avoine, sorgho) **(Saulnier, 2012).** Selon la FAO, 2015, la production mondiale de l'orge n'a pas connu de grandes variations durant la période 2012-2015. Les principaux pays producteurs sont les États-Unis, la Fédération de Russie, et le Canada **(Tableau 1)**. Le rendement moyen en orge dans le monde est de 2045 t/ha (Burny, 2011). La production mondiale d'orge est estimée à 124,3 millions de tonnes, L'Union européenne est de loin le principal producteur d'orge, avec près de 53 millions de tonnes ou 43% du total. Plus gros exportateurs d'orge sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada.

Dans la région nommée le croissant fertile (l'Irak et l'Iran d'aujourd'hui) à qui remonte l'origine géographique de l'orge (*Hordeum vugare*) à plusieurs millénaires avant J-C. C'est par la Grèce que l'orge va faire son apparition en Europe. Où elle a était cultivée dans les oasis du Sahara vers 100 à 300 ans avant J-C. En Éthiopie, au Tibet et dans les Andes, sa culture se pratique sur les flancs des montagnes à des altitudes bien supérieures à celles des autres céréales. Prévisions de la (**FAO, 2021)** pour la production de céréales, qui a chuté de 29,3 millions de tonnes dans plusieurs pays producteurs, contrairement au blé, elles progressent encore de 1,3 pour cent. La production et les stocks céréaliers mondiaux ont été revus à la baisse, mais l'offre globale reste satisfaisante en 2021-2022 ont été relevées de 9 millions de tonnes **(Fao, stat, 2022)**.

Elle reste cependant encore utilisée en alimentation humaine dans certaines régions comme le Maroc, en Chine, en Inde et en Éthiopie où elle est utilisée pour fabriquer des galettes et du couscous **(Grando et al., 2005).** L'orge est composée d'environ 70 % d'amidon, 10-20 % de protéines, 5-10 % de β-glucane, 2-3 % de lipides libres et 2,5 % de minéraux et ses fibres alimentaires totales et solubles sont comprises entre 11 et 34% et 3-20% respectivement. Concrètement, l'orge est riche en polysaccharide (1→ 3)(1 → 4)-β-D-glucan (bêta-glucan) **(Sullivan, et al., 2013)** . Dans certains pays, l'orge trouve une utilisation dans l'alimentation des bébés, en industrie alimentaire comme adoucissant, adjuvant et surtout comme boissons alcoolisées **(Bothmer et al., 2003).**

Tableau 1: Les dix principaux pays producteurs d'orge (2010 à 2018). Source: **FAOSTAT (2018)**

Pays	Superficie récoltée (millions d'ha)	rendement (tonnes / ha)	Production (mt)	Production (% du monde)	Exportations (mt)
Russie	7.848	2.625	20.599	13.975	2.863
Australie	4.834	2.794	13.506	9.163	5.809
Allemagne	1.566	6.930	10.853	7.363	2.898
France	1.671	6.312	10.545	7.154	5.868
Ukraine	2.502	3.312	8.285	5.621	1.571
Canada	2.198	3.591	7.891	5.354	1.207
Royaume-Uni	1.177	6.091	7.169	4.864	1.757
Turquie	2.418	2.936	7.100	4.817	0.006
Espagne	2.598	2.228	5.786	3.925	0.048
Danemark	0.665	6.000	0.399	0.271	0.694

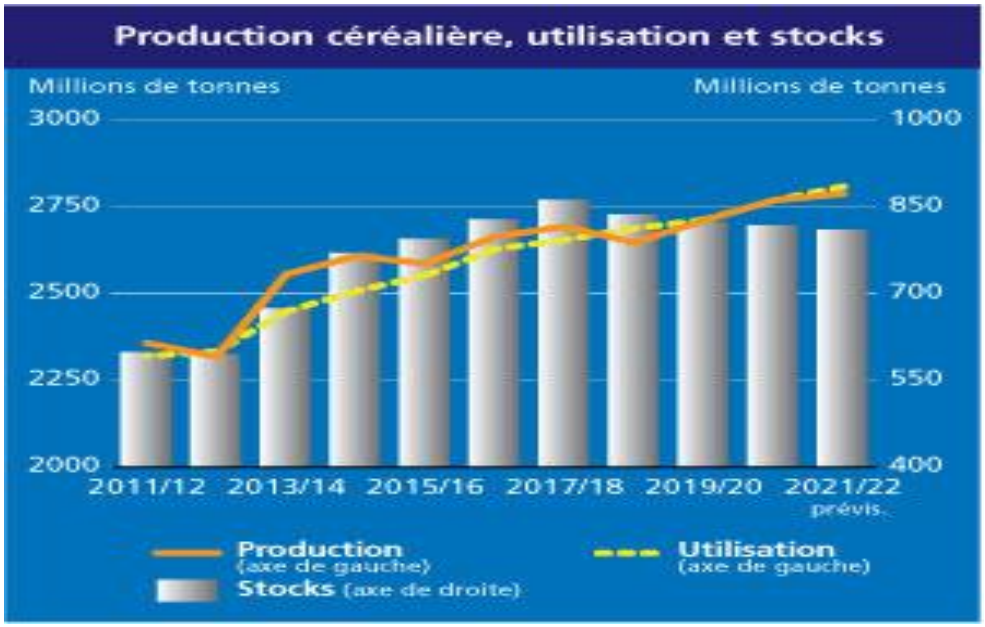


Figure 1: production des céréales, utilisation et stocks 2021 **(http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/**)

I.1.2 l'orge en Algérie

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, ainsi, l'Algérie appartient au groupe de pays qui sont, par tête d'habitant, les plus gros consommateurs mondiaux de céréales. Les Algériens consacrent une part importante de leur budget à l'alimentation : 42% en moyenne en 2011 (contre 35% en Tunisie en 2005 et 17% en France en 2011), les produits à base de céréales représentaient à l'année 2000, 25% des dépenses alimentaires des ménages. Le blé dur demeure la base de l'alimentation en Algérie (semoule principalement, et pâtes). On observe cependant une progression rapide du blé tendre (pain, biscuiterie, pâtisserie) avec l'occidentalisation du modèle de consommation. L'orge et le maïs sont destinés principalement à l'alimentation animale, selon la **Revue nature et Technologie. N° 01/Juin 2009.** Quant aux quantités récoltées, elles restent très variables, et ce, suite aux effets des contraintes agroclimatiques, notamment les effets des stress de fin de cycle **(Benbelkacem, 2013)**

Les céréales ont toujours constitué un aliment fondamental aussi bien sur le plan culturel que nutritionnel. Dès sa domestication, l'orge était utilisée en alimentation humaine **(Ceccarelli et al., 2010)**. De nos jours, elle est remplacée peu à peu par les blés, le maïs et le riz selon les régions et prend, de plus en plus, des destinations fourragères et industrielles **(Amri et al., 2005)**. Le blé tendre a été introduit par la colonisation française. Très consommé par les Algériens, ce pain est fait de grains raffinés qui ont perdu une bonne partie de leurs composants et de leurs propriétés. Selon **EUFIC, (2009)**, en Algérie, les céréales restent presque constants avec une moyenne comprise 2.7 millions d'hectares. L'orge occupe la deuxième place après le blé. Sa superficie varie annuellement de 300.000 à 1.600.000 ha**,** c'est-à-dire 35 à 40 % de la superficie réservée aux grandes cultures **(Benmohammed., 2004)**. La production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps **(Bouzerzour et Benmahammed., 1993)**. Le suivi de l'évolution de la production met en évidence l'importance des fluctuations inter annuel. Presque 1 million d'hectares avec une production moyenne variant de 1,6 à 18 millions q/ an et une moyenne de rendement grain de 6,7 q/ ha **(Menad et al., 2011)**

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle **(Abbas et Abdelguerfi., 2005)**. Selon **Rahal-Bouziane, (2011)**,

L'orge demeure dans les régions de l'extrême Sud (cas du Touat, Gourara et Tidikelt) comme un aliment de base pour les populations. Dans les oasis de la région d'Adrar, nous avons enregistré un nombre de mets très varié à base de céréales (blé tendre, orge, mil, sorgho et maïs) **(Rahal-Bouziane et al., 2005)**, depuis 2009, l'Algérie est devenue autosuffisante en production d'orge.

L'Office National Interprofessionnel des Céréales (OAIC) a été autorisé par le Ministère de L'Agriculture et du Développement rural à exporter une partie de la production record d'orge en 2009. C'est la première fois, depuis 1970, que l'Algérie se positionne sur le marché international pour écouler sa production **(Anonyme, 2010).**

Selon **Malki et Hamadache.,(2002)**, les zones agropastorales de Batna, Khenchela, Tebessa et M'Sila représentent actuellement les principales zones de production d'orge en Algérie. Le nombre de variétés d'orge cultivées en Algérie est plus modeste que celui des blés, souligne **(Hakimi, 1993)**, des superficies cultivées sont largement distribuées en Algérie par les variétés Saïda 183, Rihane et Tichedrette, certaines variétés existent, mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Selon **Boufenar et Zaghouan.,(2006)** selon le ministre de l'Agriculture du développement rural et de la pèche

Tableau 2. Évolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2017) **(MADR, 2017)**.

Période	Superficies (ha)	Production (q)	Rendement (qx/ha)
2000	215 630	1 632 870	7,57
2001	515 690	5 746 540	11,14
2002	894 900	4 161 120	10,4
2003	833 510	782 380	15,6
2004	1 029 000	12 116 000	13,2
2005	1 023 414	10 328 190	15,1
2006	1 117 715	12 358 800	15,2
2007	1 057 700	11 866 580	12,2
2008	1 195 269	3 959 215	9,1
2009	1 275 616	22 033 586	17,6
2010	1 296 626	15 039 300	12,8
2011	1 214 225	12 580 800	13
2012	1 222 048	15 917 150	15,4
2013	1 304 720	14 986 386	16,7
2014	1 227 431	9 394 009	11,9
2015	802 336	10 305 564	12.8
2016	706 678	9 199 064	13.0
2017	773 063	9 696 964	12.5

BILAN IRRIGATION DES CEREALES 2017/2018

1/ BILAN IRRIGATION DES CEREALES 2017/2018		
Nbre	Willaya	Total irrigué
1	Tlemcen	4580
2	Tiaret	9604
3	Saida	7846
4	S B Abbes	1966
5	Mascara	9087
6	A.Temouchent	1557
7	Relizane	2416
8	Mostaganem	905
9	Oran	432
10	Chlef	5582
11	Bejaia	380
12	Blida	300
13	Buira	1129
14	Tizi Ouzou	411
15	Boumerdes	90
16	Tipaza	788
17	Média	2138
18	Alger	120
19	Tissemsilt	1565
20	Ain Defla	13921
21	Tebassa nord	6363
22	Khenchela nord	5587
23	Skikda	70
24	Guelma	1251
25	Constantine	1300
26	B.taref	117
27	Mila	4810
28	Annaba	37
29	Sétif	9251
30	Souk Ahras	50019
31	Batna nord	12705
32	B.B.Arreridj	12705
33	O.E.Bouaghi	9354

L'examen des bilons de l'irrigation des céréales transmis par les DSA, fait ressortir ce qui suit

2/ BILAN IRRIGATION DES CEREALES 2017/2018		
Nbre	Willaya	Total irrigué
1	Biskra	27312
2	El Oued	12613
3	Ouargla	3542
4	Tamarrasset	762
5	Ghardaia	4862
6	Adrar	15977
7	Illizi	102
8	Bechar	639
9	Batna sud	6000
10	Khenchela sud	29922
1	Tebessa sud	4000
2	Naama sud	3905
3	Msila sud	9790
4	Jelfa sud	12707
5	Elbayadh sud	2555
6	Laghouat sud	10756
Total Irrig totale (ha)		145 444

Ce qui représente

- 08% de la superficie total emblavée (3,4 MiL Ha) ;
- 43% de l'objectif à irriguer (600 000 Ha)

Bilan total 2017/2018 :

Figure 2 : Bilan de l'irrigation des céréales **(ministère de l'Agriculture Et Du Développement rural, Madre, 2018)**

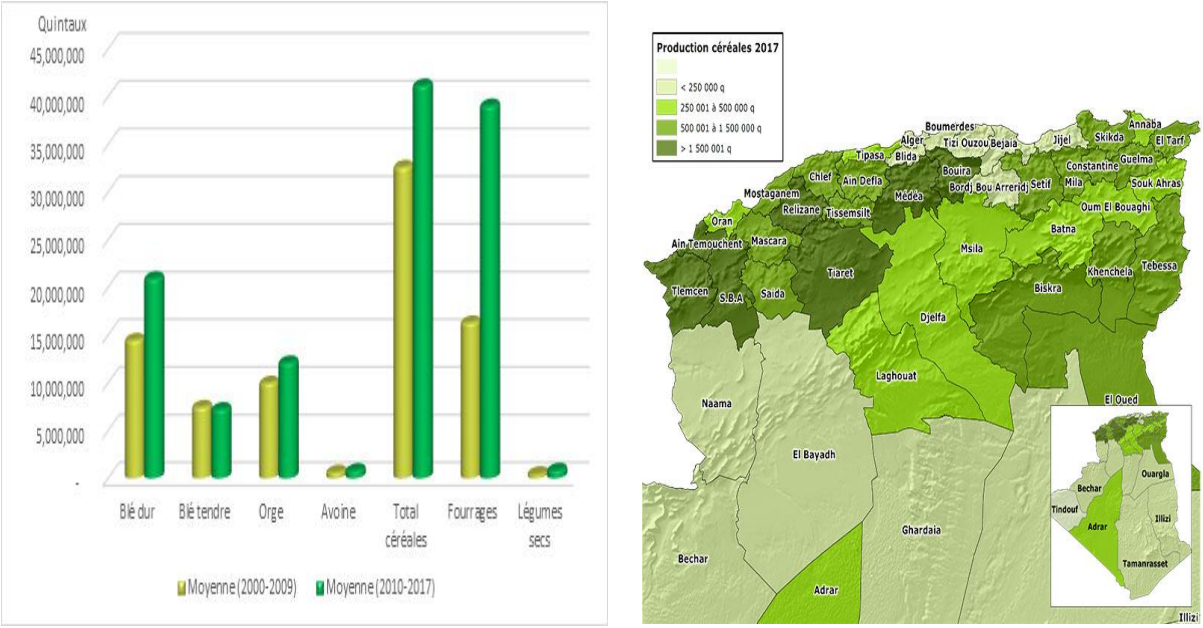


Figure 03 : production des céréales de la période 2010-2017 dans l'économie nationale

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales 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 majore 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.

Tableau 3 : Évolution des prévisions de production, de consommation et d'importation des céréales par l'Algérie à l'horizon 2020 (millions de tonnes). Source: World Wheat, Agricultural Outlook in **(Djenane, 2011)**

Campagne	Consommation	Disponibilités internes (stock+ production)	production	Importation
2007/2008	10,486	6,086	2,6	4,4
2008/2009	11,023	5,429	2,693	5,594
2009/2010	11,129	5,806	2,763	5,323
2010/2011	11,254	5,914	2,848	5,340
2011/2012	11,357	5,948	2,858	5,409
2012/2013	11,467	5,964	2,887	5,503
2013/2014	11,577	5,983	2,912	5,594
2014/2015	11,706	6,002	2,938	5,704
2015/2016	11,846	6,028	2,952	5,818
2016/2017	11,978	6,053	2,967	5,925
2017/2018	12,121	6,079	2,978	6,042

La production des céréales en Algérie se caractérise par un régime thermique, ces contraintes climatiques, augmentation des températures et la diminution des pluies affectent la culture des céréales notamment de l'orge au cours de développement durant l'année agricole comme durant la période de croissance avec une incidence négative sur la production **(Zouaoui et Bensaid., 2007).**

I.1.3 principales zones de production d'orge cultivée en Algérie

La culture de l'orge est pratiquée en Algérie, essentiellement sur les hauts plateaux, et face aux nouveaux défis (changement climatique, crise économique mondiale, hausse des prix alimentaires…),

Selon **Boulal et *al.*, (2007),** les principales zones de production sont :

 La zone semi-aride des plaines telliennes où la pluviométrie est comprise entre 350 et 500 mm avec une distribution des précipitations irrégulière (Constantine, Bouira, Tlemcen, Mila, Souk Ahras, Ain Defla, Chlef, Ain Témouchent, Sidi-Bel-Abbès).

 La zone subaride des hauts plateaux caractérisée par une faible pluviométrie (200- 350 mm), à prédominance agropastorale à des altitudes supérieures à 1000m (Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saida, Bourdj Bou Arreridj).

 La zone humide et subhumide des régions littorales et sub-littorales Centre- Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, Bejaïa, Annaba).

En juillet 2017, selon le ministre de l'Agriculture du développement rural et de la pèche, à enregistré la production de céréale pour :

- **Orge** présente 1303260 ha soit une augmentation de 5,18% par rapport à la campagne écoulée), les quantités de produits herbicides mobilisées par l'OAIC sont de 410000 équivalents hectares dont 238200 équivalents hectares sont commercialisées.
- **Blé dur** présent 1 602 340 ha (soit une augmentation de 4,7% par rapport à la campagne écoulée)
- **Blé tendre présent** 515 600 ha (soit une diminution de 2,8 % par rapport à la campagne écoulée)

Dans toutes les zones de productions du nord et du sud du pays ou les céréales sont cultivées, 71% des superficies se trouvent localisées dans les zones à pluviométrie inférieures à 450 mm comme le montre le tableau 4 **(Hamou et al., 2009).**

Tableau 4 : importance moyenne des céréales par zone agro climatique **(Hamou et al., 2009)**

Désignation	Répartition parisohyéte					Total
Isohyètes, mm	±600	600-450	450-350	350-200	≤**200**	
Superficies céréales, ha	64000	850000	1400000	480000	350000	3144000
%	2	2	45	15	11	100

I.1.4 Production de l'orge dans la région de Sidi Bel Abbes

Les hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès sont localisées dans la partie occidentale des espaces steppiques algériens, immédiatement en contrebas du versant sud de l'Atlas Tellien oranais. Chevauchant six communes à travers deux daïra (arrondissements), Ras-El-Ma et Marhoum, elles sont limitées à l'Est par la wilaya (département) de Saïda, à l'Ouest par la wilaya de Tlemcen et au Sud par les wilayas pastorales d'El-Bayadh et Naama (Figure 4). D'une superficie de 3961 km^2, elles représentent 40 % du territoire de la wilaya.

La surface des terres agricoles présente seulement 13,25% de la superficie totale qui celui-ci couvre 52504 ha, ou elle occupe le tiers des zones du nord et un peu moins du dixième des zones du sud, cette superficie agricole est repartie entre 1985 exploitations dont 45% relèvent du domaine public (exploitation agricole collective). En 2009, une superficie de 39388 hectares dont la superficie agricole utile (SAU) ne couvre que 10 % de la superficie totale. Le taux de développement des génotypes dans les durées du pré- et du post- anthèse sont différents en raison de la variation de la température selon l'année et l'environnement **(Akkaya *et al.*, 2006)**, les hautes températures de fin de cycle sont considérées comme un facteur important de limitation de rendement, des températures, au-dessus de 30°C, affectent le poids final de grain **(Al-Khatib et Paulsen, 1984)**. L'effet des hautes températures peut modifier, non seulement le poids final de grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface **(Calderini *et al.*, 1999).**

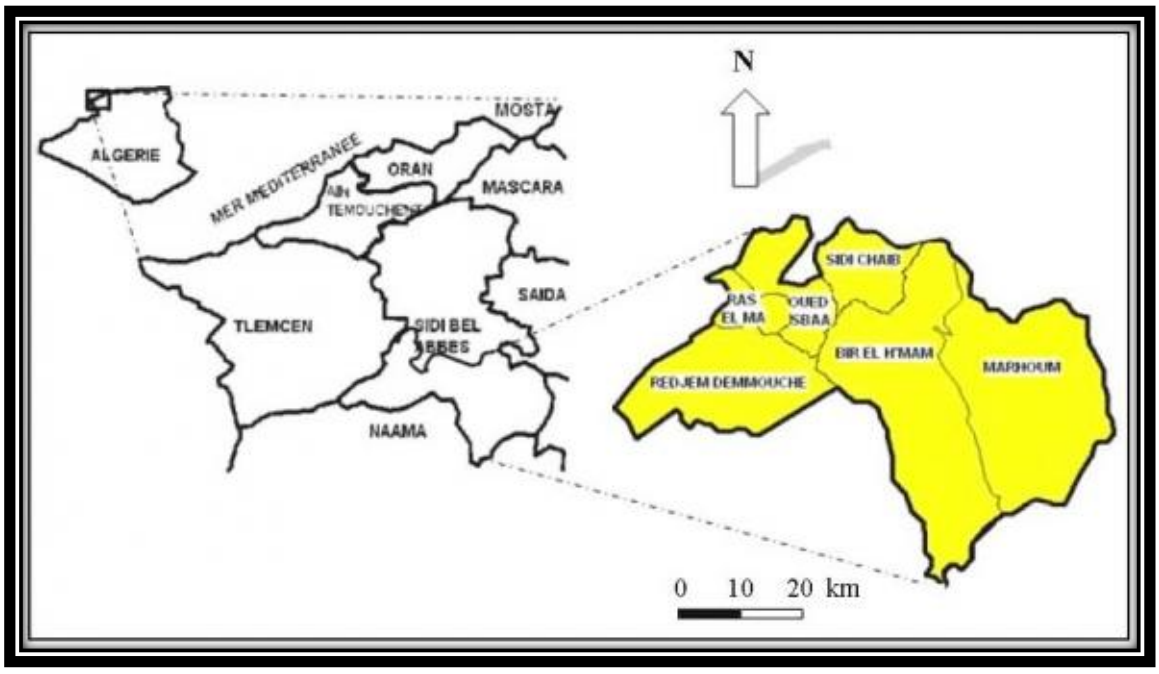


Figure 4 - Carte de localisation de la région des hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès.

Tableau 5 - Occupation de la surface agricole utile des hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès (en milliers d'hectares) de 1987 à 2009 (**DSA, 2009).**

	1987			**1996**			**1999**			**2009**		
	Nord	**Sud**	**Rég.**	**Nord**	**Sud**	**Rég.**	**Nord**	**Sud**	**Rég.**	**Nord**	**Sud**	**Rég.**
SAU	18,61	12,31	30,92	22,06	17,25	39,31	22,11	17,28	39,39	22,11	1,28	39,39
Céréales	9,38	7,81	17,2	15,64	11,79	27,43	3,66	1,85	5,51	4,15	1,03	5,18
Jachère	9,02	4,49	13,51	6,33	5,46	11,79	18,20	15,43	33,63	17,38	16,16	33,54
Arboriculture	0,01	0	0,01	0,02	0	0,02	0,09	0	0,09	0,46	0,08	0,54
Maraichage	0,2	0	0,02	0,08	0	0,08	0,16	0	0,16	0,13	0,005	0,13

Nord : communes du nord. **Sud** : communes du sud. **Rég**. : Total pour la région. **SAU** : La surface agricole utile

La faiblesse des rendements des céréales enregistrés n'est pas seulement due aux aléas climatiques, mais elle reste liée aux contraintes techniques nouvelles employées, à l'utilisation des instruments mécaniques qui nécessitent un entretien et aussi de facteurs organisationnels, humains et financiers.

La willaya de sidi bel abbès présente trois grandes zones principales de point de vue géomorphologique :

- **Zone semi-aride :** cette zone occupe une superficie de l'ordre de 2250,36 km² soit 24,59% de l'espace de la willaya, située entre 400 et 800 m d'altitude elle est représentée par les monts de Tassala-Beni Chograne occupant 864.20 km2 du nord de la wilaya et les monts de Dhaya dans la partie centrale avec une superficie de 1386.16 km2.
- **Zone de plaines :** Elle couvre une superficie totale de l'ordre de 3240 km² soit 35% de l'espace wilaya. Elle est représentée par la plaine de sidi bel Abbes. Dont l'altitude varie de 400 à 800 m est les hautes plaines de Telagh environ (1136.59 km2) dont l'altitude varie de 400 à 1000 m
- **zonent de steppe (pleins littoraux) :** Les zones occupent une superficie totale de l'ordre de 3660.82 km^2, soit 40% de l'espace wilaya dont l'altitude varie de 1000 à 1400 m : **(INRA, 2002).**

I.2 L'orge et son caractère génomique

I.2.1 *L'orge Hordeum Vulgare*

L'orge *(Hordeum vulgare* L.), de constitution génomique diploïde (2n=14), est une espèce dont les origines remontrent à celles de l'agriculture elle-même. L'orge à 2 rangs, datant du néolithique, 10000 ans avant Jésus Christ, a été découverte dans le croissant fertile, au Moyen-Orient. Elle est considérée comme étant les restes les plus anciens de l'orge cultivée, en Amérique, les premières cultures remontent à Christophe Colomb qui, en 1493, avait embarqué des grains au départ d'Europe **(Jessica et al., 2017)**, ils ont atteint les pays du Maghreb depuis le croissant fertile en passant par l'Égypte (**Bonjean, 2001).**

L'orge est issue des formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* que l'on trouve encore aujourd'hui au Moyen-Orient, cette étude montre que l'orge sauvage (*Hordeum spontaneum*) et l'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.) sont morphologiquement semblables. Tous les types sauvages possèdent des épis à deux rangs, ce qui signifie que sur les 3 épillets situés à chaque nœud, les deux latéraux sont stériles et seul celui du milieu forme une graine. Les nœuds du rachis pouvant être formés d'un seul épillet ou de trois, l'inflorescence paraîtra avoir deux ou six rangs de grains d'où les noms d'orge à deux ou six rangs (**Holloway and al, 2017).**

Le grain d'orge présent une matière complexe contient d'embryon qui responsable des activités vitales du grain. Les cellules mortes remplies de granules d'amidon présente une réserve de source nutritive (l'endosperme), testa et le péricarpe est membrane semi-perméable constituée par des cellules tubulaires, une couche à aleurone est 'une couche périphérique de cellules renferme des protéines, des lipides, des vitamines, de l'acide phytique et de cellulose **(Hariri, 2003).** D'après **Ragaee et al., (2006)**, les composés phénoliques et d'autres antioxydants sont présents dans les céréales peuvent agir comme des piégeurs des radicaux libres, ces composés phénoliques peuvent constituer des appels avertisseurs entre les plantes qui permettent de résister contre les agressions d'extérieur.

Le son est un point clé pour donner des avantages pour la santé des grains entiers d'où la quantité de fibre alimentaire totale(FAT) et le contenu phénolique total (TPC) de la graine entière et de la fraction son de blé, d'avoine et de l'orge **(Vitaglione et al., 2008).** Les aliments fonctionnels à base de céréales peuvent être favorisés par la relation entre les acides phénoliques et les activités antioxydantes **(Pangy et al., 2018)**. Il existe d'autres études in vitro **(Sevgik et al., 2015)** ont monté

qu'elle possède des mécanismes d'action de acides phénoliques agent réducteur et piégeage des radicaux libres.

I.3 *Caractéristiques botaniques et histologiques de l'orge*

I.3.1 *Histologie du grain d'orge*

L'orge est une plante annuelle au cycle végétatif court, plantée au printemps, et qui sera récoltée avant l'été, le grain est de forme elliptique et de couleur noire ou pourpre. D'un point de vue morphologique le grain d'orge est un caryopse à glumelles adhérentes chez les variétés cultivées. Les glumelles ou enveloppes ne se séparent pas du grain lors du battage **(Andrew et al., 2017).**

D'après **Feillet, (2000),** l'orge cultivée est appartenant à la classification suivante:

- La classification de l'orge est résumée ci-dessous :

Règne	Végétal
Embranchement	Anthophytes
Classe	Monocotylédones
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Genre	H*oedeum*
Espèce	*Hordeum Vulgare L*

Au point de vue agricol, il existe deux formes d'orge, l'orge à deux rangs et l'orge à six rangs qui descend de celui à deux rangs **(Lakshmi et al., 2016).**

Les variétés d'orge sont

regroupées d'après les caractéristiques de leurs épis en deux grandes espèces :

- **L'orge à deux rangs** qui comporte un épi aplati composé de deux rangées d'épillets. L'orge à deux rangs présente les meilleures productions parmi les grains dont le poids en grains et le contenu en amidon sont les plus élevés **(Bowman et al., 2011)**. Il n'existe en général dans cette espèce que des variétés de printemps et seule la fleur médiane est fertile.

- **L'orge à six rangs ou escourgeon** chaque axe de la tige et dont les grains sont plus petits. Cette espèce ne comporte pratiquement que des variétés d'hiver. Quand l'épi est vu du haut, il semble y avoir six rangées de graines **(Kumlehn et Stein., 2014)**. Les variétés à

-

- 6 rangs sont homozygotes, le gène est transmis sur le mode récessif, et fleur latérales sont aussi fertiles.
-

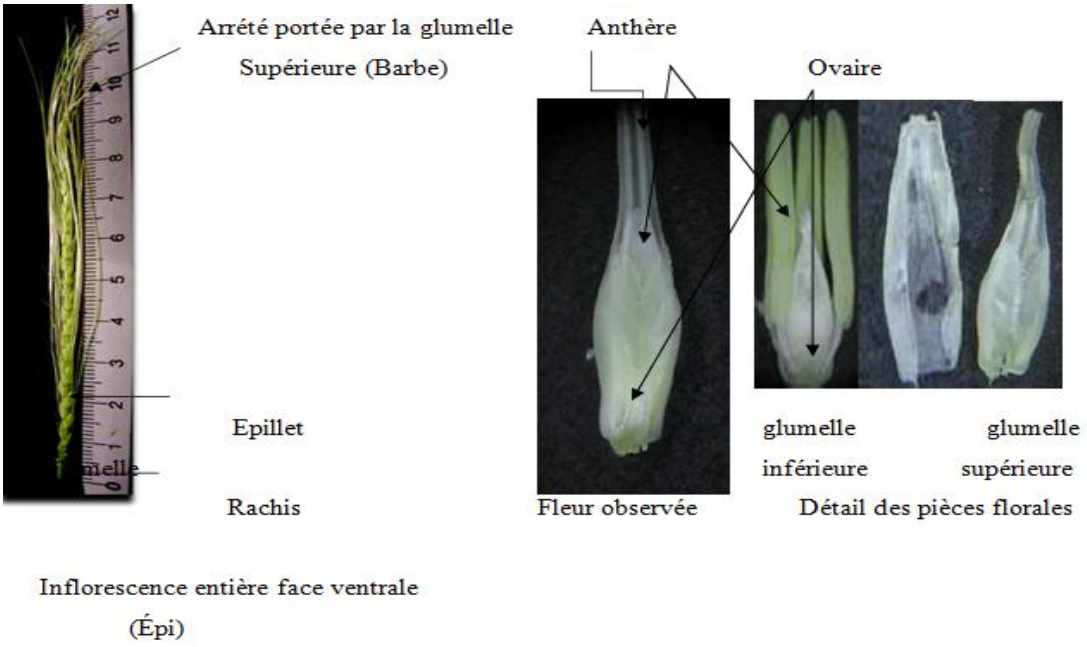


Figure 5: Inflorescence, fleur et pièces florales d'orge (Hordeum vulgare L. cv. Cork) **(Jacquard, 2007)**.

Une étude faite par **Soltner,(2005),** classe les orges selon leur milieu de culture en trois groupes qui sont :

- Les orges d'hiver, dont leurs cycles de développement varient de 240 à 265 jours, s'implantent en automne. Ces orges ont besoin pour assurer leur montaison, de température qui manifeste un degré plus au moins élever de résistance au froid hivernal.

- Les orges de printemps dont le cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours), s'implantent au printemps. Ces orges n'ont aucun besoin de vernalisation pour assurer leur montaison.

- Les orges alternatives qui sont intermédiaires au plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps.

I.3.2 *Le cycle de développement et reproduction chez l'orge*

Le développement est un phénomène repérable dans le temps, c'est un ensemble de transformation qualitative de la plante jusqu'à l'apparition de nouveaux organes

I.3.2.1 La période végétative : celle-ci comprend trois phases

- la germination la levée
- la levée début tallage
- le tallage

- **La germination**

Lorsqu'une semence viable est placée dans des conditions adéquates de la lumière, de la température, d'oxygène et de l'humidité donne un début de croissance de l'embryon. Selon (**Sergio et al., 2016)**, la germination marque le passage d une vie ralentie à une vie active, la pris d'eau par le grain d'orge pendant la germination se déroule en trois phases :

1. **la première phase :** appelée phase d'inhibition, cette phase correspond à une simple inhibition de la graine sèche par une forte prise d'eau (un gonflement de la graine) ou en constate que les graines se remettent à respirer, ou la vitesse de germination et en fonction de la température et à la lumière, et aussi à la l'obscurité, cette étape se déroule durant la trempe
2. **la deuxième phase :** c'est une phase correspond à la germination ou la graine se caractérise par la stabilisation de la prise d'eau et même l'activité respiratoire
3. **la troisième phase :** cette phase d'élongation des radicelles **(Hopkins, 2003)** à montrer que le péricarpe testa se comportait comme une membrane osmotique : il permet l'entrée d'eau dans le grain, ainsi les nutriments ne sont pas largués à l'extérieur du grain, et les solutés contenus dans l'eau n'entrent pas

- **Une phase levée (tallage)**

Cette phase se caractérise par l'apparition de la première feuille à l'extrémité du coléoptile ainsi la deuxième , la troisième puis la quatrième chacune d'elle est impliquée dans la précédente , le plateau de tallage est constitué de 4 à 5 nœuds , l'apparition des différentes feuilles à lieu à l'intervalle de temps en degrés jours , pour le blé tendre est environ 80 à 100 jours et pour l'orge de printemps est de 50 à 70 jours. cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement **(Giban et al ., 2003)**

- **phase début tallage**

Il s'agit d'un simple processus de ramification, le premier tallage apparait de la première feuille quand la plante est au stade de 3 feuilles, la fin de tallage est celle de la fin de la période végétative, L'achèvement précoce de la phase végétative, la tardiveté de la variété et une température assez douce favorisant un tallage abandon **(Sabine et al., 2015)**, elle marque le début de la phase reproductive

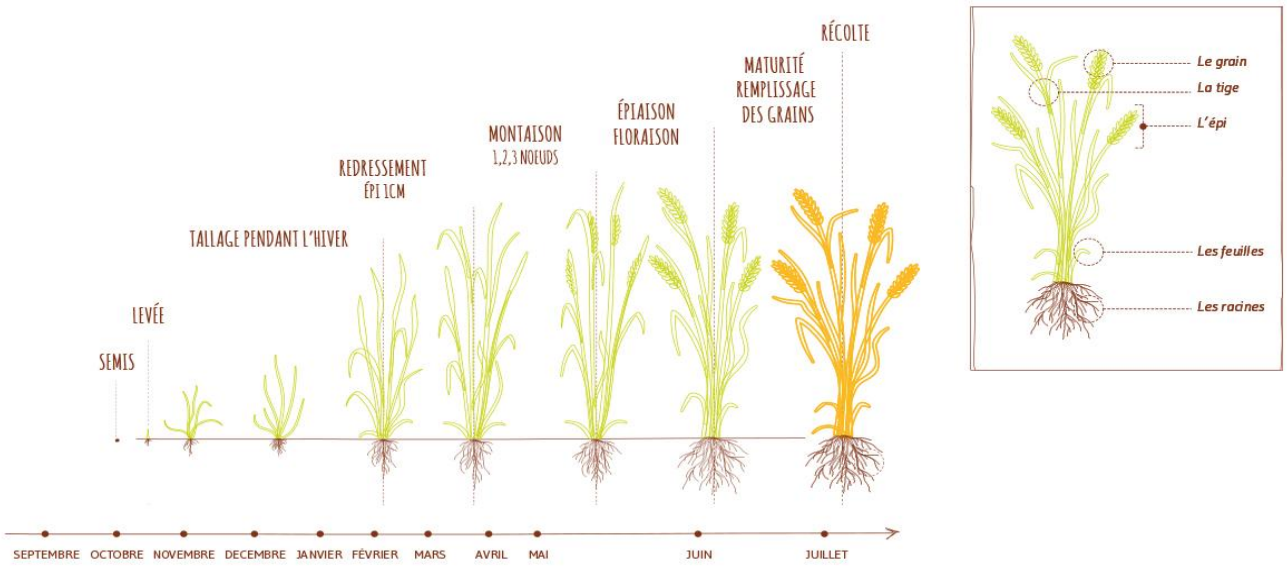


Figure 6 : Le cycle de développement des céréales **(web mail)**

I.3.2.2 ***La période reproductive***

- **la montaison :** ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement), signe de l'émergence proche de l'épi **(Jochen et Nils, 2014) .**
- **L'épiaison:** est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille le nombre d'ovules par épi est fixé depuis ce moment **(Chiara et Maria, 2014),**
- **La floraison :** cette période commence par le changement morphologique de l'apex, avec l'apparition des premières doubles rides qui marque le début du stade de reproduction, le nombre de doubles rides augmente rapidement avec le temps ou 50% des anthères sont sorties ou nous sommes en plein floraison et à la fin de cette période

Tous les épillets ont fleuri, quelques anthères desséchées peuvent subsister. La fleur est entourée de deux glumelles et comporte un pistil et 3 étamines **(Agnieszka et al., 2016)**.Dans cette partie, les grains se développent en deux stades :

Le stade laiteux: ou les premières graines ont atteint la moitié de leur taille finale et le grain contient encore 50% d'humidité

Le stade pâteux mou: ou les grains ont atteint leur taille finale, mais ils sont toujours vert jaune ou le grain à perdu son humidité, mais il s'écrase facilement

I.3.2.3 ***La période de maturation du grain***

Pendant cette période l'amidon et la matière protéique, qui sont des substances de réserve qui vont migrer dans l'albumen et en parallèle la formation de l'embryon, seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peuvent provenir de réserves antérieures à la floraison **(Flaten et al., 2015).**

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité), elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades **(Gate, 1995).** La tige en plus des feuilles et des enveloppes de l'épi concourent au remplissage temporaire du grain pour corriger le déséquilibre qui peut apparaître lorsque la phase rapide de remplissage du grain, n'a pas encore débuté alors que la croissance végétative continue pendant ce laps de temps **(Savin et al., 2015)**, le caryopse est dur et difficile à couper en deux avec l'ongle.

- **Grain : pilosité du sillon (PSG)**

La présence ou l'absence de poils est observée après la suppression de la baguette sur les bords du sillon. Pour cette observation, le grain peut être détaché des glumelles comme chez les orges nues ou bien les glumelles sont directement collées en grain comme si le cas de la majorité des orges **(Irma et al., 2017).**

- **le poids de 1000 grains (PMG)**

Le poids de 1000 grains dépend du choix variétal, de l'humidité du sol à la floraison et de l'échaudage. **(Baldy, 1993)** indique que les fortes températures après la floraison ont des effets défavorables sur le développement du grain .Selon **(Lakshmi et al., 2016)**, le poids de 1000 grains diminue considérablement sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain.

La nutrition azotée et les conditions climatiques (chaleur et humidité) affectent considérablement le PMG, Plus le poids de 1000 grains est élevé, plus la proportion d'amidon est importante au sein du grain et plus l'extrait potentiel est élevé. Le PMG dépend des conditions de nutrition minérale et hydrique et de la variété en fin de cycle, le poids du grain pour une variété donnée en absence d'incident grave dépend essentiellement du poids de l'ovaire fécondé **(Sadras et Calderini, 2015)**.

Tableau 6 : Stades de développement des céréales : échelle de **Feekes, (1954)** et de **Zadoks, (1974).**

Stades	**Feekes**	**Zadoks**	**Caractéristiques**
Levée	**1**	7 10 11 12 13	Sortie du coléoptile 1re feuille traversant le coléoptile 1re feuille étalée 2eme feuille étalée 3eme feuille étalée
Début tallage	**2**	**21**	Formation de la 1re talle
Plein tallage Fin tallage	**3** 4	22 23 24 25	2 à 3 talles
Epi à 1cm	**5**	**30**	Sommet de l'épi distant à 1cm du plateau de tallage
1- 2 nœuds	6 7	31 32	1 noeud 2 nœuds élongation de la tige
Gonflement L'épi gonfle la gaine de la dernière feuille	**8** **9** **10**	**37** **39** **45**	Apparition de la dernière feuille Ligule juste visible (méiose male) Gaine de la dernière feuille sortie
Épiaison	10-1 10-2 10-3 10-4 10-5	49-51 53 55 57 59	Gaine éclat ¼ épiaisons ½ épiaisons ¾ épiaisons Tous les épis sortis
Floraison	10-5-1 10-5-2 10-5-3	61 65 69	Début Floraison Demi-Floraison Floraison complète
Formation du grain	10-5-4 11-1 11-2 11-3 11-4	71 75 85 91 92	Grain formé Grain laiteux Grain pâteux Grain jaune Grain mûr

I.4 *Les différentes parties qui constituent les grains d'orge*

✓ **Les couches longitudinale et transversale d'un grain d'orge :**

Le grain de l'orge est une matière complexe contenant une plantule complète (embryon) est constitué de plusieurs tissus qui se superposant, la partie centrale renferme de l'amidon, la couche à aleurone et les enveloppes organisées en plusieurs assises (glumelle, péricarpe, testa) qui servent de protection. **Les figures (7)** présentent des coupes longitudinales

Est composé de trois parties (l'embryon, l'endosperme et les enveloppes)

1.4.1 *L'embryon*

Dans la partie dorsale de la graine d'orge est constituée d'un embryon (germe) qui donne naissance à la future plante , l'embryon est séparé de l'endosperme par le scutellum qui a un rôle dans la synthèse d'enzymes et transfert des nutriments de l'album en vers l'embryon lors du développement du grain , ce germe renferme beaucoup de vitamine B et E , des lipides , des glucides (saccharose)**, (Hariri, 2003**) des minéraux et les principales protéines sont des albumines et des globulines.

1.4.2 Endosperme

L'albumen (l'endosperme) est un tissu de réserves nutritives de l'orge, ces cellules sont remplies de grains d'amidon, l'essentiel de l'album en amylacé se retrouve dans les fractions de farine et de semoule après mouture du grain. La composition biochimique de l'endosperme est donnée dans **le tableau 7.**

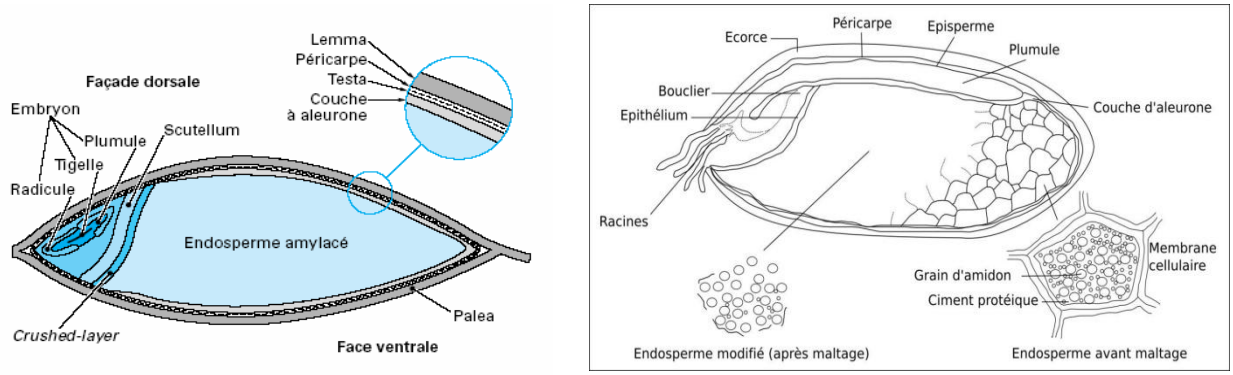


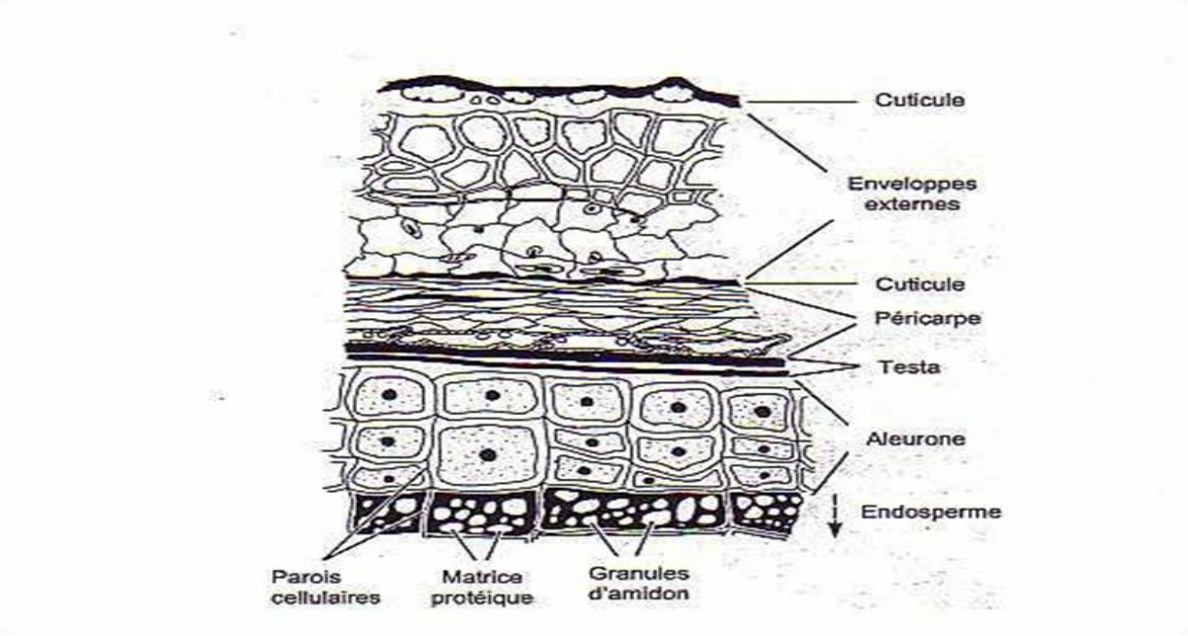
Figure 7: Coupe longitudinale d'un grain d'orge **(Société *Malteurop*, 2000)**

Tableau 7 : Composition biochimique de l'endosperme.

Constituants biochimiques	Teneur dans l'endosperme
Amidon	65%
Protéines	7 à 12%
Parois cellulaires : **Gommes et matériels cellulosiques** β-glucanes Pentosanes Protéines Glucomannanes Cellulose Acides phénoliques Acides uraniques	 6 à 8% 70% 20% 5% 2% 2% 0.5% 0.5%
Lipides	2à 3%

1.4.3 Composition histologique des couches périphériques

Les tissus périphériques du grain d'orge qui recouvrent l'endosperme amylacé sont constitués des multicouches, aves des couches de chaque type du tissus d'épaisseur différente et étroitement associées les unes aux autres, de La surface externe a la surface interne (son d'abeille). le péricarpe interne comprenant les cellules transversales et les cellules tabulaires, l'enveloppe de la graine (testa), la couche hyaline (épiderme nucellaire) et la couche d'aleurones la plus épaisse **(Antoine et al., 2004 ; Evers et al., 1988),** **(La figure 8)** présente une coupe transversales d'un grain d'orge. Cette partie est la peau de la graine et contribue à la protéger des maladies et des parasites, elle est principalement constituée de fibres alimentaires (β-glucane, cellulose, arabinoxylane et lignine) et contient quelques vitamines.



F***igure 8 :*** Coupe transversale des enveloppes, de la couche à aleurone et de L'endosperme amylacé d'un grain d'orge **(Palmer, 1989).**

I.4.3.1 Les enveloppes

Les couches externes du grain (péricarpe) et les glumelles peuvent contenir des pigments spécifiques qui donnent une coloration au grain: (jaune, noire, violet, blanc) les deux composantes du grain sont l'embryon (plantule au stade dorment) et l'albumen qui forme les réserves de nourriture pour la jeune plantule lors et après la germination **(Stanca. et al., 2016).**

Le grain d'orge est composé des cinq tissus superposés attachés après battage, de la surface externe vers le centre du grain on trouve :

I.4.3.1.1 Les glumelles

Constituent l'enveloppe externe du grain d'orge qui est formé de cellulose (20%) d'hémicellulose (30-45 %) et de la lignine (10-20%) **(Hoije et al., 2005),** les glumelles protègent le grain à la cour de la germination et représentent 10 à 20 % du poids sec de la graine

I.4.3.1.2 Le péricarpe externe et le péricarpe intérieur

Le péricarpe est composé de plusieurs types de cellules de l'extérieur à l'intérieur qui se situent entre les glumelles et le testa

- ***Péricarpe externe***

Il constitue la première enveloppe protectrice du fruit qui a une épaisseur globale de 15 à 30 µm, ces mesures sont réalisées après hydratation des grains, c'est une pellicule qui s'arrache assez facilement aux premières étapes de mouture.

Le péricarpe externe est constitué de deux couches :

- L'épiderme : ce sont des cellules vides et sèches qui recouvert d'une fine cuticule et porte au sommet du grain, les poils formant la brosse
- L'hypoderme : qui se trouve au-dessus de l'épiderme

Ses deux tissus sont complètement soudés dans le grain mature, cette couche permettant les échanges gazeux sur sa face externe.

- ***Péricarpe interne***

Il est composé de trois couches cellulaires :

Les cellules intermédiaires (inter médiat cells) ne sont pas présentes partout autour du grain

Et ne constituent pas une couche continue, ce sont des résidus des cellules comprimées lors de la croissance du grain qui sont difficilement observable sur un grain mature disséqué.

- Les cellules transversales ou mésocarpes sont perpendiculairement aux cellules de l'épiderme, ils sont photosynthétiques dans la nature donnent un aspect vert au développement du caryopse à un stade précoce **(Evers et Millar, 2002)**. Leur taille se situe entre 100-150 µm X 10-15 µm
- Les cellulaires tubulaires ou endocarpes se sont des cellules allongées, elles sont présentes surtout la partie dorsale du grain, Leur taille est 120-250 µm X 12-15 µm, 5-10 µm larges.

I.4.3.1.3 Le testa

Le testa est l'enveloppe de la graine, elle est constituée de deux zones cubiculaires, les cellules internes sont orientées de manière perpendiculaire aux cellules externes qui donnent un aspect caractéristique de quadrillages, la testa contient beaucoup de substances phénoliques telles que les pro-anthocyanidines (tanins condensés) qui sont impliquées dans le trouble colloïdal **(Hariri, 2003)**

I.4.3.1.4 La paroi externe

La paroi externe posséde une fonction protectrice. Elleprotége l'embryon des infections pendant la germination, et permette une absorption d'eau homogéne et assure par capillarité

La distribution d'eau sur la surface du grain, ou elle empêche la sortie des sucres et des acides aminés du grain, mais aussi l'entrée des microorganismes.

I.4.3.1.5 La couche Aleurone

La cellule a aleurone de l'orge est plus petite que celles du blé et du seigle, la couche à aleurone chez l'orge comprend trois à quatre rangs de cellules, dans le voisinage de l'embryon, elle peut se réduire à deux rangs jusqu'à un seul rang **(saulnier , 2012).** La couche a aleurone qui entoure les cellules a amyloplastes remplis d'amidon et l'embryon, elle est riche en protéines, lipides, phytates, vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E), et les minéraux (P, K, Mg et Fe) **(Brouns et al., 2012)**. Ces protéines et les enzymes jouent un rôle vital dans les processus de germination, étant le seul tissu vivant de l'organisme mature, le grain avec l'embryon **(Winton et al., 1932).**

I.4.4 Les principales fonctions des parois végétales

Les murs constituent une source et un site de perception du signal, lorsqu'elles sont limitées, les parois peuvent être une source de glucides. Les murs de cellules de plantes sont des structures dynamiques qui jouent un rôle important. En culture, en différenciation et en adaptation des plantes à des facteurs biotiques (herbivores et pathogènes) et abiotiques (immersion, ombre, sècheresse et température) de l'environnement.

I.4.5 La croissance et l'adaptation des parois des plantes

l'accélération de la croissance des pousses lorsque les plantes sont submergées ou exposées à l'ombre permet à certaines plantes d'échapper à des conditions défavorables **(Dandjlessa et al., 2022)** , les modifications apportées aux cellules mures de plantes permettent également aux végétaux de s'adapter aux changements de l'environnement. Les plantes tolérantes au froid ajustent leurs propriétés pariétales pour éviter l'assèchement dû à la congélation, et utiliser le mur comme barrière contre la diffusion des cristaux de glace.

Les cellules végétales se développent par l'expansion de leurs parois cellulaires, cette augmentation de taille et de volume peut être impressionnante: la longueur des vaisseaux xylèmes peut ainsi augmenter de 30000 fois (**Cosgrove *et al.*, 2005)**, cette croissance est obtenue à travers l'absorption d'eau dans la vacuole et l'extension irréversible des murs. Une paroi cellulaire rigide peut résister à une attaque pathogénique en créant une barrière physique infranchissable. En outre, les fragments de polysaccharides libérés lors de la modification des murs peuvent contribuer à la signalisation conduisant la mise en place de réactions défensives **(Mansouri et Bousbia , 2018).**

I.5 Composition biochimique des couches périphériques

I.5.1 Les constituants biochimiques de l'orge

On a deux phases de métabolite au niveau des céréales : le métabolite primaire et le métabolite secondaire à l'issue résultent des groupes moléculaires différents **(Kumar, 2011)**. Les constituants biochimiques en poids sec d'un grain d'orge sont donnés dans le **(tableau 8)** suivant :

Tableau 8 : constituants biochimiques de l'orge en % de matière sèche **(AIIosio-Ouarnier,1999)**

Constituants chimiques	**Teneur en %du poids sec**
Glucides	**78-85**
Amidon	63-65
Saccharose	1-2
Sucres réducteurs	0,1-0,2
Polysaccharids /Solubles dans l'eau (gomme)	1-1,5
Polysaccharids / Solubles dans les solvants organiques (hémi-celluloses)	8-10
Cellulose	**4-5**
Autres	**1**
Lipides	**2-3**
Protéines Albumines Globulines Hordéines Glutelines	**8-11** 0,5 3 3-4 3-4
Acides aminés et peptides	0,5
Acides nucleiques	0,2-0,3
Sels mineraux	2
Autres dont lignine	5-6

I.5.1.1 Composition biochimique

Les aliments qui ont une base de céréales sont la principale source, d'énergie, de protéines, de vitamines B, de minéraux et de nourriture pour la population mondiale actuelle **(Monterray, 2016).** L'utilisation des céréales a considérablement évolué et se répartit entre l'alimentation humaine, l'alimentation animale et les applications non alimentaires **(Saulnier, 2012).**

C'est par la structure et la composition qu'on peut déterminer la dureté des grains (Nair et al., 2011) et par conséquent, donne une capacité à la transformation des grains dans les processus

Alimentaires industriels tels que la fabrication de produits alimentaires. En Algérie, la céréale la plus importante est l'orge (*H. vulgare L.*), la consommation de céréale a fourni 20 à 30% de l'apport moyen en protéine, thiamine, phosphore et zinc et 10 à 20 % de nombreux nutriments tels que le sodium, le calcium, le potassium, les acides gras insaturés, la niacine, la riboflavine, la vitamine B6 d'après une enquête menée auprès de ménage polonais **(Laskowski et al., 2019).**

Il s'agit des: **glucides, lipides et protides (Jeantet et *al.* 2007).**

I.5.1.1.1 glucides

Le grain d'orge contient du glucide, mais surtout de composés plus au moins complexes comme le sucre simple tel que le glucose et le pentose, mais en faibles quantités (<0.2%) **(Jilal, 2011)**, Saccharose et de raffinose au niveau de l'embryon **(Hariri, 2003)** ; le plus important est l'amidon, qui présente de 60 à 65% du poids sec de l'orge, qui se localisé principalement au niveau de l'endosperme, qui est une source importante d'énergie est facilement digestible, Il est constitué de deux polymères de D-glucopyranose **,** 25 % d'amylose de structure linéaire, avec des liaisons de type α (1-4**) et (**75% d'amylopectine formée par la polymérisation du D-glucose, lié par les liaisons α (1-4) et quelques liaisons α (1-6) qui est à l'origine des ramifications. Ces dernières représentent environ 5 à 6% du nombre total de liaisons **(Koehler et Wieser, 2013).**

Les propriétés physico-chimiques de l'amidon dépendent de la proportion, la composition et la structure des molécules de l'amylose et de l'amylopectine **(Van Hung et al., 2006)**. A maturité, l'amidon de l'orge se présente sous forme de deux types de granules, qui ont une structure semi-cristalline. Les gros granules d'amidon (Type-A), de diamètre compris entre 10 et 25 μm de forme arrondie, représentent 10% du nombre de granules et 90 % du poids de l'amidon. Ils ont une température de gélatinisation de 61-62°C. Les petits granules d'amidon (Type-B), de diamètre compris entre 1 et 5 μm représentent 90 % du nombre de granules et 10% du poids de l'amidon, et ont une température de gélatinisation de 75-80°C **(Jilal, 2011).**

L'amidon est l'une des matières organiques les plus répandues du monde végétal, où il constitue la réserve nutritionnelle des organismes. D'un point de vue nutritionnel, la digestibilité des amidons de céréales est conditionnée par la gélatinisation au cours de la cuisson et par la structure de l'aliment. En conséquence, elle dépend avant tout du procédé de fabrication **(Saulnier, 2012)**, L'amidon ne se dissout pas dans l'eau froide, ni dans l'alcool ni dans l'éther.

I.5.1.1.2 Les lipides

Les grains d'orge son pauvre en lipides, ça teneur est d'environ 2 à 3%, principalement des acides gras, retrouvés dans la couche à aleurones(60%), dans l'embryon (33%) et dans l'amande farineuse (7%) **(Briggs, 1998)**. Qui sont repartissent en :

- Les lipides apolaires (lipides de réserve du grain) : mono, di et triglycérides, et des acides gras libres essentiellement localisés en petites quantités au niveau de l'embryon de l'endosperme, de la couche à aleurone et du péricarpe **(Saulnier, 2012).**
- Les lipides polaires (lipides de structure du grain) : phospholipides et glycolipide essentiellement **(Saulnier, 2012)**. Certains sont libres, mais la majorité est associée aux protéines et à l'amylose **(Koehler et Wieser, 2013)**. Les granules d'amidon contenant des quantités plus petites de lipides polaires seront plus faciles à dégrader par les enzymes **(Hariri, 2003).**

Les lipides sont riches en acides gras insaturés comme le montre leur composition figurant dans **(le tableau 9) (Berger, 1982)**

Tableau 9: Composition en acides gras (AG) des lipides des grains de céréales en pourcentage du total des AG, **(Berger, 1982)**

Espèces	Acide palmitique	Acide oléique	Acide linoléique C18 (insaturé à 2 doubles liaisons)	Acide linoléique
Avoine	17	37	41	5
Blé	18	15	36	4
Mais	12	26	60	2
L'orge	**25**	**8**	**51**	**6**
Seigle	21	7	64	8

I.5.1.1.3 Les protéines

Dans le plan quantitatif la teneur en protéine dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante, la teneur en protéines des grains d'orge est de l'ordre de 10 à 17% **(Izydorczyk, et al., 2000)**, la couche à aleurones comporte 30 à 35 % de protéines, le germe 35 à 40 %, mais le péricarpe et l'album en amylacé contiennent respectivement 6 à 7 % et 6 à

9 % **(Popineau, 1985)**. Une teneur de 87% des protéines se trouve dans l'albumen et la couche à aleurone.

Les protéines solubles sont essentiellement synthétisées et accumulées au niveau de la couche à aleurone, pauvre en protéines insolubles et en grain d'amidon. Les protéines de réserve sont accumulées à l'intérieur des membranes endoplasmiques granuleuses dès leur synthèse. Les protéines de céréales sont constituées par plus d'une cinquantaine de constituants classés d'après leurs propriétés de solubilité **(Lookhart et Scott, 1995).**

Le caractère de solubilité a permis de définir et de distinguer quatre groupes de protéines du grain.

1- **Les albumines** sont la classe de protéines qui sont solubles dans l'eau pure, mais coagulables à la chaleur. Elles représentent 11% des protéines totales **(Kunze, 2014),** qui sont des protéines influençant fortement la tenue de la mousse **(Siebert et al., 1999**). En effet, ces protéines subissent des transformations telles que des glycations. Les principales protéines métaboliques font partie des albumines. Elles représentent 80 à 90 % des protéines totales. Les protéines de réserve associées forment un constituant d'un type unique dans le règne végétal: le gluten, ce dernier est un complexe protéique viscoélastique constitué d'un mélange hétérogène de prolamines et de glutélines associées par des liaisons covalentes (S-S et S-H) et non covalentes (hydrogène, hydrophobe et ionique) **(Melas et al., 1993),**

2- **les globulines** sont la fraction protéique soluble dans les solutions salines, elles comptent pour 15% des protéines totales **(Kunze, 2014)**. Ce sont des protéines de stockage de l'orge et sont surtout retrouvées dans l'amande farineuse.

3- **Les glutelines**, ou **hordénines** pour l'orge sont les protéines solubles en milieu alcalin. Elles comptent pour 30% des protéines totales **(Kunze, 2014**). La présence des hordéines de petite taille permet à l'orge de se malter et d'absorber l'eau plus rapidement **(Jones et Budde 2005)** et est surtout retrouvée dans la couche à aleurone.

4- Enfin, **les prolamines**, ou hordéines pour l'orge sont les protéines solubles dans l'alcool. Elles comptent pour 35 à 50% des protéines totales **(Kunze, 2014).** Ce sont les principales protéines de stockage de l'orge qui sont fortement dégradées lors du maltage. Certaines études plus récentes montrent que les protéines impliquées dans les complexes polyphénol-protéine, responsables du trouble colloïdal dans la stabilisation de la bière. Aujourd'hui la brasserie a besoin d'une meilleure connaissance des protéines impliquées dans le trouble et de leur Mécanisme d'action

afin d'optimiser l'utilisation du gel de silice et de proposer d'autres alternatives de stabilisation de la bière. (**Aron et al., 2010)**.

- ***Composition d'acides aminés dans une fraction protéique***

La composition en acides aminés de blé, l'orge et le seigle sont caractérisés par l'abondance en acide glutamique et en proline, caractéristiques majeures des prolamines tandis que la composition en acides aminés du riz et de l'avoine se distingue des autres céréales en raison de la prédominance des globulines **(Saulnier, 2012). Le tableau 11** résume la composition en acides aminés. Les gluténines ont une teneur en résidus lysine, glycine, alanine, serine et tyrosine fortement supérieures à celle des gliadines **(Linden et al., 1994)**. Les globulines témoignent la présence des lipides et des acides nucléiques. Les protéines cytoplasmiques sont plus riches en lysine et en tryptophanes que les protéines de réserve, ces dernières en particulier les gliadines sont les mieux pourvues en acides glutamiques ainsi par leur richesse en proline. **La figure 9** représente la structure d'une macromolécule protéique constituée par une chaine d'acides aminés **(Arvalis, 2014).**

Tableau 10 : les différences composition des protéines entre les différentes céréales **(Godon Et Willm, 1998)**.

Céréales	**Protéines (% MS)**	**Albumines %**	**Globulines %**	**Prolamines %**	**Glutélines, %**
Avoine	8-20	5-10 (avenaline)	50-60	10-15	5-10 (avenine)
Blé	10-15	5-10	5-10	40-50 (gliadine)	30-40 (gluténine)
Mais	7-13	2-10	10-20	50-55 (zeine)	30-45
Orge	**10-16**	**3-4 (leucosine)**	**10-20 (édestine)**	**35-45 (hordéine)**	**35-45**
Seigle	10-11	20-30 (leucosine)	5-10 (édestine)	20-30 (sécaline)	30-40
Seigle	10-11	20-30 (leucosine)	5-10 (édestine)	20-30 (sécaline)	30-40
Triticale	12-13	20-30	5-10	20-30	30-40
Sorgho	9-13	/	/	60-70 (kaffirine)	30-40
Riz	8-10	2-5	2-8	1-5	85-90 (oryzénine)

Tabeau11 : Teneur en acides aminés essentiels en mg/100 g de grains des principales céréales **(Cordain, 1999)**

Espèces mg/100g	Blé	Maïs	Riz	Orge	Seigle	Avoine
Tryptophane	160 (64%)	67 (27%)	101 (40%)	**208 (83%)**	154 (62%)	234 (94%)
Thréonine	366 (81%)	354 (79%)	291(65%)	**424 (94%)**	532(118%)	575 (128%)
Isoleucine	458 (71%)	337 (52%)	336 (52%)	**456 (70%)**	550(85%)	694 (107%)
Leucine	854 (90%)	1155(122%)	657 (69%)	**848 (89%)**	980(103%)	1284(135%)
Lysine	335 (42%)	265(33%)	303 (38%)	**465 (58%)**	605 (76%)	701(88%)
Méthionine	201 (47%)	198 (46%)	179 (42%)	**240 (56%)**	248 (58%)	312 (73%)
Cystine	322 (76%)	170 (40%)	96 (23%)	**276 (65%)**	329 (77%)	408 (96%)
Phénylaline	593(125%)	463 (97%)	410 (86%)	**700(147%)**	673(142%)	894 (188%)
Tyrosine	387(81%)	383 (81%)	298 (63%)	**358 (75%)**	339 (71%)	573 (121%)
Valine	556 (85%)	477 (73%)	466 (72%)	**612 (94%)**	747(115%)	937 (144%)
Histidine	285 (52%)	287 (52%)	202 (37%)	**281 (51%)**	367 (67%)	405 (74%)

I.5.1.2 Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires, sont produisent par les plantes qui n'exercent aucune fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétale (croissance, développement, reproduction), mais ils ont un rôle très variés, ils peuvent servir de défense (sécrétion amères ou toxique pour les prédateurs), ou le contraire attirant certaines espèces ayant un rôle bénéfique (pollinisateurs) **(Daayf et Vincenzo, 2008).** D'après **(Merghem, 2009)** ils permettant à la communication entre les plantes par des messages d'alerte .la quantité de métabolites secondaires observée est la résultante de nombreux mécanismes métaboliques et physiologiques: dégradation transport, biosynthèse, bioconversion et la capacité d'accumulation (réponse à la pression de l'environnement).

I.5.1.2.1 Les composés phénoliques

- **Généralité**

Des métabolites secondaires des plantes retrouvés principalement dans les enveloppes en ce qui concerne l'orge. La quantité dépend donc de l'épaisseur des enveloppes qui varie fortement entre les orges de printemps et d'hiver. C'est là qu'intervient la controverse car certains composés phénoliques sont quant à eux pro-oxydants s'ils subissent une réaction réduction catalysée par du fer ou du cuivre **(Galati et al., 2014).** Ces composés sont également connus en tant qu'antioxydants dont on sait depuis longtemps qu'ils ont une fonction protectrice contre les dommages oxydatifs **(Liu, 2007).** Parmi les antioxydants végétaux, les polyphénols apparaissent parmi les plus efficaces quant à leurs effets protecteurs dans l'organisme **(Gee et Johnson, 2001)**. Ce sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide.

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes et les tannins **(Boizot et Charpentier, 2006**), sont généralement plus abondant dans les grains présentant des colorations notamment chez les riz, maïs, millets et sorghos, mais aussi les blés et orges **(Zilic et al., 2012 ; Shao et al., 2014)**.

Les polyphénols naturels forment un ensemble de molécules comportant au moins un groupe phénolique dans leur structure et sont en général de haut poids moléculaire. La capacité d'une espèce végétale à résister à l'attaque des insectes et des microorganismes est souvent corrélée avec la teneur en composés phénoliques. Ces composés montrent des activités anti-carcinogènes, anti-inflammatoires, antiathérogènes, analgésiques, antithrombotiques, antibactériens, antiviraux, anticancéreux, anti-allergènes, vasodilatateurs et antioxydants **(Benhamama, 2015).**

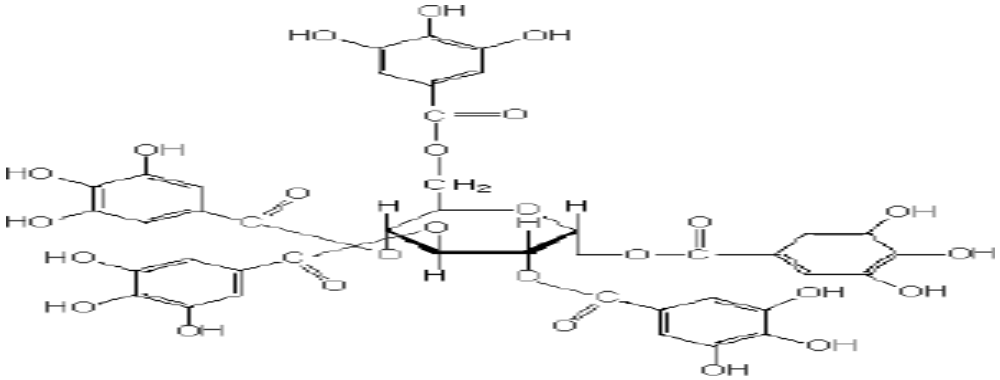


Figure9: la structure commune des polyphénoles **(Vattem et al., 2005).**

- ***Classification des composés phénoliques***

Les composés phénoliques interviennent dans un grand nombre de processus physiologiques chez la plante et dans les interactions avec leur environnement, leur structure leur conférant des fonctions très spécifiques **(Desjardins, 2008**), les phénoliques sont des éléments importants dans la qualité sensorielle (couleur et astringence) et nutritionnelle des végétaux, et possèdent une activité antioxydante (contre le vieillissement cellulaire).

Parmi ces divers composés, les flavonols (appartenant à la famille des flavonoïdes) seraient ceux qui se trouvent en plus grande proportion dans les grains d'orge, pouvant atteindre une quantité totale d'environ 255 µg/g selon la variété du grain (**Goupy et al., 1999), t**andis les lignanes de type di-phénolique couplés en C3-C6, tels que les molécules secoisolariciresinol et le matairesinol ont été localisés dans les parties périphériques des grains **(Liu, 2007 ; Hosseinian et Mazza, 2009).** En effet, un très grand nombre de données expérimentales plaide aujourd'hui en faveur de leur implication dans la prévention des maladies dégénératives telles que cancers, maladies cardio-vasculaires, ostéoporose ou maladies inflammatoires **(Bubonja-Sonje et al., 2011).**

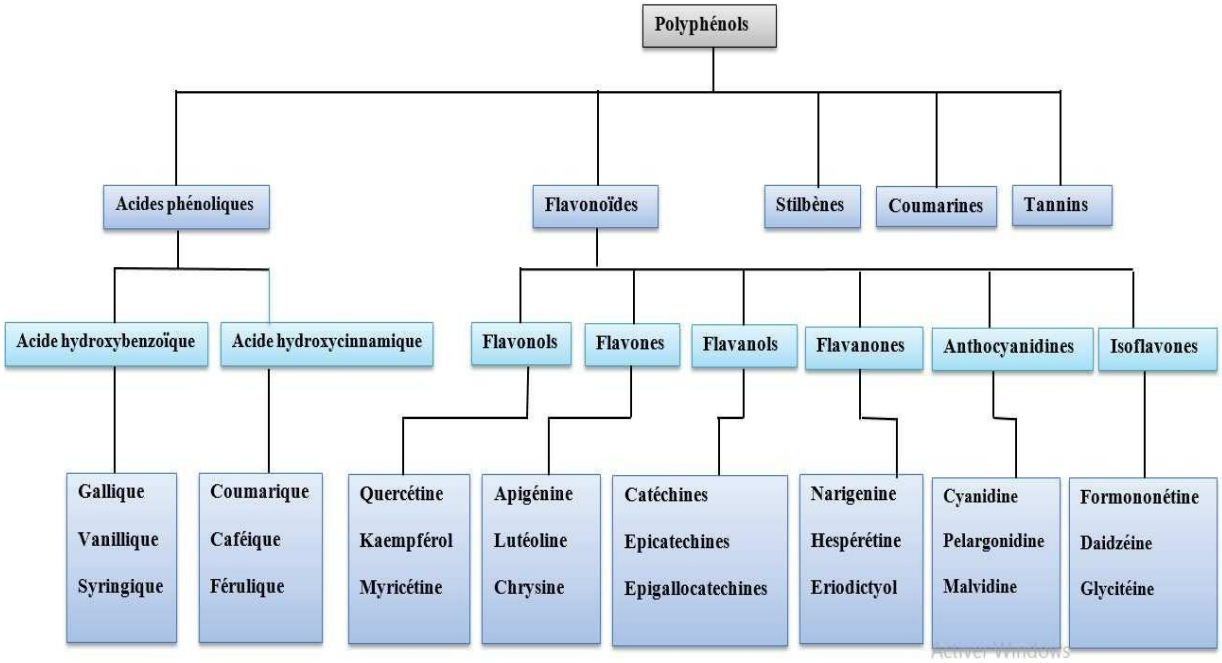


Figure 10 : *Classification des polyphénols* **(Kumar *et al.*, 2019)**

- ***Les phénols et les coumarines***

  - ***Acides phénoliques***

Les acides phénoliques sont principalement situés dans les couches externes du grain **(Dykes et al., 2007)**. Ils peuvent se trouver sous forme libre, estérifiée ou liée et sont distribués dans les différentes couches du grain **(Carvalho et al., 2015).**

Des études antérieures ont rapporté que des extraits d'orge enrichis en acides phénoliques tels que les acides féruliques et p-coumariques, ont montré qu'ils possédaient des propriétés anti-inflammatoire et anticholestérolémiques **(Hole, et al., 2012).** Deux classes principales d'acide phénolique. Les dérivés de l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique, ces dérivés sont rares dans l'alimentation humaine.

Tableau 12 : Structure des acides phénoliques

Composés	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**
AC. Benzoïque	H	H	H	H
AC. Salicylique	OH	H	H	H
AC. Hydroxy-benzoïque	H	H	OH	H
AC. Gallique	H	OH	OH	OH
Ac.protocatéchuique	H	OH	OH	H
Composés	R1	R2	R3	R4
Ac.cinnamique	H	H	H	H
Ac.o-coumarique	OH	H	H	H
Ac.m-coumarique	H	OH	H	H
Ac.p-coumarique	H	H	OH	H
Ac.cafeique	H	OH	OH	H

- ***Les flavonoïdes***

Ce sont des pigments qui sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles, représentent une classe de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal. Elles sont trouvées dissoutes dans la vacuole a l'état d'hétérosides ou comme constituants de plastes particuliers, les chromoplastes **(Guigniard, 1996).**

Par définition, les flavonoïdes sont des composés qui ont en commun la structure du diphénylpropane (C6-C3-C6).(**Mamyrbékova-Békro et al., 2008),** les trois carbones servant de jonction entre les deux noyaux benzéniques notés A et B forment généralement un hétérocycle oxygéné C **((Rijke et al., 2006).**

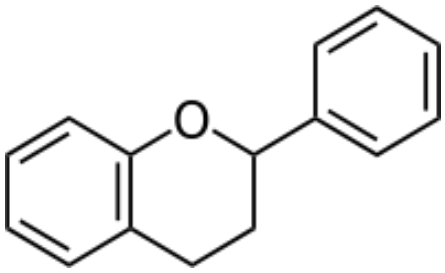


Figure 11 : structure de la Flavonoïde**).(Mamyrbékova-Békro et al 2008)**

Les flavonoïdes sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs : racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graine et bois. On distingue différentes structures des flavonoïdes parmi lesquels se trouvent : les flavines, les flavonols, les flavanones, les flavanonols, les flavines, les flavan - 3-oles, les flavylium, les chalcones, les aurones, les isoflavones, les isoflavonols, les isoflavanes, les ptérocarpanes, les coumaronochromones, les 3-arylcoumarines, les coumestanes, les roténoïdes.

En ce qui concerne les flavonoïdes, les flavan-3-ols tels que la (+)-catéchise et la (-)-épicatéchine et les proanthocyanidines dimères (prodelphinidine B3 et procyanidine B3) et trimères (procyanidine C2), (procyanidine C2) sont les composés phénoliques les plus concentrés dans l'orge qui se trouvent principalement sous leur forme libre (**Gómez-Caravaca et al ., 2016).**

I.5.1.3 Détermination de l'activité antioxydante

Des recherches scientifiques dans diverses spécialités ont été déployées pour extraction, quantification et identification de ces composés à partir de plusieurs substances naturelles, des produits agroalimentaires et les plantes médicinales.

L'activité antioxydante présente une grande diversité à ça capacité à résister à l'oxydation. Pour mesurer l'activité antioxydante d'une molécule, en peut utiliser plusieurs tests : les plus connus sont l'acide ascorbique (Vitamine C), le B-carotène (Provitamine A), tocophérol (Vitamine E) ainsi que les composés phénoliques.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer in vitro et in vivo, on trouve le test radical libre DPPH• (diphenyl- picrylhydrazyle) **(Sharma et al., 2009)**, les peroxydes ROO• par les méthodes ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) et TRAP (Total Radical- Trapping Antioxidant Parameter) **(Ricardo et al., 1991)**, les ions ferriques par la méthode FRAP (Ferric ion ReducingAntioxidantParameter) **(Benzie and Strain, 1996)**

Il n'ya pas une méthode universelle pour mesurer l'activité antioxydante quantitativement, ou la complexité des processus d'oxydation et la nature diversifiée des antioxydants. Avec les composants à la fois hydrophiles et hydrophobes, il faut combiner les réponses des tests différents et complémentaires pour obtenir la capacité antioxydante de chaque échantillon à tester **(Tabart et al 2009, Hua et al 2008).**

I.5.1.3.1 Méthode DPPH

Il s'agit d'un test largement utilisé au niveau de l'évolution des extraits hydrophytes car il est simple et relativement reproductible. Le compose chimique 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyle est un

Radical libre stable, le radical possède un électron libre sur un atome du pont d'azote, le déplacement de ce électron ou le DPPH reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire. Cette délocalisation se traduit par la coloration bleu-violet caractéristique du réactif. La mesure de l'efficacité d'un antioxydant se fait par diminution de la coloration bleue, mesurable par spectrophométrie à 515-518 nm **(figure 13)**

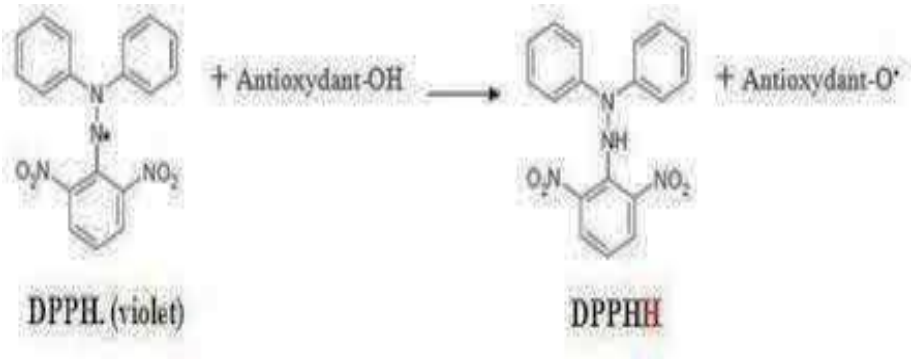


Figure 12 : Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant **(Grupiv's Blog. (2016)**

Pour le test DPPH est utilisé généralement pour des composés qui contient des groupements donneurs d'hydrogène, comme R_2-NH R-OH et R-SH ; lorsque le DPPH est en relation avec un antioxydant, un atome d'hydrogène vient se fixer sur le radical et donne une perte de couleur **(Alger ,1989)**

La capacité anti radicalaire ne peut être mesurée directement, mais par le contrôle de l'effet de la réactivité. Plusieurs facteurs influent cette réaction, en particulier les conditions de la réaction (rapport antioxydant, temps, PH, type de solvant) **(SALAH et al .,1995)**. D'après **Scherer et al., (2009),** la détermination de la réduction relative du radical DPPH• a un temps de référence ou la détermination de la quantité d'antioxydant nécessaire pour réduire 50 % de DPPH• ; et d'autre part, le suivi de la cinétique de la réduction ou l'activité est défini par l'indice de la réduction de l'activité anti-radicalaire en pourcentage % RSA (Radical Scavenger Activity), ou l'absorbance du mélange réactionnel qui contient le radical libre et l'échantillon de l'antioxydant est reliée avec l'absorbance du mélange sans aucun antioxydant (solution témoin ou contrôle) a un temps t :

[% RSA= (Abs contrôle – Abs témoin)/ Abs contrôle x 100%]

Les résultats sont souvent reportés par rapport à un antioxydant de référence, comme l'acide ascorbique (vitamine C), les antioxydants synthétiques BHT (butyl-hydroxy-toluene) ou le TroloxR

(acide-6-hydroxy-2, 5, 7,8-tetramethylchroman-2-carboxylique), dont la structure moléculaire cyclique est similaire à celle de la vitamine E **(Molyneux, 2004)**.

D'après **Scherer et al., (2009)**, pour mieux caractériser le pouvoir anti-radicalaire, dans la deuxième approche des paramètres cinétiques sont introduits, tel que la concentration inhibitrice (IC50) est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire et neutraliser 50% du radical DPPH **(Bouhaddouda, 2016)**. Les IC50 sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés ; pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des fractions testées les valeurs d'IC50 ont été reportées en tant que moyenne plus ou moins l'erreur standard (SD). Une faible valeur d'IC50 indique une forte capacité de l'extrait à agir comme piégeur du DPPH **(Bouhaddouda, 2016)**.

I.5.1.3.2 Reduction du Fer: FRAP, Ferric Reducing Antioxydant Power

La méthode de FRAP mesure la capacité des antioxydants à ramener la réduction d'un complexe ferrique de la tripyridyl-s-triazine 2.4.6 [Fe (III) - (TPTZ) 2] intensément au complexe ferreux coloré par le bleu [Fe (II) - (TPTZ) 2]2+ dans un milieu acide **(Benzie et Strain, 1999).**

D'après **Tsao et al., (2003)**, les valeurs sont calculées en mesurant l'augmentation de l'absorbance à 593 nm et en la rapportant à une solution étalon d'ions ferreux ou à une solution étalon d'antioxydants, une gamme étalon est d'abord réalisée avec une solution aqueuse de sulfate de fer heptahydrate (FeSO4-7H2O) **(Tsao et al., 2003) (figure 14)**

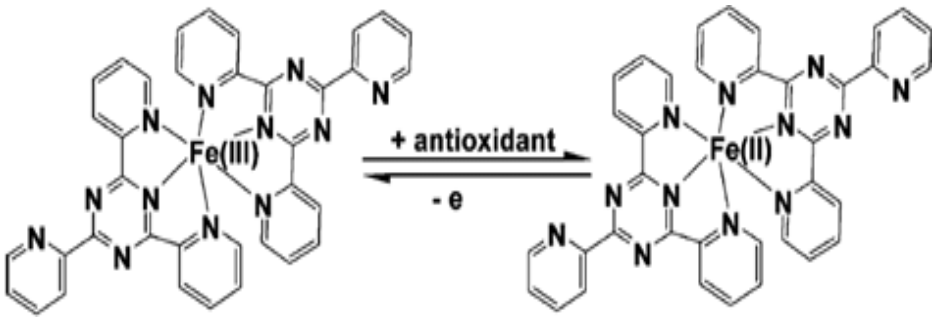


Figure 13: Réaction de test FRAP (Ferric reducing antioxidant power) **(Prior et al., 2005).**

I.5.1.3.3 Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont de puissants piégeurs de radicaux que l'on trouve couramment dans les plantes, ses fonctions de protection dans les systèmes alimentaires et biologiques comprennent : Espèces réactives telles que l'oxygène singulet 102 radical peroxy ROO° et alkyle R° **(Gardès-Albert et al., 2003)**. Cependant, le leader caroténoïde est le bêta-carotène, un précurseur de la

vitamine A. légumes verts, épinards, carottes, salades, melons et autres fruits jaunes **(Ahmet, 2013)**

I.5.1.3.4 Mécanisme dégénération des radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) qui possèdent un électron célibataire (ou électron non apparié) sur leur couche externe **(Asmus et Bonifacic, 2000).** Leur principal danger vient des dommages qu'ils peuvent provoquer lorsqu'ils réagissent avec des composants cellulaires importants tels que l'ADN ou la membrane cellulaire, avec risque de multiplication anormale des cellules, entraînant un dysfonctionnement ou une mort cellulaire, un cancer **(Tanguy et *al*., 2009).**

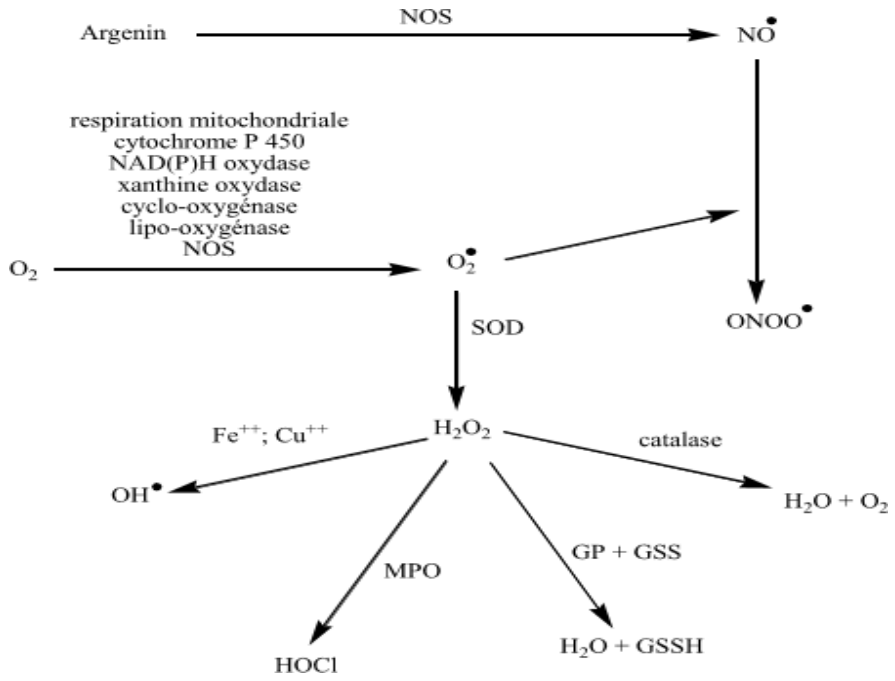


Figure 14 : principales voies de formation des radicaux libres **(Boubekri., 2014).**

Une réaction en chaîne débute lorsqu'ils attaquent la molécule radicaux libres table la plus proche en lui «volant» son électron, la transformant elle-même en radicale libre **(Tanguy et *al*., 2009)**, l'augmentation de la production des radicaux libres entrainant le stress oxydatif

I.5.2 Effet de stress hydrique sur l'accumulation de proline

Chez les céréales, la disponibilité en éléments minéraux du sol du génotype et de l'environnement joue un rôle important sur le rendement en grain **(Nemmar,1983)** ,

d'après **Belkacem et kellou, (2002)** le déficit hydrique précoce au cours de la montaison peut réduire le nombre de grains par épi et le nombre d'épis , ainsi le poids moyen du grain peut 'être affecté par le déficit hydrique de la post-floraison qui ce dernier peut accélérer la sénescence foliaire et réduit la durée de remplissage.

Selon **Rejeb et bensalem, (1993)** parmi les céréales résistantes au déficit hydrique regroupe un ensemble de mécanismes d'adaptation, d'identification et d'analyse des différents mécanismes développés par la plante en relation avec la carence hydrique. Pour définir la résistance d'une plante a la sécheresse par la capacité de la plante soumise à une période de sècheresse durant au moins une période de son cycle de demeurer vivante et de pouvoir se reproduire **(Yochida, 1997).** Le stress hydrique, le froid, le stress thermique et la lumière contrôlent le métabolisme de la proline **(Harch et al., 2016, Soni et al., 2017).**

La proline est un acide aminé osmo protectant qui peut s'accumuler jusqu'à 100 fois dans les feuilles **(Maggio et al., 2002)**, lors de la disparition du stress, la proline accumulée doit être dégradée qui va être suivi le chemin inverse de la biosynthèse pour atteindre au glutamate, le phénomène de catabolisme fait intervenir la proline de hydrogénasse qui va oxyder la proline en P5C (pyrroline-5-carboxylase) **(Qamer et al., 2015)**.

L'accumulation de la proline durant un stress hydrique serait à la fois la résultante de la diminution de synthèse protéine, plusieurs travaux ont monté une corrélation positive ou négative entre l'accumulation de cet acide aminé dans les feuilles et la résistance à la sécheresse **(Zid et Grignon, 1991).** En effet la teneur en proline est importante en cas de déficit hydrique est en particulier chez les génotypes les plus résistants au stress hydrique. **(Kartashov et al., 2008),** ont prouvé que les plantes qui présentent une grande teneur en proline présentaient une bonne acclimatation aux conditions de stress hydrique par contre **(Momoyezi et al., 2009),** montrent le contraire pour les génotypes (soja et riz) qui présentent une accumulation moins de proline, sont les plus résistants au stress et qui ont une teneur élevée, plus sensible. Ces auteurs ont conclu qui peut provoquer une réduction de la croissance.

I.5.3 Matières minérales

Les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Parmi les matières minérales existent en plus grande quantité dans les enveloppes de l'orge, on trouve le Potassium (452 mg/100g), le Phosphore (264 mg/100g), le Magnésium (133 mg/100g), le Calcium (33 mg/100g) et

Spécialement le Sélénium (0,066mg/100g), ces minéraux des grains peuvent contribuer significativement à l'apport dans la ration alimentaire **(Saulnier, 2012).**

Le tableau13 représente la composition moyenne en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains d'orge complets (**Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010).**

Tableau 13 : Composition en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains d'orge complets et le blé (**Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010 ; Saulnier, 2012).**

Minéraux	**Valeurs estimées (Orge)**
Calcium, Ca	33
Fer, Fe	3,60
Magnésium, Mg	133
Phosphore, P	264
Potassium, K	452
Sodium, Na	12
Zinc, Zn	2,77
Cuivre, Cu	0,498
Manganèse, Mn	1,943
Sélénium, Se	0,066

I.5.4 Acide phytique et son rôle dans la plante

Acide phytique ou acide –inositol hexophosphorique de formule brute $C_6H_{18}O_{24}P_6$ et de PM660Da, c'est une molécule végétale responsable de stockage du phosphate dans les tissus des plantes **(Kumar et al., 2010)**, l'or de la maturation des graines de la plante et dans les graines dormantes il y'a la formation de l'acide phytique, sa synthèse est initiée dans les grains en développement **(coban et demirci, 2017)**.

L'acide phytique est principalement stocké dans les couches à l'aleurone ou le germe **(Kumar et sinha, 2018)** ou il est présent dans une large variété d'aliments végétaux en particulier dans les céréales et les légumineuses **(Tang et al., 2010a)**

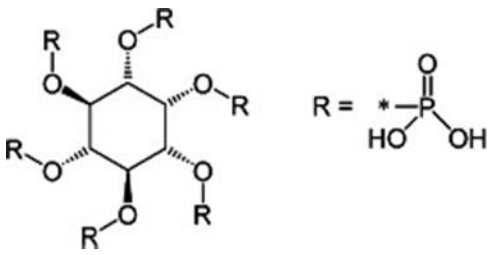


Figure 15 : Structure moléculaire de l'acide phytique **(Kumar et al., 2010)**

La dégradation de l'acide phytique dans l'estomac et l'intestin grêle pour l'activité des phytases alimentaires d'origine végétale ou microbienne **(Sandberg et Andlid, 2002)** aussi a montré que la phytase permet de diminuer la force de liaison entre le minéral et acide phytique et augmente la solubilité des complexes. D'après **(Coban et demerci, 2017)** lors de la fabrication des aliments de nutrition animale et humaine qui est favorisé par des phytases exogènes isolées, l'activité de l'enzyme phytases endogènes peut être développé par quelque transformation tel que le trempage, germination, fermentation et de maltage **(Castro-alba et al., 2019)**

Tableau14 : contenu en acide phytique des diverses céréales en mg/g de matière sèche **(Eléanor, 2020)**

Aliment	**Acide phytique (mg/g de poids sec)**	**Température d'activité de la phytase (°C)**	**pH d'activité de la phytase**	**Source**
Maïs	7,2 – 22,2	55	5	(Kumar et Sinha, 2018;Schlemmer et al., 2009)
Blé	3,9 – 13,5	45 – 50	5 – 7,2	(Kumar et Sinha, 2018;Schlemmer et al., 2009)
Avoine	4,2 – 11,6	38	5	(Kumar et Sinha, 2018; Schlemmer et al., 2009)
Millet	1,8 – 16,7	N/A	N/A	(Schlemmer et al. 2009)
Seigle	5,4 – 14,6	45	6	(Kumar et Sinha, 2018; Schlemmer et al., 2009)
Riz blanc (cuit)	1,2 – 3,7	N/A	N/A	(Greiner et Konietzny, 2006)
Riz complet(cuit)	12,7-21,6	N/A	N/A	(Greiner et Konietzny, 2006)
Sorgho	5,9-11,8	N/A	N/A	(Greiner et Konietzny, 2006)
Orge	**3,8-11,6**	**N/A**	**N/A**	**(Schlemmer et al. 2009)**
Quinoa	2,1-9,7	30	6,4-6,5	(Lazarte et al. 2015;CastroAlba et al. 2019)

I.5.5 Fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont considérées comme aliment fonctionnel qui maintient la santé digestive et protège contre le cancer de colon et il figure comme composant principal dans la thérapie nutritionnelle **(Marlett et al., 2002).** D'après **Jones et al., (2006)**, les fibres alimentaires sont considérées comme un aliment dans le régime sain, et sont présumées pour avoir un effet physiologique

Les fibres alimentaires se trouvent sous deux formes solubles et insolubles, mais il se ressemble par les effets nutritionnels bénéfiques et les mêmes fonctions physiologiques d'après **Rodriguez et al., (2006)** ont montré que les fibres insolubles améliorent l'effet laxatif et favorisent le mouvement du matériel par le système digestif ,les fibres solubles incluent oligosaccharides, les pectines les gommes et la beta glucane, et qui peuvent aider a baissé le cholestérol du sang et stabilise le taux du glucose dans le sang. Les fibres insolubles regroupent la cellulose, la lignine et l'Hémicellulose

Le Dietary Reference Intake (DRI) classe les fibres alimentaires en 3catégories :

- Les fibres alimentaires (Dietary Fiber) : glucides non digestibles et lignine qui sont intersèques et intacts dans les plantes
- Les fibres fonctionnelles (Finctional Fiber) : glucides isolés, non digestibles qui ont des effets physiologiques bénéfiques chez l'homme
- Les fibres totales (Total Fiber) : sommes des fibres alimentaires et des fibres fonctionnelles **(Trumbo et al., 2002)**

I.5.6 Les vitamines :

Le péricarpe, le germe et la couche d'aleurone sont riches en vitamines donc ces produits céréaliers raffinés perdent certains de ces nutriments. Les céréales ne contiennent pas de vitamine C ni de vitamine B_{12}, et de vitamine A **(Courdain, 1999)**.

Tableau 15 : Composition des vitamines existantes dans 100g de grains d'orge complets **(Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010).**

Vitamines	Unités	Valeurs estimées
Béta-caroténe (Provitamine A)	µg	13
Folacine (Vitamine B9)	µg	19
Niacine (Vitamine B3)	Mg	4,604
Acide pantothénique (Vitamine B5)	Mg	0,282
Rivoflavine (VitamineB2)	Mg	0,285
Thiamine (Vitamine B1)	Mg	0,646
Vitamine B6	Mg	0,318
Vitamine K	µg	2 ,2
Tocophénol, alpha	Mg	0,57

Cependant, les céréales sont une source importante de la plupart des vitamines du groupe B (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_9**)**, en particulier la thiamine, riboflavine et niacine , parmi ces divers composés, la plus grande proportion (environ 80 %) est constituée de Tocotriénols , des antioxydants qui pourraient être plus puissants que les tocophérols, une autre forme de vitamine E **(Panfili et al., 2003)**. Le **(tableau 15)** représente la composition en mg des vitamines existant dans 100 gr de grains d'orge complets.

I.5.7 Les enzymes

Les enzymes sont des substances complexes (protéines) inclus dans l'albumen, présentent en petite quantité dans les grains d'orges qui se localisent dans le germe et la couche à aleurone. Ils sont responsables l'hydrolyse des différentes matières (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés). Ces enzymes vont entrainer des changements métaboliques importants, au sein de l'endosperme notamment.

I.5.7.1 Les enzymes hydrolysent l'amidon

On y distingue dans l'orge quatre ensembles : α-amylase, β -amylase, la dextrine limite et l'α-glucosidase.

- **α- Amylase et β- amylase :** ce sont les deux enzymes qui contrôlent la fermentation, la présence de la α amylase étant généralement constante et suffisante seule l'action de l'amylase à besoin d'être contrôlé soigneusement **(Pierre Feillet, 2000).**
- La limite dextrinase permet d'hydrolyser les liaisons α-(1-6) de l'amylopectine et atteint son maximum au 5e jour de germination **(Bamforth, 2009)**

I.5.7.2 Les enzymes hydrolysent les protéines

Sa composition en acides aminés libres, l'endopeptidase qui dégrade les protéines en peptides et polypeptides, les exoprotéases sont les carboxypeptidases et les aminopeptidases. Les aminopeptidases jouent cependant un rôle mineur, car sont actives à un pH très élevé. Les carboxylpeptidases quant à elles relâchent des acides aminés libres en clivant des liaisons peptidiques C terminal ou N terminal en fin de chaîne. **(Briggs et al., 1981).**

I.5.7.3 Les enzymes hydrolysent les lipides

Les lipides de l'orge sont dégradés lors du maltage par la lipase en acides gras libres, qui sont localisées dans les couches extérieures des grains non germés. D'autres enzymes telles que la pentosonase, l'hémicellulase et l'α-glucanase qui dégradent l'α-glucane dans la paroi cellulaire de l'endosperme peuvent être mentionnées. Un polyphénol oxydase qui catalyse l'oxydation des polyphénols et se concentre dans les couches périphériques des grains.

I.6 La chromatographie liquide à Haute Performance (CLHP)

La chromatographie liquide à Haute Performance (CLHP) est, de très loin, la technique la plus populaire, et la plus performante pour l'analyse des composés phénoliques que ce soit à des fins qualitatives ou quantitatives **(Macheix et al., 2006)**. Depuis son introduction en 1971, la Cplc est utilisée pour la séparation de toutes les classes de composés phénoliques et des centaines d'applications ont été publiées. L'amélioration de l'instrumentation, les matériaux d'emballage, et la technologie des colonnes sont mises en place tout le temps, ce qui rend la technique de plus en plus attrayante **(Reich et al., 2006).**

- **Principe**

La méthode de séparation utilisée fait appel aux mêmes éléments de base que ceux employés pour la chromatographie classique sur colonne, soit un ou plusieurs solvants et une colonne remplie avec une phase stationnaire, mais avec un appareillage plus sophistiqué. La grande différence par rapport à la chromatographie classique réside dans la durée d'élution.

Cette vitesse est obtenue par l'application d'une pression élevée grâce à une pompe qui maintient constant le débit de l'éluant, elle se distingue également de la chromatographie classique par l'utilisation d'un détecteur dont le message est enregistré. **(Annexe N°1)** présente le système d'appareillage de CLHP essentiel.

Les séparations sont basées sur les polarités respectives des phases stationnaires utilisées, du solvant d'élution et des composés phénoliques concernés.

Le degré initial de purification de l'extrait végétal, les conditions chromatographiques elles-mêmes et le type de détection utilisé en sortie de la colonne orientent fréquemment une analyse CLHP vers une classe de composés phénoliques (acides phénoliques, flavonols, anthocyanes, coumarines…). (**Striegel et al., 2009)**

- ✓ **Les instruments utilisés :**

- Chromatographie liquide : UltiMate 3000
- Pompe : DGP-3600RS
- Injecteur automatique : WPS-3000SD
- Four : TCC-3000SD
- Détecteur : DAD-3000RS
- Données sur le système chromatographique : Thermo Scientific TM Dionex TM ChromeleonTM7. SR1

- ✓ **Les conditions analytiques** :

- **Colonne** : Acclaim 120 C18, 3µm, 2.1x150mm P/N 059130
- **Éluant** : A : eau+ 0.1% d'acide acétique (v/v)
  B : Acétonitrile
- **Débit** : 0.35mL/min
- **Pression du Système** : <215 bar
- **Détection** : UV
- **Longueurs d'onde** : 280, 326 et 340 nm
- **Température** : 30°c
- **Le volume d'injection** : 0.5Ml

- **Mode gradient** : A : eau +0,1% acide acétique (v/v)

B : Acétonitril

Le Tableau 16 présente le système du solvant (type gradient) qui a été suivi :

Tableau 16 : Le système du solvant (mode gradient) appliqué pour les analyses HPLC

Temps (min)	**A (eau+0.1% acide acétique (v/v) (%)**	**B (Acétonitril) (%)**
0,0	95	5
0,1	95	5
10,2	78	22
17,4	45	55
19,2	10	90
19,3	95	5
24,0	95	5

- ✓ L'enregistreur :

Le logiciel Chromeleon 7, après programmation des paramètres d'acquisition, d'intégration et de calculs, gère l'acquisition de chromatogrammes, détecte et intègre les pics, effectue des calculs et sort pour chaque chromatogramme un rapport d'analyse comprenant le numéro et le temps de rétention (Tr)

I.7 Microscopie électronique à balayage(MEB)

L'étude par la Microscopie électronique à Balayage (MEB) ou SEM (Scanning Électron Microscope) présente un avantage dans l'étude des matériaux utilisant une sonde électronique. La surface ou souvent les couches subsurfaciques sont caractérisées en MEB, des images reflètent l'aspect de la surface explorée.

Le principe de fonctionnement du MEB est présenté par **(Annexe N°2)** qui est basé sur l'irradiation du matériau sous vide (10-7 Torr) par un faisceau électronique très fin et très énergétique de l'ordre de 30 à 40 ke V délivrés par un canon à électrons **(Athene, 1998).** Ce faisceau balaye, point par point, la surface du matériau.

Les électrons primaires sont focalisés et dirigés vers la surface. L'interaction des électrons primaires avec la surface produit diverses émissions (des électrons secondaires vrais et Auger).

Ils peuvent être aussi des électrons inélastiques et des électrons élastiques et même des photons. L'intensité de chaque signal relatif à ces émissions et enregistré de façon synchrone avec le balayage du faisceau sur l'échantillon.

Un système électronique permet de convertir ces signaux en image **(Jeremy, 1987, Hortolà, 2010).** L'évolution de l'image lors d'une croissance peut nous renseigner par exemple: sur la cristallisation ou non, sur la taille des grains, et parfois on peut remontrer à la mesure de l'épaisseur de la couche formée.

Un Microscope électronique à Balayage JSM 5800 présentant les caractéristiques suivantes :

- Colonne **High Vacuum** (pour les matériaux conducteurs) et colonne **Low Vacuum** (pour les matériaux isolants)
- Détecteur d'électrons secondaires
- Détecteur d'électrons rétrodiffusés
- Détecteur de rayons X pour **analysent EDX** (détermination de la composition chimique)

PARTIE I

ETUDE EXPERIMENTALE

I. Matériels et méthodes

I.1 Matériels

I.1.1. Situation géographique de la zone d'étude

- ***La wilaya de Sidi bel abbés***

La willaya de Sidi Bel Abbés située au Nord-Ouest du pays, limitée au Nord-Ouest par la willaya d'Ain temouchent, au Nord par la willaya d'Oran, à l'ouest par la willaya de Tlemcen, au Sud par les willayas de Naama et El Bayed, et à l'Est par les willayas de mascara et Saida **(figure16)**. La wilaya de Sidi Bel Abbès comprend 52 communes regroupées en 15 Daïras. Elle s'étend sur une superficie de 9150,63 km2.

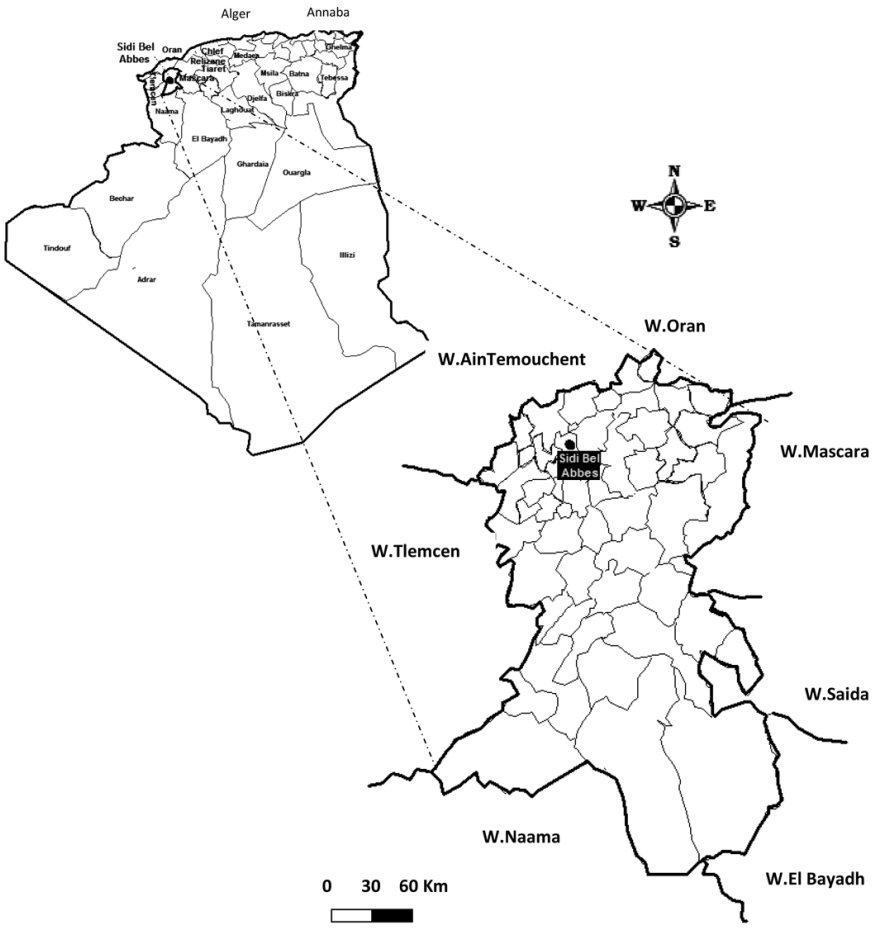


Figure 16 : Situation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbés.

- ***Description géographique***

Le relief de Sidi Bel Abbés est l'une des quatre grandes zones géographiques qui subdivisent la wilaya de Sidi Bel Abbés avec : les zones de montagnes, l'atlas tubulaire, la zone steppique (figure 17). **(A.N.A.T, 2008).**

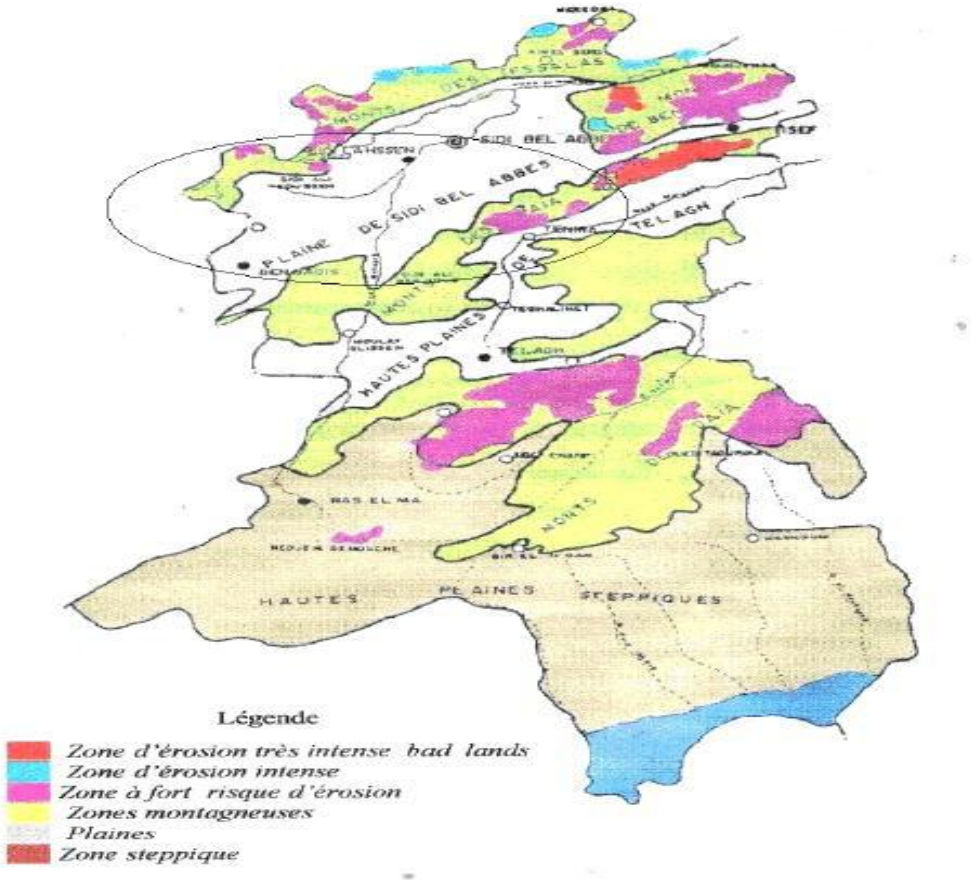


Figure 17: Les grands ensembles naturels de la wilaya de Sidi Bel Abbés. Source : **(Megherbi, 2003)**

I.1.2 Matériel biologique et méthodes d'étude

I.1.2.1 Présentation du matériel biologique

Le matériel végétal dans cette expérimentation est constitué des grains d'orge (*Hordeum Vulgare L*). La variété (Saida 183) a été reccueillir en période de remplissage des grains en plein développement a été choisie en raison de bonne productivité.

Les variétés Saïda 183, Rihane 03 et Tichedrette sont des variétés largement cultivées en Algérie, selon **Boufenar et Zaghouan,(2006)**, certaines variétés existent, mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Le choix de la variété Saida 183 est utilisé, dans ce travail expérimental dépend de ses

Caractéristiques agronomiques et de la zone de culture. Les principales variétés cultivées en Algérie sont regroupées dans **le tableau 17**

Tableau 17: Variétés d'orge (Saida 183) cultivées en Algérie **(Boufenar et Zaghouane, 2006).**

Variétés	**Caractéristiques**
Saida 183	**Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.**

Notre étude a été réalisée au niveau de l'Institut National des Grandes Cultures (ITGC) de Sidi Bel Abbés, après avoir semé les graines d'orge (Saida 183) le mois de novembre (07/11/2019), et après le développement des graines, les prélèvements des échantillons (les épis) ont été pris aux différents stades de croissance plus particulièrement pendant le remplissage des grains. Notre travail expérimental a été réalisé au sein du laboratoire de recherche de Biotoxicologie ainsi que le laboratoire de biochimie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Djilali Liabes de Sidi bel Abbés)



Figure 18 : les champs de notre expérience (semer des graines d'orge, variété Saida 183) (ITGC de sidi bel abbés)

I.1.2.2 les caractéristiques morphologiques de la variété

La variété utilisée est (Saida183), c'est une variété issue d'une sélection de la population locale d'orge. C'est une variété très cultivée à l'ouest comme à l'est du pays**. Le tableau 18**, présente les caractéristiques morphologiques de la variété (Saida 183)

Tableau 18 : les caractéristiques agronomiques morphologiques culturales et qualitatives de la variété expérimentée (**Guide des principales variétés de Céréales a paille en Algérie 2006)**

Saïda 183	Caractéristiques
Origine	Algérie (locale)
Caractéristique morphologique • Caractéristique de l'épi • Couleur de l'épi Hauteur de la plante a la maturité	 Très lâche Blanc 90cm
Caractéristique culturale • Alternative • Cycle végétatif • Tallage • **Caractéristique culturale** Au froid A la verse A la sècheresse	 Automne Semi-précoce Moyen Résistante Sensible Résistante
Caractéristique qualitative • Poids de mille grains (PMG)	Élevé 14.4%
Pedigree	Sélection dans la population locale

I.1.2.3 Paramètres pédoclimatiques

La pluviométrie, la température, l'humidité, l'insolation, la vitesse de vent sont mesurées à un laps de temps journalier à l'aide d'une station météorologique installée à environ 200 m de la parcelle expérimentale durant la compagne agricole 2019-2020. En mesure la température moyenne quotidienne de l'air pour suivre le stade de développement, les grains ont été récolté entre (5 à 30) jours, depuis l'anthèse jusqu'à la maturité. Les prélèvements sont ensuite stockés à -10°C jusqu'à la dissection.

D'après Échelle selon **ZODOKS (1974) et FEEKES(1954)** ; nous avons attendu jusqu'aux stades principaux de l'Échelle BBCH des stades phrénologiques des céréales, ou les graines se développent et commence à se remplir jusqu'à la maturité (**WITZENBERGER et al., 1989) ,**

- Stade mi- laiteux : le contenu de la graine laiteux, les grains sont atteints les tailles finales, mais sont toujours vertes
- Stade pâteux mou : le contenu de la graine tendre, mais sec,
- Stade de maturité physiologique : le contenu de la graine dur,
- Stade de maturité : le caryopse est très dur, ne peut pas marquer à l'ongle où les graines se détachent et la plante meurt et s'affaisse et on aura la récolte de produit.



Figure19 : Représentation des photos de graines d'orge aux différents stades de développement **(S1, S2, S3, S4)**

- Le 20 Avril 2020: nous avons procédé à la première récolte (stade mi laiteux) [S1]
- Le 25 Avril 2020: (stade pâteux mou) [S2]
- Le 26 Mai 2020: (stade maturité physiologique) [S3]
- Le 18 Juin 2020: (stade sénescence, sur maturité) [S4]

I.1.3 Méthodes d'étude

I.1.3.1 Préparation des échantillons

Après la récolte, des épis de chaque stade de développement, depuis le remplissage des grains jusqu'à la maturation, c'est à dire (stade mi- laiteux, stade pâteux mou, stade de maturation physiologique et stade de maturation), les graines ont été prélevées et sélectionnés, mises dans des flacons pour l'analyse.

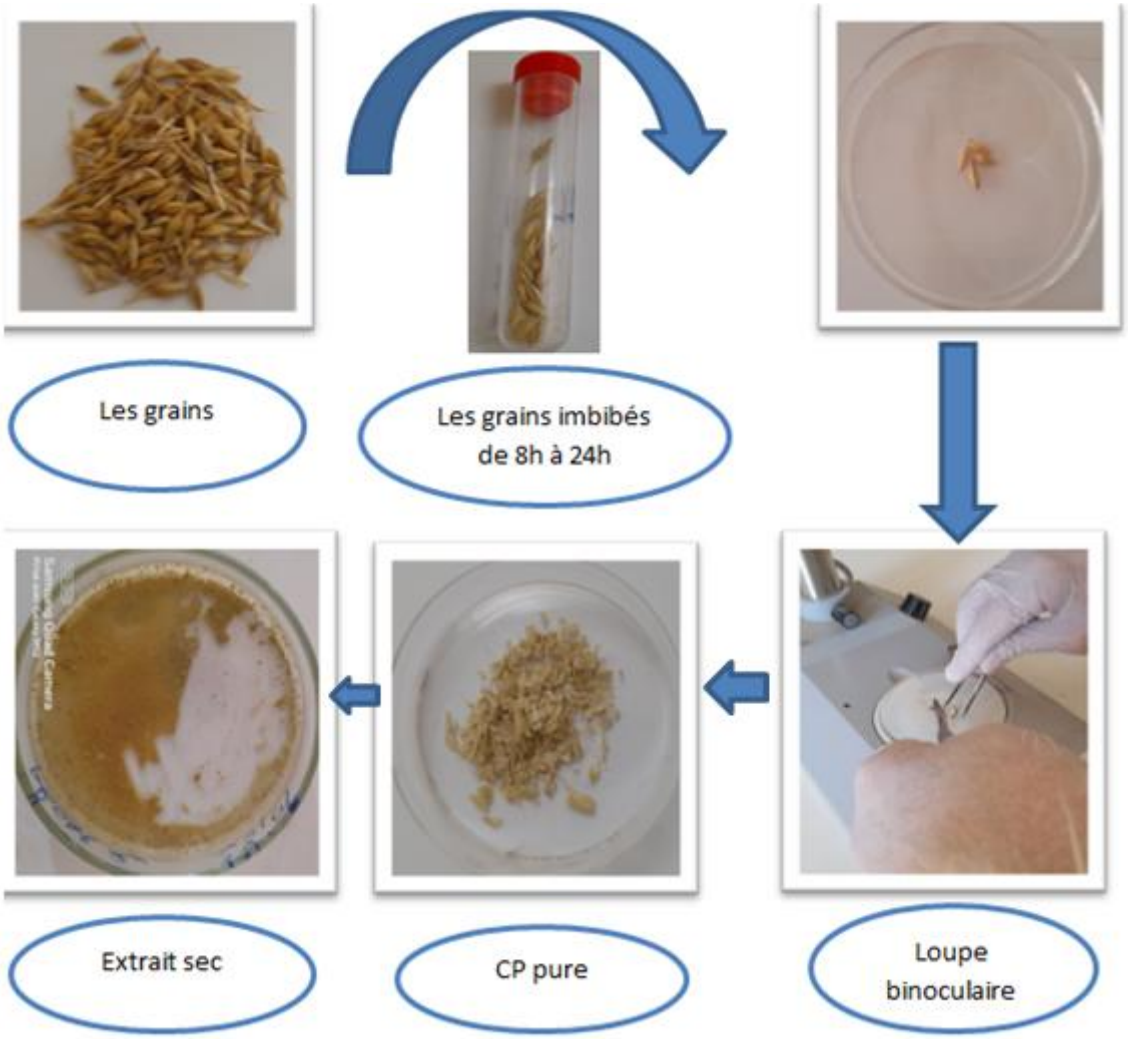


Figure 20 : les étapes de la dissection des couches périphériques des grains d'orge (Saida 183).

La dissection des grains est réalisée manuellement pour séparer les couches périphériques (CP) de l'albumen, sur 200 grains en fonction de chaque stade de remplissage, le trempage des grains est réalisé de 8h à 24h dans des tubes, cette étape est nécessaire pour les humecter et faciliter l'opération. La dissection a été effectuée sous la loupe binoculaire de marque allemande (ZEISS, West Germany) , d'abord, à l'aide de bistouri et des pinces, l'embryon est retiré et la partie brosse, puis la partie dorsale du grain a été incisée à l'aide d'un scalpel et le péricarpe a été enlevé à l'aide de pinces, sur la partie ventrale de la graine, le grain a été ouvert, on le trempant dans de l'eau distillée, et le contenu blanc a été gratté de façon à enlever l'endosperme amylacé. Les tissus ont été lavés plusieurs fois avec de l'eau distillée pour obtenir des couches externes pures et propres **(Meziani et al., 2012)**. Les couches périphériques obtenues de chaque stade ainsi le contenu blanc (Amidon) ont été stockés au congélateur à -10°C jusqu'à le jour de l'expérience.

I.1.3.2 Séchage et broyage

Les couches périphériques de grain d'orge (Saida 183) collecté ont été séchées dans un endroit aéré pendant 5 jours à l'ombre. Une partie des couches périphériques est utilisée pour l'observation microscopique (Microscope électronique à balayage) et la deuxième partie est broyée à l'aide d'un mortier en poudre très fine pour faciliter l'extraction, ou la poudre a été ensuite conservée dans des bocaux en verre hermétiquement fermés et stockés au réfrigérateur à (5°C) au moins deux semaines avant l'analyse.

Le séchage est une technique très utile pour prolonger la durée de vie des plantes ayant un contenu phénolique élevé et une puissante activité antioxydante **(Orphanides et al 2013)**

I.1.3.3 Produits chimiques utilisés

Méthanol, Ethanol, Folin-Ciocalteu (FCR), , Sodium nitrate ($NaNo_2$) à 5%, Trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 10%, NaOH, Ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$, tampon phosphate, Acide trichloracétique (TCA) à 10%, KCL, HCl, NaCl, Chlorure de fer $FeCl_3$ à 0,1%, Acide ascorbique, Acide gallique, DPPH (Diphénylepicryl-hydrazyle), B-Carotène , Chloroforme, Acide linoléique, Tween 40, Thiosulfate, 2,6 Dichlorphenol-Indephenol (DCPI), D'acide Métaphosphorique (HPO_3), Carbonate De Sodium (Na_2CO_3)

I.1.3.4 Appareillage

L'appareillage utilisé dans cette étude est mentionné dans **le tableau 19** ci-dessous

Tableau19: Appareillage utilisé.

Appareil	Référence
Balance de precision	Sartorius
Étude	Memmert
Agitateur magnétique	Spedsafebyhanna
Plaque chauffante	Herto paris 220volts
Rotavapeur	Heidolph
Bain-Marie thermostat	Memmert
Spectrophotométrie U.V visible	Optizen
Centrifugeuses (réfrigérée et non réfrigérer)	Rotafix 32A hettich.zentrifugen
Vortex	Heidolph
Photométrie de flame	PFP7 Flame Photometer (Jenway)
pH-mètre	Hanna
Four à mouff	Naber. Industrie onfenbau à température max 900. Origine :D-2804 lilienthal/bremen ,made in w.Germany
Microscope optique	-OPTIkO B-350
Microscope électronique a balayage	- *JSM 5800*

I.1.4 Méthodologie

I.1.4.1 Observation au microscope optique

Observation au microscope optique, consiste à observer l'échantillon biologique et réveiller un certain nombre de ces caractéristiques morphologiques. Les couches de grains d'orge (Saida 183) ont été préparées, colorées et imagées comme décrit dans le travail de **(Hemery et al., 2011)** avec quelque modification. L'échantillon doit passer par cinq étapes : fixation, inclusion, coupe, coloration et montage **(Annexe N°3).**

- **Matériel végétal**

Les grains de nos quatre stades de développement ont été coupés en deux, puis conservées dans l'éthanol à 70% à 4°C jusqu'à le jour de l'utilisation pour les coupes au microtome (**tableau 20)**

Tableau 20 : Produits chimiques utilisés

Ethanol à différente con (75%, 95%, 100%)	Formol	Formaldéhyde à 36%
Eau distillée	Acétone	Paraffine
Toluène ou xylène	Étuve	Microtome
Lame et lamelle	Porte-lame	Bain marie
Pinces métalliques	Burette	Becher
Bleu de toluidine	Chlorhydrique	Carbonate de lithium

- **Fixation**

La fixation est une étape essentielle en histologie : en utilise le formaldéhyde a 36,99 % pendant 8 h ou le liquide de fixation se repartis de manière homogène à l'intérieur de celui-ci pour permette une bonne préservation des structures et une bonne conservation des éléments.

- **Inclusion et déshydrations des échantillons**

Il est nécessaire la déshydratation, elle consiste à rigidifier l'échantillon avec un milieu d'inclusion de paraffine. On utilise 12 bains différents, conduira à l'eau de pénétrer dans les tissus par un constituant solide à température ambiante, après, on utilise le paraffine ou les échantillons sont placés dans les moules remplis de paraffine fondue à 55°C, qui vont être par suite placés à une température ambiante jusqu'à devient solide.

Le microtome est utilisé ou les blocs de paraffines vont être coupés suffisamment minces, d'une épaisseur de 4 à 5 mm pour permettre une observation en microscopie optique a transmission. Les rubans de coupes sont placés sur des lames de verres qui sont posés dans un bain-marie qui permet l'évaporation du liquide, les coupes sont séchées et dans une étuve à 37°C pendant 24 h, il est nécessaire de procéder à un déparaffinage par un bain de toluène pendant quelques minutes et à une réhydratation par une succession de bain en alcool de degré décroissant (éthanol 100, 95,70) pendant 5minute. Après dans un bain de l'eau distillée pendant 10 minutes

- **coloration à bleu de toluidine :** pour avoir une bonne coloration, on doit respecter les étapes suivantes :

1-Plonger les coupes dans un bain de bleu de toluidine pendant 5 mn

2-Rincer à l'eau distillée pendant 10 secondes

3-Tremper les coupes dans un bain chlorhydrique pendant 8 secondes

4-Trempage dans bain contient la solution de carbonate de lithium pendant 10 secondes

5-Rincer à l'eau distillée pendant 10 secondes

6-Ramper dans une solution d'alcool 95° pendant 1h, après alcool 100° pendant 2 minutes
7-Trempage dans du toluène ou xylène pendant 2mn
NB : Les lames ne doivent sortir du xylène que pour le montage.

- **Montage et observation par le microscope optique**

Afin de pouvoir conserver notre échantillon lors de manipulation et observation microscopique, dans le temps, on procède aux étapes suivantes :

- Couler 2 gouttes d'Eukitt (la colle) sur l'échantillon, qu'on immerge dans un bain de xylène, on incline par suite la lamelle déposée sur la lame. Mettre les lames dans l'étuve à 50°C pendant 20 minutes, puis fait sortir les lames de l'étuve, on dégage les bulles d'air par écrasement ; on numérote les lames qu'on classe par ordre croissant dans un plateau puis on procède à la lecture.
- L'observation est réalisée par un microscope optique de marque (Optika.B-350) lié par une caméra digitale.

I.1.4.2 Observation par le Microscope électronique à balayage des différentes couches périphériques (CP) du grain d'orge

Le microscope électronique à balayage (MEB) (*Scanning Electron Microscopy)* est un examen critique visant à évaluer la pureté des tissus prélevés et à valider la procédure de dissection. La dissection des grains d'orge se fait manuellement pour séparer l'albumen et les couches périphériques, ces dernières doivent passer par la métallisation avant l'observation par le microscope.

Dans cette étude, le microscope [(Joel (JSM-5800, scanning microscope)] équipé d'un spectrophotomètre a rayon X pour régler la mise en point de chaque grandissement de photo **(thornley et al., 1962**). Les couches ont été métallisées d'une fine couche d'or par évaporateur par pulvérisation cathodique qui est le plus courant et plus pratique, pour permettre un bon conducteur électrique, les couches périphériques de chaque stade de développement ont été déposées sur des supports de spécimen en aluminium ou, on utilise une laque d'argent pour coller l'échantillon sur le support dont il est conseillé de bien attendre le séchage de l'échantillon risque d'envoler à l'intérieur du microscope

Avant introduire l'échantillon, l'appareil doit être fonctionnel et les analyses ont été réalisées à l'aide d'un faisceau d'électrons sous vide a une pression de 5,0µm. on utilise un petit calcule pour déterminer la résolution instrumentale pour un grandissement donné, notre échantillon est de faible grandissement moins (X5000) ou une numérisation en 900x1200 pixel qui représente une bonne proportion image. Le choix de l'énergie primaire et déclencher dès que

le vide l'autorise. Mettre la tension sur le photomultiplicateur au balayage rapide, en utilisant le grandissement au minimum, la surveillance de montage l'intention de chauffage est nécessaire :

- le courant de chauffage du filament
- le courant d'émission du canon
- l'apparition d'une image sur l'écran

L'observation doit être faite en explorant la surface de l'échantillon en faisant la correction de mise au point et le grandissement augmente **(Faerber, 2004)**

I.1.4.3 Préparation des extraits des couches périphériques

L'extraction solide liquide est la procédure la plus couramment utilisée, l'extraction des composés phénoliques a été réalisée selon **Diouf et al., (2006)** avec quelques modifications. Dans notre cas, une quantité de 10g de poudre de couche périphérique (CP) de grain d'orge de chaque stade de développement a été mise dans un mélange hydro-alcoolique d'éthanol et l'eau distillée (80/20), méthanol et l'eau distillée (80/20), la macération consiste à mettre l'échantillon solide en contact avec le solvant d'extraction dans un bécher fermé avec une agitation pendant un certain temps. L'agitation dans le processus de macération favorise l'extraction en augmentant la diffusion et en réduisant la quantité de solvant.

Cette macération est répétée en 3 fois en renouvellement le solvant tous les 24heures, ensuite le mélange est filtré sous vide. Les extraits obtenus sont ensuite évaporés à l'aide d'un évaporateur rotatif à température de 45°C, après, on laisse à l'air libre pendant 24h pour terminer le séchage afin que l'extrait garde ses composés phénoliques ensuite l'extrait est conservé au réfrigérateur.

I.1.4.4 Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont utilisés par différentes techniques qui ont pour but la connaissance de la composition de grains d'orge mature (l'humidité, les cendres et le poids de mille grains) **(AFNOR, 1991)**

- **L'humidité** : Selon la norme (AFNOR V03-707),

- **Principe :**

La teneur en eau a été déterminée en séchant un échantillon de 2g dans une étuve isotherme à une température de 103° ± 2°C et à pression atmosphérique jusqu'à obtention d'une masse constante de l'échantillon. La perte de masse est égale à la teneur en eau**.**

- **Mode opératoire**

➢ Sécher les capsules vides à l'étuve pendant 15 min à 103 ± 2°C ;

➢ Peser dans chaque capsule préalablement tarée 2 g d'échantillon et les placer dans l'étuve réglée à 103 ± 2°C pendant 3 heures

➢ placez la capsule dans le dessiccateur après les avoir retirées du four.

➢ Après refroidissement, pesez la capsule. L'opération est répétée jusqu'à obtention d'un poids constant (réduction du temps de séchage à 30 min).

- **Expression des résultats**

$$H\%=((M1-M2)8\ /P.100$$

Soit H% : teneur en eau ou humidité **;**

M1: la masse initiale en g « (matière fraîche +capsule) avant dessiccation **».**

M2 : la masse finale en g « (matière sèche +capsule) après dessiccation **».**

P : la masse de la prise d'essai.

La teneur en matière sèche est calculée selon la relation **:**

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H\ \%$$

➢ ***Taux de cendre : (ISO 2171,2007)***

- **Principe**

La détermination de la teneur en cendres est basée sur la destruction de toute matière organique sous l'effet d'une température élevée qui est de 900°C jusqu'à combustion complète de la matière organique et part pesée du résidu.

➢ **Mode opératoire**

-chauffer les nacelles dans un four réglé à 900°C pendant 15 min ; ensuite, les laisser refroidir dans un dessiccateur, puis les peser ;

-Peser 1g de matière sèche dans une gélule préalablement tarée

-trois fois pour chaque variété

- Mettre les capsules au four à une température de 900°C pendant 5 à 6 heures jusqu'à disparition des particules charbonneuses qui peuvent être incluse et obtention d'une couleur grise claire ou blanchâtre

- Retirer les nacelles du four et les laisser refroidir dans un dessiccateur puis les peser rapidement.

- **Expression des résultats**
  - **Le taux Cendre :**

TC%=(M1/M0)* 100

Soit :

M0 : masse en gramme de prise d'essai

M1 : masse en gramme de résidu

- **Le taux Matière sèche :**
- **TM%** = (TC x 100/100-H)

H : Humidité

- ***Poids de Mille grains (PMG)***

Selon la norme (NA.731/1989), est un critère variétal qui dépend des conditions de culture. Le PMG est la détermination en gramme de la masse de 1000 grains entiers.

- **Mode opératoire**
  - ✓Prélever par division une masse composée approximativement de 500 grains de l'échantillon (avec trois répétitions) et la peser.
  - ✓Séparer les grains entiers, les peser à avec la balance électrique et on calcule ensuite le poids moyen pour déterminer le (PMG). une masse de 30 g est en général conforme à cette instruction

Les résultats sont exprimés en poids de grains sec (g) :

$$PMG = M \times \frac{100 - H}{100}$$

- ✓ **M :** La masse de 1000 grains
- ✓ **H** : L'humidité de grain.

I.1.4.5 Valeur nutritionnelle des couches périphériques du grain orge

I.1.4.5.1 Détermination de la teneur en lipide (Alexandre, 2017)

Avant l'extraction, l'échantillon a analysé à subit un séchage à l'étuve à 40°C pendant 12h, afin d'avoir une prise d'essai inférieur à 10% (M/M)

Principe

L'extraction par soxlhet d'une substance avec un solvant (le N-hexane). Le système doit être complété à l'aide d'une cartouche en cellulose placée dans le réservoir, destinée à recevoir le composé à extraire. L'extrait obtenu représente la matière grasse contenue dans la prise d'essai **(Annexe 4)**

- **Mode opératoire :**

Extraction de la matière grasse est effectuée selon la norme **ISO 659 (1988).** Une quantité de 20 g d'orge moulus sont mis dans une cartouche à extraction, un ballon est séché au préalable dans une étuve réglée à 105°C, il est refroidi dans un dessiccateur et pesée à 1mg prêt. C'est le poids (M1)

- La cartouche contenant la prise d'essai est placée dans l'appareil à extraction
- verser dans le ballon (200 ml d'hexane), la quantité nécessaire de solvant.
- Le ballon est adapté à l'appareil de l'extraction sur une chauffe ballon, on conduit le chauffage de telle façon que le débit du reflux soit d'au moins 3 à 4 gouttes par seconde (ébullition modérée)
- Pour réaliser une extraction correcte d'une substance, on réalise généralement plusieurs cycles d'extraction sont réparties sur 3 temps.

- **La première extraction**

Après de 4 h d'extraction, on laisser refroidir puis on enlève la cartouche de l'appareil à extraction. On laisse dans un courant d'air afin d'éliminer tout le solvant restant.

- **La deuxième extraction**

Le contenu de la cartouche est vidé puis broyé. On remet l'échantillon dans la cartouche et on démarre l'appareil à extraction. Cette extraction va durer 2 h, en utilisant le même ballon contenant le premier extrait. On vide et on laisse refroidir.

- **La troisième extraction**

La même étape est réalisée de la même façon pour la deuxième extraction, on enlève la cartouche, on élimine la plus grande partie du solvant et on répète le broyage. L'échantillon est

replacé dans la cartouche. On remet cette dernière dans l'appareil à extraction. Une troisième extraction durant 2 h est effectuée comme précédemment, en utilisant le même ballon.

La séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide de l'appareil appelé Rotavapor. Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé durant environ 30 min à 60 min réglées à 104 ± 1°C pour éliminer l'eau.

L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. Une fois l'extraction terminée, le solvant est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif, et la teneur en lipides est mesurée par poids de diminution de l'échantillon ou directement par le poids des lipides extraits. Si l'échantillon contient plus de 8-10 % d'humidité, le séchage est recommandé.

I.1.4.5.2 Dosage des protéines brutes par deux méthodes (Bradford et Lowry)

- **Extraction préférentielle dans un tampon salin des protéines hydrosolubles (albumines) et salinosolubles (globulines)**

Principe de la méthode

L'extraction des protéines du l'orge est réalisée à partir de la farine de grains d'orge obtenue après broyage et recueillie dans des tubes stériles. Les albumines et globulines sont solubles dans les solutions salines et sont extraites dans un tampon phosphate NaCl selon le protocole décrit par **(Marion et al., 1996)**,

- **Extraction des albumines/globulines**
  - Peser 100 mg de farine à solubiliser du tampon phosphate/NaCl pH 7.8.
  - Ajouter un barreau magnétique
  - Agitation à la chambre froide 4°C pendant 2heures.
  - Centrifugation à 4°C pendant 20 min à 8000g
  - Récupérer 500 µl dus surnage dans un eppendorf
  - Ajouter un 1 ml d'acétone à 20°C (pour précipiter les protéines)
  - Laisser minimum 2h à 20°C
  - Centrifuger pendant 05 min à 10.000 t/min
  - Reprendre le culot dans 500 µl dus surnage d'acétone
  - Sécher le culot sous vide (min 1 h)
  - Réaliser plusieurs lavages du culot.

- • La méthode d'extraction utilisée est la technique d'extraction séquentielle décrite par **Singh et al., (1991**) et modifiée par **Amiour et al., (2002)** et qui consiste à extraire les protéines de réserve séquentiellement selon leur solubilité.

❖ ***Méthode de Bradford (Bradford, 1993)***

Le dosage des protéines a été effectué par la méthode colorimétrique de Bradford :

Le réactif de Bradford contient du chromophore (le bleu de Coomassie G250) qui existe sous deux formes selon son état d'ionisation ; la forme libre de chromophore est cationique de couleur rouge et verte et absorbe un maximum à 465-470 nm. La forme liée du chromophore est anionique de couleur bleue et absorbe à 595 nm. En milieu acide ce colorant s'absorbe sur les protéines et ce complexe provoque un changement de couleur du rouge au bleu.

Le bleu de Coomassie réagit avec les protéines en se complexant aux résidus arginine et aux résidus lysine. La variation d'absorbance à 595 indique la quantité de chromophore complexées est proportionnelle à la concentration en protéine dans l'échantillon (**Walker ,2002)**

C'est une méthode rapide, car la fixation est complète après 5 minutes et l'absorbance du complexe colorant- protéine est relativement stable. Elle est encore plus sensible que celle du Lowry (0.2-20 *µg de protéines) (**Gueye, 2007)***

La préparation de réactif bleu de coomassie G 250 et la préparation de la courbe d'étalonnage avec la BSA est présenté par (annexe N°5)

❖ ***Méthode de LOWRY (Lowry et al., 1951)***

Cette méthode est basée sur l'obtention d'un composé chromogène par la réaction d'oxydoréduction, cette dernière a lieu d'une part des groupements de protéines notamment les groupements phényliques du tryptophane, de la tyrosine et dans une moindre mesure ceux de la cystéine et histidine (la liaison peptidique et aussi impliquée) et d'autre part, le réactif de Folin-ciocalteu dont l'acide phosphomolybdo tungstique est le constituant actif en milieu alcalin **(Lowry et al., 1951)**. Cette réaction donne naissance à une coloration en bleu de molybdène (couleur bleu foncé) dont l'intensité est mesurée à 750nm elle permet de doser le réactif de folin-ciocalteu par le complexe dans le format original proposé.

➢ **Principe**

C'est une méthode ancienne, mais encore largement utilisée, car elle est très sensible et assez constante. Cette méthode a pour principe le fait que dans des conditions alcalines, les ions Cu^{2+} forment un complexe avec les liaisons peptidiques des protéines, ce qui permet la liaison du réactif de Folin-Ciocalteu sur les protéines. Cette liaison est réduite en hétéropolymobyldène par

l'oxydation catalysée par le cuivre des acides aromatiques. Cette réaction provoque un changement de couleur qui vire du jaune au bleu et peut être mesurée par un spectrophotomètre à 750 nm **(Lowry et al., 1951).** La Préparation d'une gamme d'étalonnage de la méthode de Lowry est présentée par **(Annexe N°6)**

Tableau 21 : la comparaison entre méthode de Bradford et méthode de Lowry **(Berges et al., 1993)**

Méthodes	**Bradford (1976)**	**Lowry (1951)**
Références	Bradford, M. (1976) Anal. Biochem. 72, 248 – 256	Lowry et al. (1951) J. Biol. Chem. 193, 251
Réactifs	Le bleu de Coomassie (s'adsorbe sur le verre des cuves qu'il faut nettoyer fréquemment)	Le biuret et le réactif de Folin-Ciocalteu (phosphomolybdate et phosphotungstate - 1927)
Groupements réactifs	Réaction avec l'Arg et, dans une moindre mesure, avec l'His, la Lys et les acides aminés aromatiques	Le réactif de Folin-Ciocalteu réagit avec la Tyr et le Trp et, dans une moindre mesure, avec la Cys, l'His et la liaison peptidique
λ mesures	595 nm (bleu de Coomassie seul : 465 nm)	745 nm
Sensibilité	Élevée (seuil = 1 µg)	Élevée (seuil = 1 µg)
Rapidités et complexités	Méthode simple et très rapide	Méthode moyennement simple et moyennement rapide
Interférences	Dosage peu influencé par la présence d'autres molécules sauf les détergents et les bases fortes	Dosage fortement influencé par les autres solutés.
Variation d'une protéine à une autre	Forte : la protéine de référence (l'albumine de sérum bovin ou BSA, "*Bovine Serum Forte : la protéine de référence (l'albumine de sérum bovin ou BSA, "Bovine Serum Albumin") est une protéine globulaire peu représentative de l'ensemble des protéines.* *La γ-globuline, parfois employée, est une protéine qui est une meilleure protéine de référence.*	Forte

I.1.4.5.3 Détermination de la proline (Trolls et lindsley, 1995)

Parmi les vingt principaux acides aminés impliqués dans la constitution des protéines est l'acide pyrrolydine 2-carboxylique ou protéine, l'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par **Trolls et lindsley,(1995)** simplifiée et mise en point par **rasio et al., (1987)**.

On prélève 0,1g de matériel végétal séché et broyer en poudre qui placé dans des tubes à essai, auxquels on ajoute 2ml de méthanol 40 %. Chauffer au bain-marie à 85°C pendant 1 heure, après refroidissement, on prélève 1ml de chaque extrait dosé plus 1ml d'acide acétique dans chaque tube plus 1ml de réactif préparé du (120 ml d'eau distillée ,300ml d'acide acétique, 80ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) (120, 300,80 : V/V/V) plus 25mg de ninhydrile).

Le tout est porté à ébullition au bain-marie à 100°C pendants 30mn, après refroidissement on additionne de 5ml toluène. Après agitation vigoureuse en observe deux phases, on prélève la phase supérieure qui contient la proline et en élimine la phase inférieure aqueuse sans proline, on déshydrate la phase qui contient de proline en ajoutant de sulfate de sodium (Na_2SO_4) a l'aide d'une spatule. La solution finale colorée est déterminée à une densité optique d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 538 nm, les valeurs obtenues sont converties en taux de proline, le courbe étalon est établie à partir d'une série de solution de concentrations de proline connue.

I.1.4.5.4 Extraction et dosage de la phytate (Latta et al., 1980, Vaintraub et al., 1988)

Utilisation acide sulfosalysilique forme en solution un complexe coloré (rose violet au milieu acide) avec le fer, car ce dernier va être capté par acide phytique, ce complexe se décolore en présence d'acide phytique

- **Mode opératoire**

La teneur en acide phytique a été déterminée par l'acide sulfosalicylique forme un complexe coloré avec la solution par la méthode colorimétrique avec une légère modification **(Latta et al., 1980, Vaintraub et al., 1988)**. L'extraction a été réalisée sur 150 mg de chaque échantillon qui ont été mélangés avec 5 ml de HCL a 2,4 % dans chaque tube , laissé a l'obscurité pendant 2 h avec une agitation orbitale chaque 10 min pendant 15seconde à l'aide d'un vortex, après la solution va être centrifugé 30 min à 6000 rpm à 20°C au bout de 2 h, une partie de surnagent de 200 µl est diluée 25fois dans les tubes à essai avec 4,8 ml d'eau distillée en remuant les tubes pendant 5seconde .

En prélève 750 µl de dilution 1/25 (la gamme étalon) sont mélangés avec 250 µl de solution de rose de Wade (rose Wade , HCL 2,4%) mélangé vigoureusement dans un agitateur vortex et centrifugés a 10000 rpm à 20°C pendant 20 min, l'absorbance est lue à 500nm sur un spectrophotomètre et les résultats sont exprimés en mg/g pour la quantité « d'acide phytique , tous les essais ont été effectués en triple .

I.1.4.5.5 Dosage des minéraux

I.1.4.5.5.1 Dosage des minéraux par spectrophotomètre à absorption atomique (SAA)

❖ **Minéralisation et préparations des échantillons**

La minéralisation des échantillons est essentielle, elle permet de limiter les interférences liées à la matière organique et aussi d'obtenir une concentration qui augmente la sensibilité des mesures. La digestion acide humide est la procédure la plus fréquente.

Pour extraire les Na , K , Mg , Ca ,Zn , Mn , et le Fe d'après **Rodier, (2005)**, la minéralisation qui a été préparer à partir d'une solution mère de 100 mg/l pour chaque stade de développement des couches périphériques de grain d'orge successives avec l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et en complète avec de l'eau distillée .

Peser 0,5 mg de chaque échantillon préparé pour essai après séchage et broyage en poudre très fine dans un bécher de 50ml, pour éviter toute une contamination, des solutions aqueuses de réactives et l'étalon ont été préparés à l'aide d'eau ultra pure.

Quant au protocole d'analyse des minéraux **(Mahood, 2021)**, nous avons utilisé un spectrophotomètre d'absorption atomique de marque (SHIMADZU model AA7000). **(Annexe N°7)**.

➢ **Principe de fonctionnement du SAA**

L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. Les photons absorbés étant les propriétés des éléments absorbants, l'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leurs quantités étant proportionnés au nombre d'atomes de l'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments mesurés.

En cas d'absorption, un faisceau monochromatique d'intensité connue, de longueur d'onde caractéristique de l'élément à mesurer, est donc envoyé vers les atomes à mesurer. La

mesure de l'intensité transmise permet de déduire le nombre d'atomes absorbants présents dans la flamme. Cette détermination est basée sur la loi de Beer-Lambert :

$$DO = log I_0/I = \varepsilon . l . c$$

ε= constante qui dépend de l'atome absorbant.

l = longueur de la flamme.

c = concentration de la solution en élément absorbant.

log **I_0/I =** l'absorbance ou densité optique la dernière étape ou les échantillons ont été atomisés par une flamme (Acétylène-air).

❖ **Mode opératoire**

Les longueurs d'onde des éléments devant être analysés sont d'abord fixées sur le dispositif. La mesure est faite à une longueur d'onde spécifique à chaque élément chimique pour lequel il y a des lampes spécifiques et les résultats ont été exprimés en mg/kg. Notez qu'il est obligatoire de passer le blanc entre le passage de deux solutions différentes**.**

I.1.4.5.5.2 ***Dosage des minéraux (Potassium et Sodium) par spectrophotomètre à flamme***

❖ **Principe**

- Mélange de la solution avec le gaz
- aspiration de la solution
- pulvérisateur
- Atomisation au niveau de la flamme
- Captage de l'élément minéral par son filtre spécial
- Passage du spectre à travers la photocellule dont l'aiguille dévie du galvanomètre et cet écart est proportionnel à la concentration de l'échantillon dans l'élément minéral correspondant.

Détermination d'un seul élément des cations majeurs dans l'ordre mg/l dans des échantillons liquides. Un échantillon prélevé par l'appareil est transformé en aérosol, une flamme atomise les éléments contenus dans l'aérosol. Comme pour certaines méthodes d'analyse, un système d'étalonnage est nécessaire pour quantifier la présence d'ions Na^+ et K^+ dans les échantillons.

Nous ont utilisé le chlorure de sodium et le chlorure de potassium pour préparer la solution mère après que chaque élément a mesuré plusieurs solutions étalons à diverses concentrations ont été préparées.la quantification des métaux traces a été effectuée avec la spectrométrie à flamme (Jenway) (**Guide MEDAD, 08/02/07**).

I.1.4.5.6 Dosage de fibres brutes (Weende)

Pour doser les fibres brutes dans les échantillons secs selon **Weende, AOAC , (1993)**. Sécher des échantillons dans un four à 105-110°C pendant quelques heures. Une portion de 1g d'échantillon a été broyée à l'aide d'un Moulinex est utile afin d'obtenir une poudre fine qui doit être recueillir par un tamisage a 1mm, puis a été placé dans un creuset en verre avec fond en verre fritte **(Annexe N°8)**.

D'après la méthode de **Kitcherside et al., (2000)** : Un pesée de 1g de chaque échantillon, ajouter de l'acide sulfurique à 1,25 % jusqu'au repère de 150 ml, ajouter 3-5 gouttes de N- octanol comme agent anti-moussant.

Faire bouillir pendant 30minute ensuite vider l'acide sulfurique et laver trois fois avec 30ml l'eau distillée chaude après le dernier lavage ajouter 150 ml d'hydroxyde de potassium (KOH) a 1,25% préchauffé et 3-5 gouttes d'agent anti-moussant, faire bouillir 30min filtres et laver trois fois à l'eau distillée chaude puis effectuer le dernier lavage à l'eau d'ionisée froide. Laver trois fois le contenu de creuset avec 25 ml d'acétone. Retirer les creusets et déterminer le poids sec après séchage dans un four à 105°C pendant une heure et laisser refroidir dans un dessiccateur.

La teneur en cendres a été déterminée après combustion pendant 4 h à 550°C dans un four à haute température après refroidissement pendant 1h dans un dessiccateur et le résidu était pesé, la teneur brute est calculée de la façon suivante :

$$\% \text{ en fibre} = [(F1-F2)\backslash F0)] \times 100$$

F0 : poids de l'échantillon sec

F1 : poids du creuset avec résidu

F2 : poids du creuset avec résidu près cendre

I.1.4.6 Dosages des métabolites secondaires des couches périphériques

I.1.4.6.1 Dosage des polyphénols totaux (Ali- Rachedi et al., 2018)

Le dosage des polyphénols totaux de l'extrait est déterminé par l'utilisation du réactif de Folin-Ciocalteu et qui est décrite par la méthode **Ali- Rachedi et al., (2018**). Lors de l'oxydation des phénols, la coloration bleue produite possède une absorption maximale aux environs de 765 nm, par référence à une gamme d'étalon obtenue avec un acide phénolique (acide gallique), permet de déterminer la quantité de polyphénols totaux présente dans un extrait. Elle est exprimée en mg d'équivalent acide gallique par g de matière sèche.

- ✓ **Protocole expérimental**

Dans un tube à essai**,** un volume de 0,2 ml de chaque extrait après addition de 1ml de réactif de folin ciocalteu diluée 10 fois et une solution aqueuse de carbonate de sodium($NaNo_3$) à 7,5%, les tubes sont agités à l'aide d'un vortex et soumis à une incubation à température ambiante pendant 30 minutes après les mélanges colorés ont été lue à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (UV) par rapport a un blanc pendant l'oxydation des polyphénols a été exprimé en mg de l'équivalent d'acide gallique par g de matière sèche, une courbe étalonnage est réalisé en parallèle, en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations (0 -1000 mg/ml) dans les mêmes conditions opératoires.

I.1.4.6.2 Dosage des flavonoïdes (Vuida-martos et al., 2011)

La teneur des flavonoïdes a été déterminée par le protocole sur celui décrit par **Vuida-martos et al., (2011)** avec quelques modifications. Une quantité de 0,5ml d'extrait a été mélangée avec 2ml eau distillée dans des tubes d'hémolyses et 0,15 ml de $NaNO_2$ a 5% ont été ajoutés à l'extrait ,après 6minutes en ajoute 0,15 ml d'$AlCl_3$ à 10% , le mélange est laissé au repos pendant 6minutes , un volume de 2 ml de NaOH à 4% a été ajouté au milieu et le tout est ajusté avec 0,2 ml d'eau distillée, bien mélangé à l'aide d'un vortex et l'absorbance a été mesurée à 510 nm après incubation de 15 minutes par rapport au blanc (contenant le solvant d'extraction au lieu d'un échantillon) , une solution éthanolique de quercitrine a été préparée a différentes concentrations de (100 à 900mg/ml) pour trac la courbe d'étalonnage.

I.1.4.6.3 Caractérisation des composés phénoliques des couches périphériques des grains d'orge par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D

L'analyse des composés phénoliques à quatre stades de développement du grain d'orge (Saida 183) par RP-HPLC-LC-2030C3D a été réalisée à l'aide d'un instrument de chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (Shimadzu Prominence-i ; LC-2030C 3D). Fini. Méthode utilisée pour séparer toutes les classes de composés phénoliques en combinaison avec un détecteur UV-Vis à plusieurs longueurs d'onde **(Marston et Hostettmann, 2006).**

Les séparations se font à partir des polarités de la phase stationnaire utilisée, l'éluant et les composés phénoliques impliqués.

- **Mode opératoire**

Les données analytiques ont été évaluées à l'aide d'un système de traitement de données. Les séparations ont été effectuées sur une colonne C18 Supelco (25 cm x 4,6 mm, 5 µm) à température ambiante. La phase mobile était constituée de solvant A eau/acide acétique (pH = 3) et le solvant B était constitué de méthanol/acide acétique (pH = 3).

Le schéma d'élution en gradient était de 0,01 min avec une concentration de 5 % de solvant B jusqu'à 2 min, un gradient de 5 % de 2 min à 40 min, 100 % de solvant B, puis maintenus à 100 % jusqu'à 45 jours. , le flux le débit était de 0,8 mL/min et la longueur d'onde était de 280 nm. Les phytoproduits chimiques ont été déterminés à partir d'une combinaison de temps de rétention et d'ajustement spectral **(Anna et al, 2020).**

Phases mobiles

Phase A : eau + acide acétique (pH=3)

Phase B : Methanol + acide acétique (pH=3)

Colonne : C18 (25cm x4.6mm ,5µm) (Supelco)

Méthode :

0,01	Pumps Solvent B Conc.	5
2,00	Pumps Solvent B Conc.	5
40,00	Pumps Solvent B Conc.	100
45,00	Pumps Solvent B Conc.	100

Débit : 0.8 mL/min

I.1.4.7 Étude de l'Activité antioxydante des couches périphériques

Dans le but d'évaluer l'activité antioxydante de l'extrait des couches périphériques de grain d'orge en développement, deux tests ont était réalisés : pouvoir réducteur, piégeage de radical DPPH et la B-carotène.

I.1.4.7.1 Activité de piégeage radical DPPH (Athamane et al., 2010)

❖ **Principe**

Cette méthode a été mesurée selon le protocole de **Athamane et al., (2010)** qui est basé à la capacité de réduire le DPPH-H (2,2Diphenyl-1-picryl hydrozine) et de donné un hydrogène au radical DPPH de couleur pourpre sous sa forme oxydée de couleur jaune-vert **(molyneux, 2004)** et ayant une absorbance à 515nm. L'intensité de la coloration est proportionnellement inverse aux capacités des antioxydants présents dans la solution

❖ **Mode opératoire**

50 µl de chaque extrait methanolique est ajouté à 1,95 ml de DPPH (0,025g/l) à différentes concentrations. Acide ascorbique (Sigma-aldrich, Allemagne) a été utilisé comme un standard, un contrôle négatif est préparé de la même manière sauf l'extrait est remplacé par le solvant d'extraction, après incubation de 30 min dans l'obscurité, la lecture se fait par spectrophotomètre à 515 nm. Le pourcentage de piégeage des radicaux libres a été calculé comme suit :

DPPH (%) = (A (contrôle)- A (échantillon))/ Control* 100

Où **DPPH (%)** : est le pourcentage de réduction de DPPH,

A (contrôle) : est l'absorbance du contrôle négatif,

A (échantillon) : est l'absorbance de l'échantillon.

✓ **Calcul des concentrations 50 " IC50"**

Les résultats sont exprimés de trois mesures comme moyenne pour chaque échantillon, la valeur **d'IC50** est définie comme la concentration des antioxydants correspondant à 50% d'inhibition à partir de la courbe du pourcentage de réduction du DPPH en fonction de la concentration **(Fabri *et al.*, 2009).**

I.1.4.7.2 Pouvoir antioxydant ferrique réducteur (FRAP) **(Benzie et Strain, 1999)**

❖ **Principe**

D'après la méthode de **Benzie et Strain, (1999)** des phénols totaux ont réduire le fer ferrique Fe(III) en Fe(II). O,5ml de chaque extrait ethanolique a différente concentration (2,5,10,20,50,100)ont été mélangé avec 1,25ml de tampon phosphate (0,2 M :PH=6,6) et 1,25 ml de la solution de ferrocyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$) a 1%, le mélange obtenu est

incubé pendant 20 min a 50°C , après en ajoute de l'acide trichloracétique (TCA) a 10% pour stopper la réaction , les tubes sont centrifugés à 300 tr/min pendants 10min .

1,25 ml de surnageant sont ajouter à 1,25 ml d'eau distillée et 0,5 ml dichlorure de fer (III) $Fecl_3$ a 0,1%. La lecture de l'absorbance a été mesurée à 700 nm par spectrophotométrie, pour le blanc a été préparé de la même façon sauf en remplaçons l'extrait par le méthanol, l'absorbance de l'acide ascorbique est mesuré dans les mémés conditions que les échantillons

I.1.4.7.3 Test de blanchissement de la B-carotène (Kelen et Bektas, 2008)

- **Principe**

Par l'émulsion aqueuse ou l'acide linoléique généré les radicaux peroxydes qui celui-là va oxyder la B-carotène insaturé entrainant la disparition de sa couleur rouge

- **Mode opératoire**

Le test est réalisé selon le protocole de avec quelques modifications **Kelen et Bektas, (2008)**. Dans un bécher 2 mg de B- carotène est dissous dans 1ml de chloroforme, par la suite 1ml de cette solution est ajouté à 200 mg de tween 20 et 2 mg d'acide linoléique. Après évaporation du chloroforme, 100ml d'eau oxygénée diluée sont ajoutés avec une agitation vigoureuse. 2,5 ml de cette nouvelle solution est additionnée à 0,1ml de chaque extrait ou de vit C (2 mg/l) .le témoin préparé dans un tube contenant 2,5 ml d'émulsion et 0,1ml d'éthanol, l'absorbance est mesurée a 490nm immédiatement et d'autres lectures est fait à différents intervalles de temps (0, 20, 40, 60, 80,100et 120 min) et tous les résultats dont les mesures sont réalisée en triplicata

Les calculs de l'activité antioxydante ont été évalués par la formule suivante /

AAR= (Abs Echantillon/Abs témoin positif) x100

AAR : activité antioxydante relative

Abs Échantillon : absorbance de l'échantillon à tester

Abs témoin positif : absorbance de VITC

I.2 Analyse statistique

Pour comparer la relation entre micronutriments dans les grains d'orge en développement, tous les résultats ont été obtenus en trois répétitions, et ils sont exprimés en moyenne ± l'écart-type (les moyennes plus ou moins l'écart-type ainsi que les ainsi que les représentations) et tous les paramètres ont été soumis à une analyse de la variance (ANOVA) Avec le logiciel statistique EXCEL

PartieII

Résultats et discussion

II. Résultats et Discussion

II.1 Résultats

II.1.1 Le choix de matériel végétal

D'après les résultats de **Ivanisova et al., (2012)** a confirmé que les composés phytochimiques (minéraux, vitamines, caroténoïdes, composés phénoliques) se trouvent principalement localisés dans le son et le germe de céréales qui ont un potentiel puissant dans la prévention de plusieurs maladies et aussi dans la protection de la santé humaine et animal.

Par manque de travail sur l'étude de la valeur nutritionnelle qui nous réserve les couches périphériques en développement des céréales plus particulièrement l'orge, il à été choisi pour mener cette recherche d'étudier sur le plan nutritionnel et biologique le développement des nutriments sur des couches périphériques isolées aux différents stades de développement et pendant le remplissage des grains. Pour cela, nous avons choisi la variété Saida 183, vu sa culture dans le territoire Algérien plus particulièrement dans la région de Sidi Bel Abbés.

II.1.2 Résultats de rendement et aspect physique du grain

L'extraction est une étape importante pour l'isolement et l'identification des composés à valeur nutritionnelle. Dans cette étape, l'extraction de ces composés sur les grains d'orge à été effectuée sur des extraits des couches périphériques (CP) de la variété (Saida 183) aux différents stades de développement, nous a permis de calculer le rendement de chaque extrait déterminé par rapport à 5g de matière végétale séchée et réduite en poudre. Les résultats obtenus ont été exprimés en pourcentage et toutes les analyses chimiques, présentées par une valeur moyenne de quatre répétitions.

Le **(tableau 22)**, montre les différentes caractéristiques physiques et morphologiques de l'orge, telle que la hauteur, nombre d'épis, poids de 1000 gains avec le rendement d'extraction de quatre stades de développement.

Tableau 22 : Rendement des extraits des couches périphériques (CP) en pourcentage (%) et situation sur le comportement de la variété d'orge (Saida 183). Programme FILAHA-ANNOVE compagne 2019 /2020 (ITGC sidi bel abbés)

Variété	**Saida183**
Date de levée	**04-01-2020**
Peuplement à la levée (plt/m²)	**85**
Date de floraison	**19-03-2020**
Date d'épiaison	**19-04-2020**
Date de maturité physiologique	**24-03-2020**
Date de maturité	**16-06-2020**
Hauteur de la plante	**58**
Nbre épis/m²	**100**
PMG	**41**
Rendement parcellaire (Kg/6m²)	**1Kg100gr**
Rendement (q/ha)	**18qx/ha**
Rendement des extraits de quatre stades de développement par le solvant (éthanol, eau) **-Stade1** **-Stade2** **-Stade3** **-Stade4**	 **12.66%** **9.6%** **6.53%** **36.66%**
Rendement des extraits de quatre stades de développement par le solvant (méthanol, eau) **-Stade1** **-Stade2** **-Stade3** **-Stade4**	 **11.23 %** **8.5 %** **5.2 %** **33.12 %**

PE : poids de l'échantillon (poudre) (g)

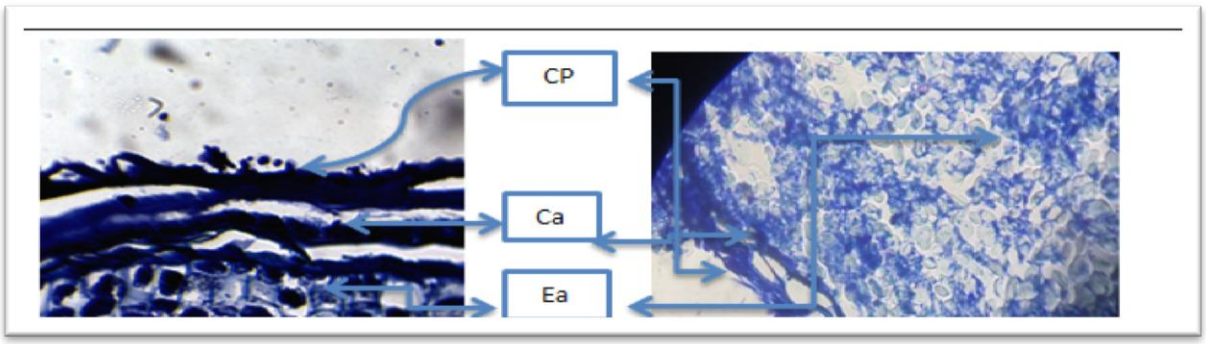
II.1.3 Résultats de l'observation par le microscope optique des extraits des CP

L'histologie des grains d'orge en développement a été révélée par le microscope optique **(figure 21)** en utilisant le bleu de toluidine comme colorant spécifique, l'observation de la coupe transversale des CP de quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183) a été décelée dans cette partie. La majeure partie des grains d'orge était constituée de l'extérieur vers l'intérieur de différents tissus distingués dans l'ensemble des couches externes, le premier tissu qui est l'enveloppe ou la testa entourés du péricarpe interne et externe, qui est la première enveloppe protectrice du grain, dans la partie interne, se trouve la couche à aleurone sous forme de deux à trois rangées de cellules d'aleurones. Dans les grains-d'orge les couches externes sont séparées en deux couches composites, constituées de l'ensemble du péricarpe et testa qui sont éliminés par suite comme sous produit.

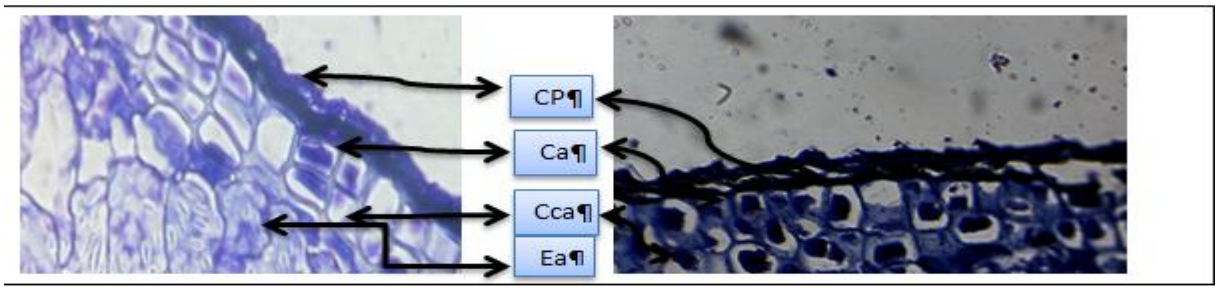
II.1.4 Résultats de l'observation microscopique électronique à balayage (MEB)

L'analyse par le microscope électronique à balayage est couramment utilisée pour connaitre la morphologie structurale des tissus, cette nouvelle technologie a permis de valider la méthode de dissection manuelle réalisée et de valider la pureté des tissus dont l'identité a été établie sur la base de leurs compositions histologiques. **(Surget et Barron, 2005, Meziani *et al.*, 2012 et 2021)**

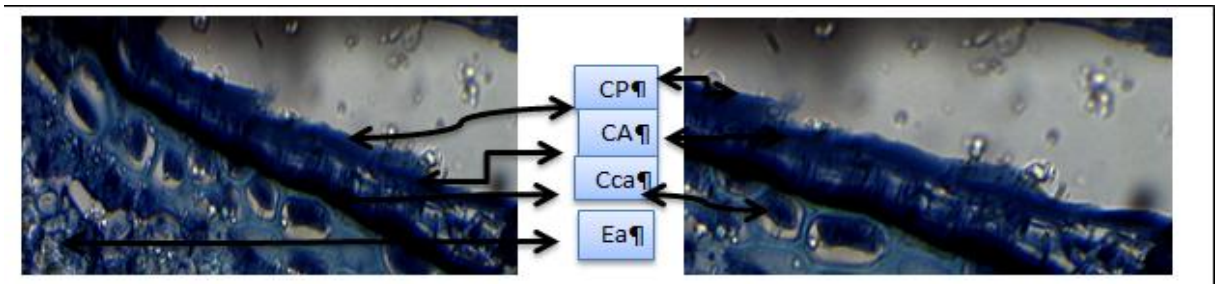
Dans **(la figure 22)** ci-dessous montre des images de couches périphériques de différents stades de développement du grain d'orge (Saida 183) observé par le microscope électronique à balayage (MEB). Après le passage du flux d'électrons sur le plan longitudinal des couches périphériques à partir desquelles la structure de surface irrégulière présente une couche différente.



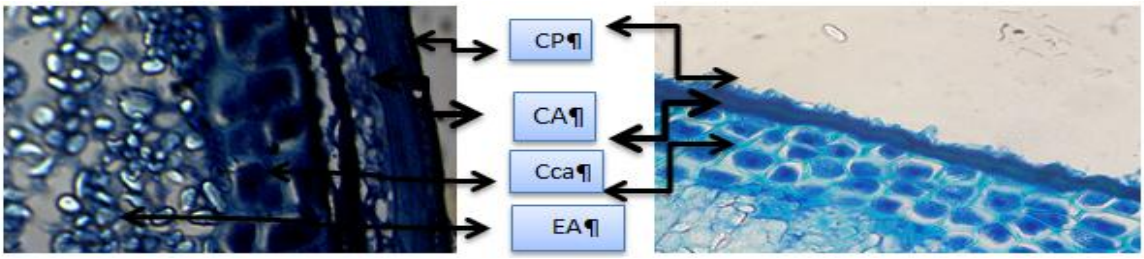
Stade1(Mi-laiteux)



Stade 2 (Pateux mou)

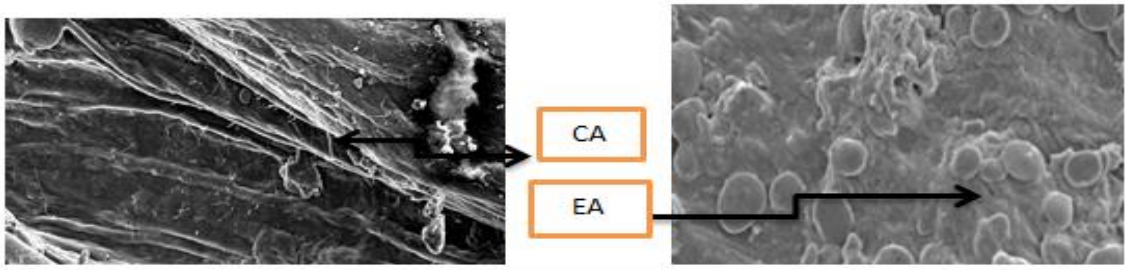


Stade 3 (Maturation physiologique)

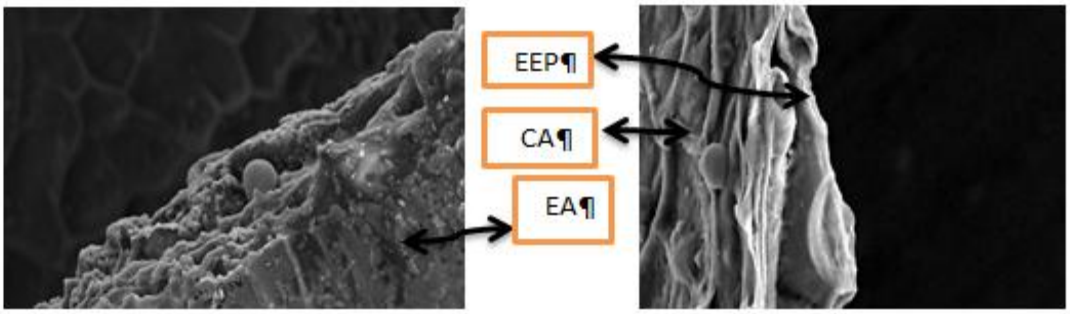


Stade 4 (Maturation)

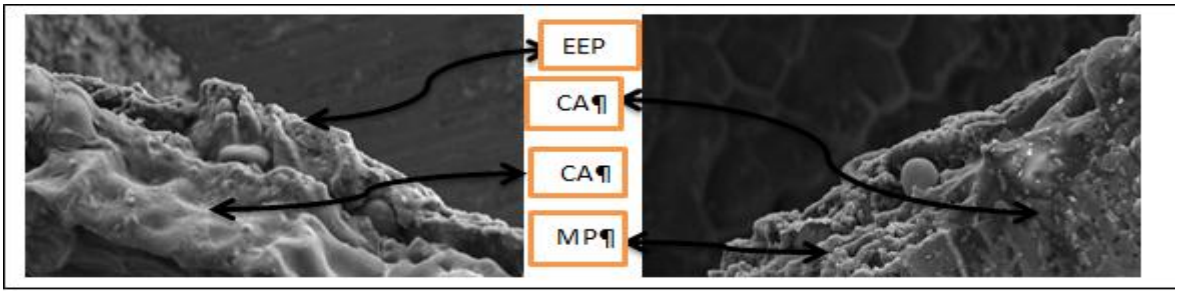
Figure 21 : Coupes transversales des CP d'un grain d'orge à chaque stade de développement observé au microscope optique **(grossissement x 100).** (Le grain d'orge mou a permis d'obtenir une couche composite de péricarpe, testa, aleurone et endosperme : les sections sont colorées au bleu de toluidine). Stade 1 : semi laiteux ; stade 2 : pâte molle ; stade 3 : maturation physiologique ; stade 4 : maturation. Composition structurelle : CP: Couche Périphérique ; CA: Couche Aleurone ; Cca: Cellules de la couche aleurone ; Ea : Endosperme amylacé.



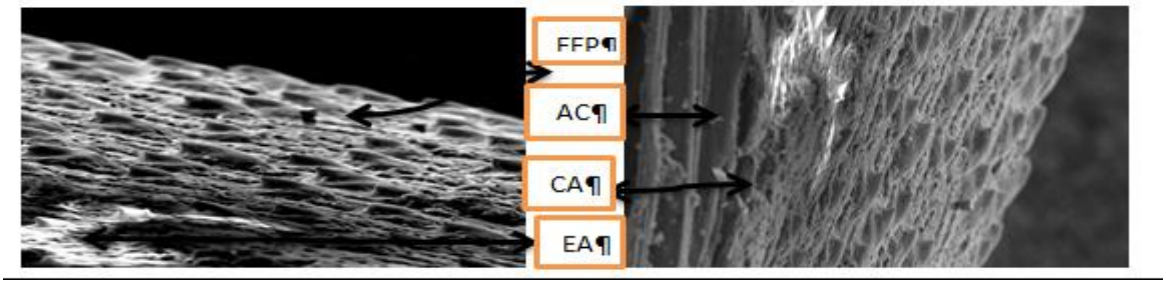
Stade 1 (Mi- laiteux)



Stade 2 (pâteux mou)



Stade 3 (Maturation physiologique)



Stade 4 (Maturation)

Figure 22 : Graphique de microscopie électronique à balayage des couches périphériques et de l'endosperme amylacé d'un grain d'orge du cultivar (Saida 183) pendant le remplissage du grain (900 ×). CA : Couche aleurone. EA : Endosperme amylacé. EEP : Épiderme externe du péricarpe. MP : Protéines de la matrice. AC : Cellule aleurone

II.1.5 Résultats de la valeur nutritionnelle des couches périphériques du grain d'orge

II.1.5.1 Résultats des analyses physico-chimiques de l'orge

Les résultats de l'analyse physico-chimique des CP de l'orge extraite par le solvant (éthanol, eau) de quatre stades de développement figurent sur **le tableau 23**

Tableau 23: Les résultats des analyses physico-chimiques des CP du grain d'orge (Saida 183)

	Concentration en protéines (µg)		**Humidité (%)**	**Cendres (% MS)**	**Lipides (% MS)**	**Poids de mille grains (g)**
	Méthode de Bradford	**Méthode de Lowry**				
Stade1	5.152	3.418	**13.24**	1.12	0.65	X
Stade2	5.130	2.732	12.7	1.85	0.86	X
Stade3	5.092	2.496	10.98	2.05	1.04	X
Stade 4	**5.186**	**4.139**	9.28	**2.25**	**1.25**	**45.36**

Stade 1 : mi- laiteux **Stade 3** : maturation physiologique
Stade 2 : pâte mou **Stade 4** : maturation

- D'après les résultats trouvés, on constate que le taux d'humidité des grains d'orge (Saida 183) entre les différents stades de développement varie au moyen de 13.24% au 9.28%.
- Le taux de cendres des grains de l'orge est de 2.25 %. Les résultats obtenus dans le stade 3 et stade 4 sont conformes à la norme qui est entre (1.6–2.1) selon la norme (NA.732/1991),
- Le PMG est de 45.36 g pour les grains d'Orge (Saida 183) mature qui est conforme à la norme.
- Teneur en protéines solubles (Albumines et globulines)

Les méthodes de détermination de la concentration en protéines sont basées sur la quantité et la nature de la protéine à analyser, la présence de substances interférentes et les exigences de sensibilité. Dans ce travail nous avons dosé la concentration des protéines de l'extrait des CP de l'orge (Saida 183) en développement en utilisant deux méthodes : La méthode de Bradford et la méthode de Lowry. Les concentrations en protéines obtenues dans le **(Tableau 23)** avec les deux méthodes étaient différentes.

Dans la méthode de Bradford, les résultats sont variables dans les quatre stades avec des concentrations de (5.15, 5.13, 5.09, 5.12), (stade 1, stade 2, stade 3, stade 4) respectivement,

tandis que dans la méthode de Lowry, les résultats présentent des concentrations différentes entre les quatre stades de développement avec des valeurs de (3.14. 2.73. 2.49. 4.13), (stade 1, stade 2, stade 3, stade 4)

- concernant la matière grasse, les résultats trouvés indiquent que les teneurs sont en moyenne de 1.25%.

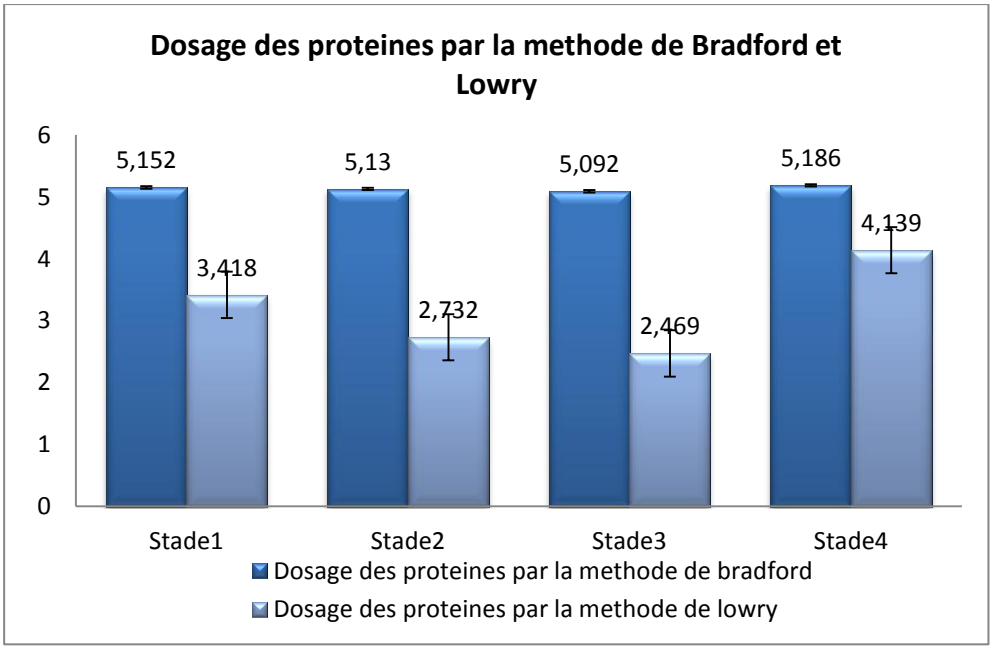


Figure 23: Teneurs en protéines solubles en mg des CP du grain d'orge (Saida 183) en développement par la méthode de Bradford et Lowry

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.1.6 Résultats de la Teneur en proline

Les valeurs de dosage de proline pour les quatre phases de développement de grain d'orge sont exprimées en mg/ml sont présenté par **le tableau 24** :

Tableau 24 : Teneur en proline pour les quatre stades étudiés de grain d'orge (Saida 183)

Stade	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4
Le taux en proline (mg/ml)	2.474 ± 0.069	4.624 ± 0.307	4.8 ± 0.19	7.148 ± 0.248

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais (d'un courbe étalon**) (Annexe N°9)**, qu'elle est établie à partir d'une série de solutions de concentration en proline connut. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les couches périphériques de différents stades de développement du grain d'orge (Saida183)

D'après les résultats obtenus dans les quatre stades, l'accumulation de la proline ont révélé une différence significativement au niveau de (P<1%) qui est présenté par la figure26. La teneur en proline est très faible au premier stade avec une valeur de (2 .474 ± 0.069) mg/ml de MS, à travers les deux stades de développement la teneur en proline est de (4.624 ± 0.307) mg/ml de MS et pour le stade 2 la valeur est de (4.8 ± 0.19) mg/ml de MS, pour le troisième stade et au stade de maturation la valeur de proline est importante avec une valeur de (7.148 ± 0.248) mg/ml de MS.

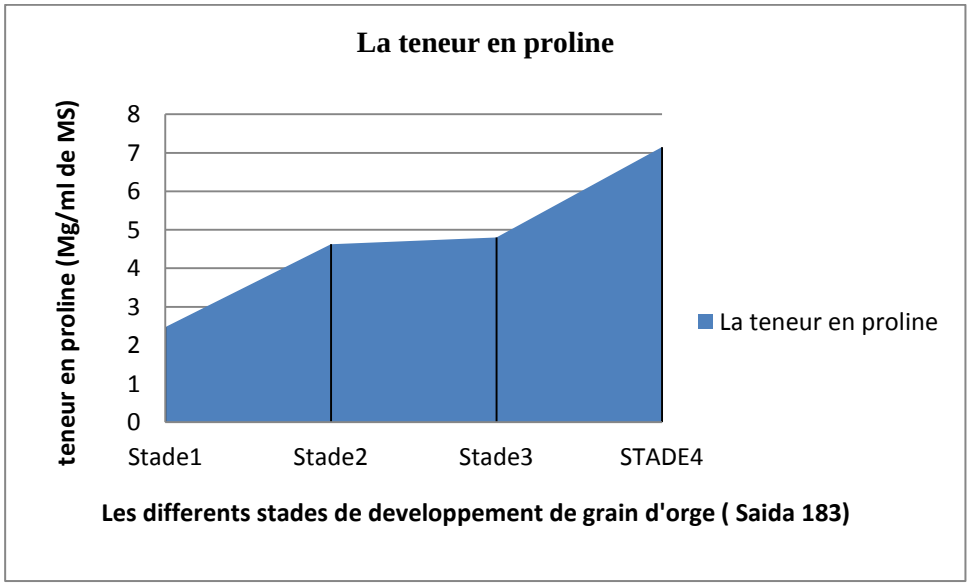


Figure 24 : La teneur en proline des quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183)

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

D'après nos résultats indiquent que la teneur en proline augmentant significativement et de manière très hautement significative pour leur teneur en proline avec la température et joue un rôle dans la réalisation des équilibres ionique et osmotique dans les différents stades de développement du grain d'orge (Saida 183).

II.1.7 Résultats de détermination de l'acide phytique

Le tableau 25 présente les résultats de la teneur en phytate montre que tous les stades de développements de grain d'orge, qui renferment des phytates a des quantités variables d'un stade a un autre à l'ordre décroissant allant de 8.96 à 5.22 mg/g de MS

Tableau 25: la Teneur en phytates en mg/g des CP du grain d'orge en stades de développement (Saida 183)

Échantillons /les quatre phases de grain d'orge	**Teneur en phytate (en mg/g de MS)**
Le stade 1	**8.96 ±0.56**
Le stade 2	7.57±0.120
Le stade 3	6.22±0.166
Le stade 4	5.22±0.267

(Moyenne ±Ecart-type : les coefficients de variation est de P<0,05)

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

La teneur en phytates entre les quatre stades de croissance de grain d'orge. Nous a permis de constater que Le 1er stade (mi- laiteux) présente une teneur la plus élevée en phytate avec 8.96 mg/g de MS, cette valeur commence à diminuer au stade (pâteux mou) avec 7.57 mg/g de MS jusqu'au le stade trois (maturation physiologique) avec 6.22 mg/g de MS, dans le dernier stade (maturation), la teneur en phytate présente 5.22 mg/g de MS. **(Annexe N°10)** présente la teneur en phytate constatés dans des CP de grain d'orge (Saida183) en développement

L'analyse de la variance montre que les stades en développement du grain d'orge de stade laiteux jusqu'à maturité ont des effets significatifs (P<0,05) sur la teneur en acide phytique**.**

II.1.8 Résultats du dosage des minéraux

La teneur en minéraux mesurée des couches périphériques des différents stades de développement des grains d'orge (saida183) montre que, les différences concentrations des éléments trace métalliques ont été calculées par rapport au poids sec de l'extrait de couche périphérique et ils sont exprimés en mg/ml pour 100g de MS pour les Na et K et en mg/l pour 1000g (PPM) de MS pour Mn, Fe, Zn, Ca et Mg, sont présenté dans **le tableau 26**

Tableau 26 : la teneur en minéraux de CP du grain d'orge (Saida 183) en plein développement en mg/ml (Na et K) et mg/l (Mn, Fe, Zn, Ca et Mg)

Variétés	Minéraux	Stade1	Stade2	Stade3	Stade4
SAA (PPM) mg/l	**Fe**	0.55 ± 0.028	0.342 ± 0.003	0.458 ± 0.004	**0.663 ± 0.002**
	Zn	**0.691 ± 0.003**	0.037 ± 0.001	0.042 ± 0.005	0.360 ± 0.004
	Mg	**1.888 ± 0.0014**	1.737 ± 0.016	1.728 ± 0.006	1.626 ± 0.017
	Mn	**0.0645 ± 0.006**	0.023 ± 0.0019	0.022 ± 0.005	0.021 ± 0.001
	Ca	**8.345 ± 0.002**	2.763 ± 0.006	2.717 ± 0.002	1.355± 0.007
Spectrophotométrie à flamme (mg/ml)	**Na^+**	18.75 ± 0.353	22 ± 0.141	**24.5 ± 0.707**	10.6 ± 1.272
	K^+	7.7 ± 0.424	10.5 ± 0.707	13.9 ± 0.141	**30 ± 1.414**

Ppm : partie par million
SAA : Spectrophotométrie d'Absorption atomique
Les valeurs représentent la moyenne de 2 à 3 mesures ± Ecartype

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

La teneur en Mg, Mn et Ca présente une diminution progressive à travers le cycle de développement, tandis le Fe et le Zn en stade 1 présente une valeur de (0.550 ; 0.691) mg/l, respectivement. Ces valeurs commencent à diminuer jusqu'au le stade 4 d'où elles augmentent de (0.663 ; 0.360) mg/l de MS respectivement. Pour le Na en stade 1 présente une valeur de 18.75 mg/ml ou il commence à augmenter en stade 2 et stade 3 avec des valeurs de (22 et24. 5) mg/ml respectivement. Pour le stade 4 il a diminué jusqu'à 10.6 mg/ml.

Concernant le K présente une augmentation importante de 7.7mg/ml au 1er stade jusqu'au dernier stade avec une valeur de 30 mg/ml.

L'analyse de la variance a révélé que les teneurs (Na, Mn, Fe et Mg), (0.00066, 0.0014, 0.0001, 0.00022) sont respectivement significatives, en revanche que les teneurs en (K, Ca, et Zn), (3.7912, 7.287, 2.2099), il n'existe pas de différence significative au risque d'erreur de 5% à travers les différents stades de développement. **(Annexe N°7)** montre l'équation de la ligne d'étalonnage, d'après les résultats qui montrent une bonne corrélation (R>0,99) dans tous les cas et le niveau de mesure auquel la précision sera considérée comme satisfaisante pour une détermination quantitative.

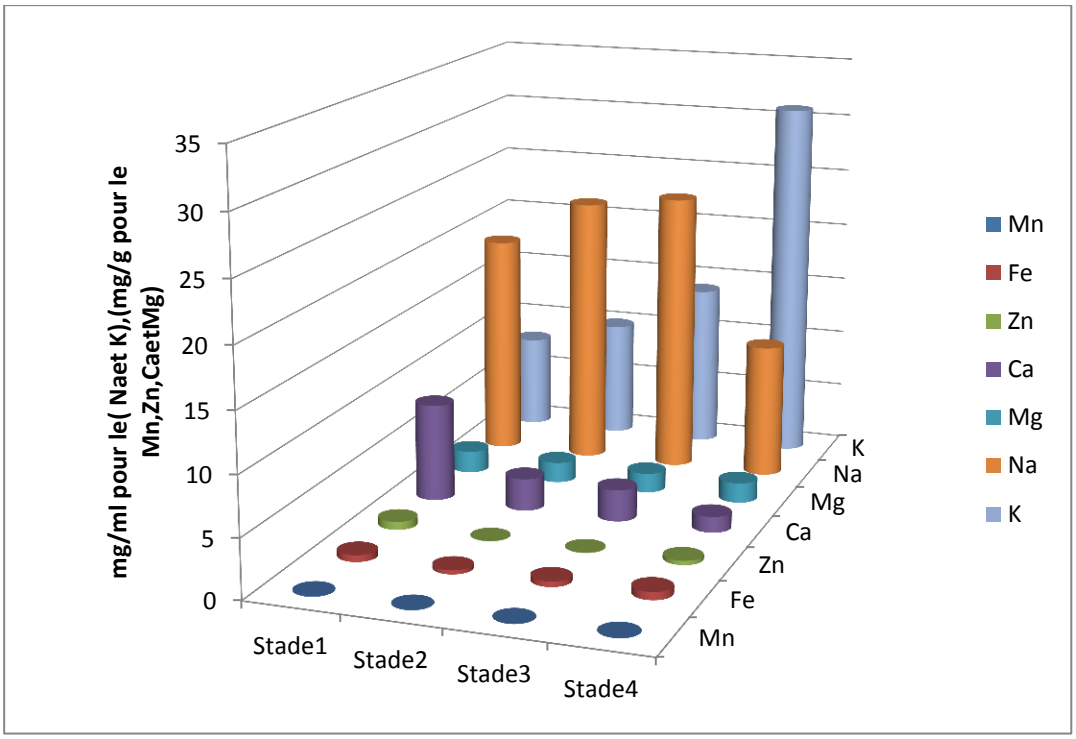


Figure 25 : la teneur en minéraux des CP du grain d'orge en développement (Saida 183) aux différents stades

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.1.9 Résultats du dosage des Fibres brutes

La teneur en fibre brute des différentes couches périphériques des grains d'orge (Saida 183) en développement est présentée dans **le tableau 27**

Tableau 27: les teneurs en fibres alimentaires exprimées en pourcentage de matière sèche (MS).

Phases	**Stade1**	**Stade 2**	**Stade 3**	**Stade 4**
Fibre brute %	8.4	10.4	12.2	16.6

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

Les valeurs moyennes de la teneur en fibres brute variaient de 8.4 à 16.6, ces valeurs augmentent de façon importante avec le développement de l'orge de différents stades, qui sont présenté dans **(la figure 26)**

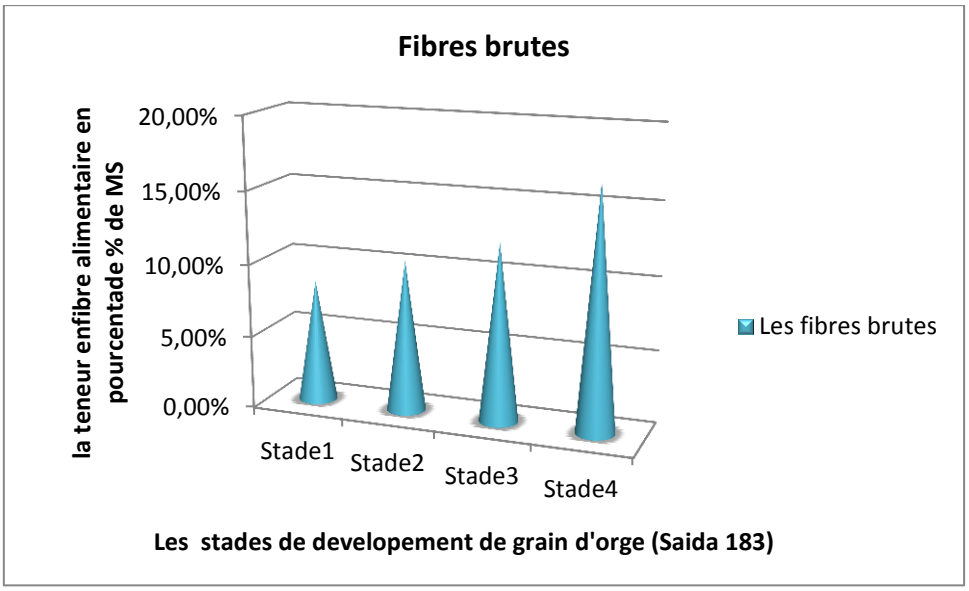


Figure 26 : la teneur en fibre des CP de grain d'orge (Saida183) en développement

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.1.10 Résultat du dosage des polyphénols totaux des extraits des CP des stades de développement

certain sons de céréales peuvent apporter d'importants phytonutriments en diverses quantités, qui sont généralement déterminées par des variables génotypiques ou environnementales, ou par la combinaison de deux facteurs **(Idehen et al., 2017)**

Notre étude était centrée sur la mise en valeur des couches périphériques de différents stades de développement du grain d'orge. Le contenu polyphénolique total de chaque stade de développement du grain d'orge (Saida 183) a été calculé à partir de la courbe d'étalonnage (y=0.0288 + 0.0314) à partir de l'absorbance Y et X, la concentration exprimée en milligramme d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES) qui est présenté dans **(l'annexe 11)**, ou la densité optique a été mesurée a une longueur d'onde de 765nm.

Les résultats des analyses quantitatives par l'extrait éthanolique de polyphénols et de flavonoïdes de CP utilisés par spectrophotométrie **(figure 27)**, révèlent que le stade quatre (maturation) présente des fortes teneurs en phénols totaux avec (90.395 ± 0.757) mg EAG/g suivi par le stade trois (maturation physiologique) avec (68.094 ± 8.260) mg EAG/g, stade deux (pâteux mou) avec (40.357 ± 3.174) mg EAG/g, enfin le 1er stade (mi- laiteux) avec une valeur (39.98 ± 5.90) mg EAG/g.

Pour les teneurs des flavonoïdes totaux ont été réalisée par la méthode Alcl3 en utilisant la courbe d'étalonnage conçu pour la catéchine. D'après les résultats obtenus, les teneurs en flavonoïdes sont représentées dans la **(figure27).** Les résultats de dosage de flavonoïdes de quatre stades en développement présentent une faible teneur en flavonoïdes en 1er stade (laiteux) avec une teneur de (15.843 ± 0.366) mg EC/g, suivit par le stade (pâteux mou) avec une valeur de (28.149 ± 4.453) mg EC/g, Le stade de maturation physiologique avec (36.298 ± 1.928) mg EC/g, et enfin le dernier stade de maturation qui enregistre une valeur de (44.285 ± 1.653) mg EC/g.

Concernant les extraits des CP obtenus par macération methanolique, les résultats en polyphénols et en flavonoïde **(figure27)**, montrent que le stade quatre (maturation) présente des fortes teneurs en phénols totaux avec (83.56 ± 6.19) mg EAG/g suivi par le stade trois (maturation physiologique) avec (58.14 ± 8.49) mg EAG/g, stade deux (pâteux mou) avec (34.40 ± 6.28) mg EAG/g, et enfin le stade un avec une valeur (35.57 ± 5.30) mg EAG/g.

Les teneurs en flavonoïdes des CP en quatre stades de développement sont presque proches des uns aux autres, pour le stade un (laiteux) présente une teneur de (10.21 ± 1.30) mg EC/g, suivit par celui de stade (pâteux mou) avec une valeur de (12.38 ± 1.03) mg EC/g, stade de maturation physiologique avec (13.05 ± 2.58) mg EC/g arrivé au stade maturation qui enregistré une valeur de (13.87 ± 6.30) mg EC/g.

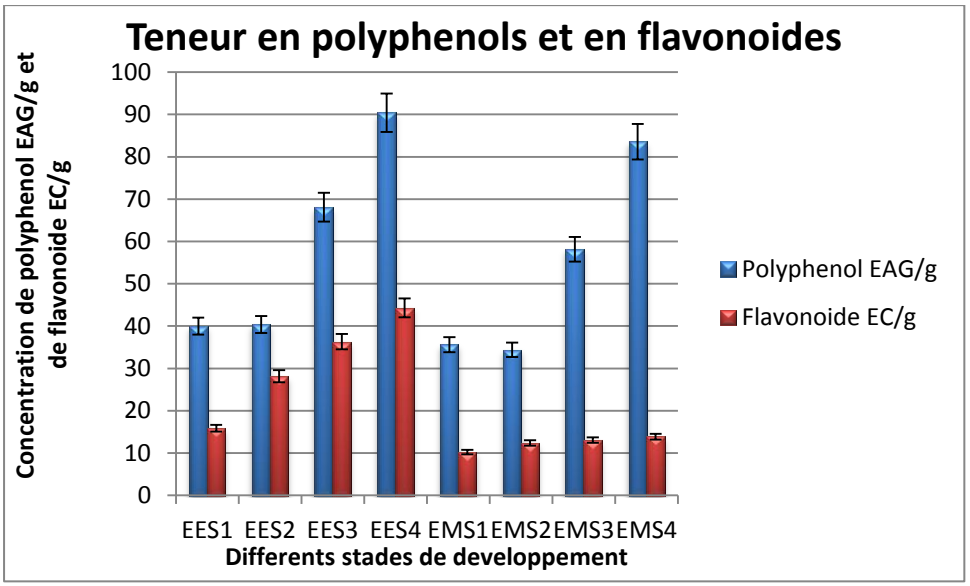


Figure 27: concentration en polyphénols en mg EAG/g, et en flavonoïdes en mg EC/g des couches périphériques par deux extraits éthanolique et méthanolique de quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183)

EES1 : Extrait ethanolique de stade1
EES2 : Extrait éthanolique de stade2
EES3: Extrait éthanolique de stade3
EES4 ; Extrait éthanolique de stade 4

EMS1 : Extrait methanolique de stade1
EMS2 : Extrait methanoliqie de stade 2
EMS3 : Extrait methanolique de stade3
EMS4 : Extrait methanolique de stade 4

II.1.11 Résultat de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D des couches périphériques des quatre stades de développement

L'analyse par HPLC a permis de quantifier et d'identifier les composés phénoliques (les acides phénoliques et les flavonoïdes) des CP, de l'extrait éthanolique des quatre stades de développement du grain d'orge (Saida 183). Les extraits ont été analysés à 280 nm pour identifier les composants phénoliques.

Le principe de cette technique est basé sur l'agencement des analyses entre les phases stationnaire et mobile. C'est une méthode qui permet de séparer et identifier les composés phénoliques **(Tomás-Barberán et al., 1990).**

La figure 30 montre que l'extrait brut du stade1 (mi-laiteux) du grain d'orge (Saida 183), contient quatre acides phénoliques (Acide gallique, acide syringique, l'acide 4-hydroxybenzoïque et acide p-coumarique). Alors pour les trois figures (31, 32, 33)

des trois stades (Pâteux mou, maturation physiologique, maturation) contient cinq acides phénoliques (acide gallique, acide vanillique, acide syringyque, l'acide 4-hydroxybenzoïque, acide p coumarique) avec des différents pics

II.1.12 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante des couches périphériques

Les grains de céréales sont riches en composés bioactifs, notamment les composés phénoliques, qui peuvent être les principaux contributeurs à l'activité antioxydante. L'activité antioxydante est l'ensemble des molécules susceptibles qui bloquent directement la production, diminuent la propagation qui peuvent réduire, ou détruire les espèces réactives de l'oxygène en les piégeant pour former un composé stable **(Favier, 2003**), ils ont une capacité a résister à l'oxydation.

dans notre expérience on a utilisé trois méthodes (test DPPH, de Frap et de la B-carotène) se sont des méthodes d'analyse très employée pour évaluer le potentiel antioxydant de différents composés naturels vu par sa fiabilité et sa rapidité **(Senthikumar et al., 2012)**

II.1.12.1 Piégeage de la radicale libre DPPH

L'évaluation de l'activité antioxydante des CP différents stades de développement est réalisée par DPPH, la décoloration de DPPH est proportionnelle à la capacité des molécules bioactive à réduire. L'IC50 est inversement proportionnel à l'efficacité des extraits. Nos résultats ont été exprimés par un pourcentage de l'activité antioxydant, révèlent que notre échantillon testé et par acide ascorbique pris comme référence des antioxydants, sont présentés par un histogramme **(Figure28)** où ce dernier présent la concentration de l'échantillon nécessaire pour inhiber la concentration de DPPH a 50%, la valeur de IC50 est inversement proportionnelle au pouvoir antioxydant **(Prakach et al., 2007)** . **(Annexe 12)**

présente la courbe de l'activité antioxydante des quatre stades en développement para rapport à l'acide ascorbique.

La valeur de IC50 des quatre stades de développements a montré que le stade quatre présente un pouvoir antioxydant important et un peu plus proche des autres stades, l'activité des quatre stades est inférieure par rapport à celle de l'acide ascorbique.

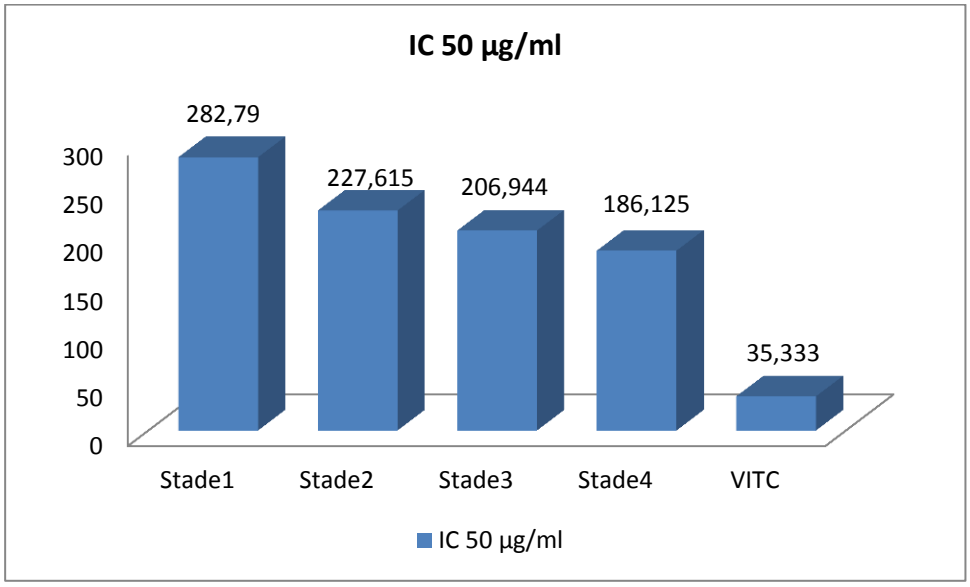


Figure28: Concentration d'inhibition du différent stade de développement d'extraits des CP de grain d'orge (Saida 183)

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.1.12.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

Le pouvoir réducteur d'un extrait est déterminé en utilisant le test de réduction Fe^{3+} en Fe^{2+},par le changement de couleur bleu-vert par la puissance réductrice de l'échantillon , en mesure l'augmentation de la densité de la couleur bleue a 700 nm **(DO et al., 2014),** l'importance de l'absorbance indique un plus grand de pouvoir de réduction.

Les résultats de pouvoir réducteur de nos extraits sont présentés par **(figure29)**, qui sont montrés que les concentrations de nos extraits allant de (1 à 0.0625 mg/ml) et proportionnelle à l'augmentation du pouvoir réducteur, qui est ce dernier est inférieurs à celui d'acide ascorbique. Une augmentation de pouvoir réducteur est proportionnelle avec la quantité d'extraits de chaque stade de développement, la capacité à réduire le fer est variable entre les stades, pour le stade quatre (maturation) présente un pouvoir de réduction très élevé avec une absorbance de (0.169 mg/ml) 1mg/ml suivi par le stade3 (maturation physiologique)

de 0.129mg/ml a (1 mg/ml), stade deux présente (0.115 mg/ml) a 1mg/ml. Le premier stade (0.108 mg/ml) a 1mg/ml. D'après les analyses statistiques des extraits de quatre stades de développement ont révélé que le pouvoir réducteur au ferricyanure de potassium par la différence non significative entre les stades.

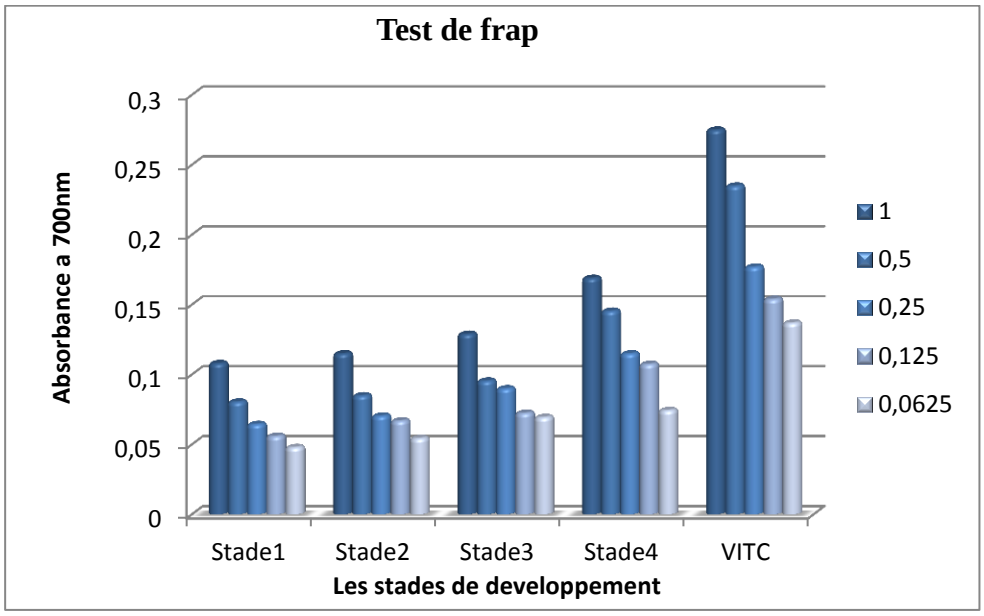


Figure 29 Activité antioxydantes des quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183) par réduction du fer (test de FRAP)

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.1.12.3 Test de blanchissement du ß-carotène

Pour la décoloration de la ß-carotène/acide linoléique, une régénération des radicaux peroxydent par l'acide linoléique suivi par l'absorbance des atomes hydrogène, la couleur orange va disparaitre par l'oxydation de ces radicaux libres et par la suite la présence des antioxydants peut neutraliser les radicaux libres dérivés de l'acide linoléique et prévenir la décoloration du B- Carotène. Le contrôle positif et la vitamine C à concentration 2mg/ml avec une courbe où le pouvoir antioxydant est très important (**la figure 30)**

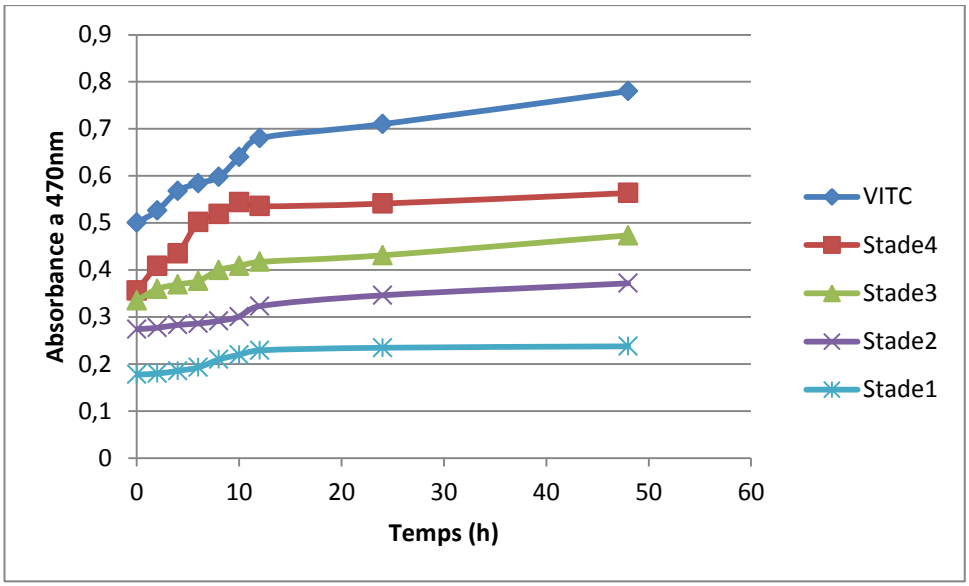


Figure 30: Cinétique de blanchissement du *B*-carotène a 470 nm en présence des extraits des différents stades de développement et le témoin positif (VITC)

Stade 1 : mi- laiteux ; **stade 2** : pâte mou ; **stade 3** : maturation physiologique ; **stade 4** : maturation.

II.2 Discussion

Objectif de la recherche

➢ Les grains d'orge sont des céréales complètes et sont principalement constitués de protéines végétales qui sont indispensables au bon fonctionnement de notre organisme. Ils contiennent aussi des micronutriments et des minéraux et sont aussi une bonne source du vitamines de groupe B, de fibres, et des molécules à activité intéressante. Selon une étude de **Barron et al.,(2017) ; Laskowski et al., (2019),** l'apport en céréales fournit 20 à 30 % de l'apport moyen en protéines, thiamine, phosphore , zinc, en sodium, calcium, potassium, acides gras insaturés, niacine, riboflavine ,vitamine B6 et de nombreux nutriments.

L'orge *(Hordeum vulgare)* est le matériau complexe contenant l'embryon impliqué dans l'activité vitale du grain, tandis que les cellules mortes remplies de granules d'amidon représentent le réservoir de nutriments (l'endosperme). L'enveloppe du fruit ou péricarpe qui dérive de l'ovaire, est composé de plusieurs couches de cellules étroitement adhérentes, à savoir une couche externe épiderme (épicarpe), un hypoderme de 3 à 4 cellules profondeur, et un péricarpe interne de cellules croisées. C'est le tégument, le péricarpe est une membrane semi-perméable composée de cellules tubulaires, la couche d'aleurone est la couche périphérique de cellules contenant des protéines, des vitamines, de l'acide phytique et de la cellulose **(Hariri, 2003 : Barron et al., 2017)**.Le caryopse de l'orge est principalement formé des couches qui sont à leur tour entourés de la couche nucellaire du testa (tégument de la graine, et du péricarpe (tégument du fruit**) (Evers et al., 1999)**. L'intervalle entre le nucelle et le testa est plus fin, tandis que l'intervalle entre le testa et le péricarpe est plus épais **(Brenan et al., 2017)**. La contribution relative de chaque tissu à la masse finale des graines pendant la maturation varie considérablement d'une espèce à l'autre et aussi para rapport aux différentes stratégies de stockage des nutriments. Ces tissus peuvent contribuer de manière significative à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation humaine. **(Ingram, 2017).**

➢ Les graines de céréales passent par des étapes de développement, c'est-à-dire la phase laitière, la phase pâteuse et la phase de maturation jusqu'à la récolte, où chaque étape englobe quatre états, c'est-à-dire lait précoce, lait tardif, pâte molle, pâte tardive, durcissement du grain, etc **(Xie et al., 2012).** La phase de remplissage efficace du grain (entre la fin de la phase de latence et la maturité physiologique) est celle où la matière sèche et les composés bioactifs s'accumulent, déterminant le poids final, la composition en nutriments et la qualité du grain. Il est bien documenté que l'accumulation de matière sèche lors du remplissage des

grains suit un schéma sigmoïde **(Dodig et al., 2018).** Celle-ci se caractérise par trois phases : la phase de latence (fertilisation et division cellulaire rapide), la période de remplissage effectif du grain (accumulation des composants de réserve) et la phase de séchage de maturation (perte de la teneur en eau et atteinte de la «maturité physiologique», c'est-à-dire la matière sèche maximale accumulation. En revanche, peu de recherches sur l'accumulation des composés bioactifs lors du remplissage des grains d'orge, les recherches sont particulièrement distinguées sur les fibres (β-glucanes) qui ont été rapportées par plusieurs études commençant pendant le développement de l'endosperme et se poursuivant jusqu'à la maturation du grain d'orge **(De Arcangelis et al., 2019 ; Martínez-Subirà et al., 2021)**

- L'objectif principal de cette étude est de voir et de rechercher la distribution structurale des tissus et la composition chimique et biologique des composants des couches périphériques (CP) des graines d'orge pendant le remplissage des grains (au cours de maturation). Le développement des cellules d'endosperme et les tissus externes d'orge, des études complémentaires qui devraient permettre de mieux comprendre les propriétés fonctionnelles des nutriments clés des céréales plus particulièrement l'orge et des composés naturels actifs, notamment en relation avec leurs rôles spécifiques dans la synthèse de nombreux métabolites secondaires présents dans ces tissus, offrent de grands avantages.

Sur la méthodologie mise en œuvre

- Déterminer le déroulement des opérations de récolte, de prélèvement, de la séparation de la couche superficielle suivie d'un broyage est la première étape dans cette étude expérimentale. Le broyage, la séparation et le remoulage sont des procédures répétitives pour extraire des parties spécifiques du grain tel que l'endosperme et les couches périphériques en tant que sous-produits prélevés récoltés manuellement. La proportion relative des tissus périphériques du grain d'orge a été déterminée par isolement manuel. Les tissus périphériques ont été isolés à la main : l'axe embryonnaire, le scutellum, l'endosperme amylacé, les couches externes (composées de la couche d'aleurone, du résidu de l'épiderme nucellaire, du testa et de péricarpe), et la coque. 200 grains en fonction de chaque stade de développement, les grains ont été disséqués à la main en quatre exemplaires et les tissus d'orge récupérés ont été pesés jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

- L'observation par le **microscope optique** permettra de nous indiquer que, dans le premier stade (mi- laiteux), on observe l'absence de l'enveloppe du fruit (péricarpe), et la présence de (testa) qui est un peu séparée de la bande hyaline ; à l'intérieur il y a formation de

la couche à d'aleurone et de quelques cellules d'albumen. Dans le deuxième stade (pâteux mou), il y a un début de formation de l'enveloppe externe (péricarpe) qui est attaché par le testa avec la formation d'une couche d'aleurone et de cellules d'albumen, pour arriver au troisième stade (maturation physiologique) où il y a une apparition de l'enveloppe externe. Dans le stade final (maturation), on observe la formation de tous les tissus de la graine, allant de péricarpe externe qui est la première enveloppe protectrice du grain groupée avec le tégument séminal ou testa, la couche d'aleurone est présentée en trois rangées, et une condensation importante des cellules de l'albumen.

De légères différences ont été observées dans les échantillons de grains d'orge ; selon **Barron et al., (2007),** les tissus de l'orge ne sont pas séparés de la même manière que ceux du blé, même si la procédure de dissection était similaire. Bien que l'emplacement exact du péricarpe externe, qui a été écrasé pendant le développement du grain **(Briggs, 1978)**, n'était pas facile à détecter dans les couches disséquées chez les cultivars d'orge, sa présence ou son absence ne pouvait pas expliquer cette faible quantité, elle pourrait plutôt être liée au type d'orge, puisque toutes ces caractéristiques tendent à réduire la proportion dans le grain d'orge **(Evers et al., 1999)**.

- De point de vue histologique, les principales parties anatomiques du d'orge sont typiques des autres membres de Triticeé, en particulier le noyau, qui est un type de fruit indéhiscent, appelé caryopse. Dans ce grain, la future plante s'accompagne de l'endosperme comprenant un tissu de stockage, appelé endosperme amylacé, l'embryon et la couche d'aleurone. Les deux (l'embryon et l'endosperme) sont entourés de couches protectrices d'origine maternelle (le résidu de l'épiderme nucellaire le testa et le péricarpe). Comme on a également observé chez le blé et le seigle, la couche d'aleurone est en partie enfermée dans la face ventrale du grain, un pli divisant le grain en deux longitudinalement, mais le pli est moins profond dans les grains d'orge **(Evers et al., 1999 ; Barron et al., 2017).**

Le son d'orge est un matériau élastoplastique, car les couches intermédiaires du son (testa), hyaline présente une plasticité et une extensibilité élevées, il est également démontré qu'à température ambiante, les différentes couches de son présentent des extensibilités très différentes **(Hemry et al., 2010).** D'autres études ont montré que le son d'orge peut être utilisé avant le développement du cancer comme agent prophylactique et peut également être utilisé pendant la formation du cancer **(Idehen et al., 2017** ; **Xie et al., 2019)**

Les couches périphériques du grain d'orge observées **par le microscope électronique à balayage,** aux différents stades pendant le remplissage des grains, nous montrent que pendant

la maturation, les couches étaient plus poreuses, de nature très fibreuses, composées d'hémicelluloses, de cellulose et de lignine selon une étude menée par **surget et al., (2005).** Nous pouvons distinguer plusieurs autres types de cellules spécifiques dans les grains en développement qui sont le principal dépôt d'amidon et de protéines de stockage qui alimente le grain en croissance dans le stade de maturation. Tandis que dans le stade mi- laiteux et le stade pâteux mou, les couches protectrices sont un peu endommagées avec une couche d'aleurone bien visible. Dans le stade de maturation physiologique, l'image nous montre la formation de plusieurs couches de l'extérieur jusqu'à la couche d'aleurone bien visible avec quelques grains d'amidon. Les cellules d'aleurones qui enveloppent l'endosperme amylacé et constituent de nombreux tissus végétatifs spécifiques de l'organe **(Olsen, 2004).** Ces changements morphologiques sont compatibles avec les changements structurels observés, d'une manière générale le péricarpe et les couches aleurones ont donné des structures les plus variées en termes d'épaisseur, les caractéristiques de la paroi cellulaire sont les plus importantes qui facilitent l'activité enzymatique. Plusieurs rangs dans les couches pluricellulaires ont été observés dan les couches périphériques lues particulièrement au niveau d'histologie de la couche à aleurone comme ont indiqués plusieurs travaux **Meziani et al., (2021) ; Nadaux et al., (2015)** et des caractéristiques communes ont été observées dans notre cas entre l'orge et grain de blé, la couche d'aleurone prédominait dans les couches externes plus particulièrement dans l'orge comparativement à l'étude de **Barron et al., (2017).** La proportion relative de la couche d'aleurone dans l'ensemble de la couche externe était plus élevée dans le grain d'orge que dans le grain de blé, où la valeur était d'environ 45% (**Barron et al., 2007 ; Evers et al., 1999)**, ce qui pourrait être lié à la minceur relative des autres tissus du grain d'orge maternel, la quantité de la couche d'aleurone dans le grain d'orge étant comparable à celle du grain de blé **(Barron et al., 2007 et 2017)**.

- **Le rendement de l'extrait** méthanolique est légèrement faible par rapport à l'extrait éthanolique, ce dernier dépend de plusieurs facteurs qui contribuent à son efficacité, la méthode d'extraction, la granulométrie des particules, la nature et le volume du solvant utilisé.

D'après nos résultats, nous remarquons que le stade 4 (Maturation) qui présente un rendement de 36.66 % a permis d'obtenir le meilleur rendement d'extrait, suivi par le stade 1 (mi- laiteux) avec un rendement de 12.66 %, ensuite le stade 2 (pâteux mou) avec un

rendement de 9.6 % et enfin le stade 3 (maturation physiologique) avec un rendement de 6.53 %. Des études avaient montré d'une part l'influence de la technique d'extraction et le facteur de l'environnement (la région, le climat, le sol….) sur le rendement et la croissance. La date de la récolte plus précoce des cultures d'orge, doivent avoir un rendement de récolte modéré à élever en matière sèche par hectare, ce qui correspond à la valeur de la production laitière pour une nourriture de bétail qui est ensuite conservée sous forme de foin ou d'ensilage.

- **La spectroscopie d'absorption atomique** est une technique utilisée pour mesurer intrinsèquement les métaux en solution et peut quantifier des éléments jusqu'à l'ordre de la ppm. La sensibilité de cette technique est supérieure à celle des flammes, elle permet une analyse quantitative de la composition élémentaire et peut identifier des éléments dans des échantillons de composition inconnue.

La validation du protocole a été effectuée par l'analyse de l'échantillon (trois reliquats ont été réalisés). La comparaison des valeurs déterminées des échantillons montre de faibles écarts types et une bonne précision. On peut conclure que la quantité de la minéralisation de l'échantillon et la précision des courbes d'étalonnage sont toutes adéquates.

À propos de la valeur nutritionnelle

La consommation d'orge est associée à une diminution du cholestérol total et sérique. Il améliore les réponses postprandiales au glucose et à l'insuline **(Wood, 2007)** et réduit les maladies cardiovasculaires, et le cancer du côlon **(Behall et Hallfrisch, 2006 ; Dykes et Rooney, 2007).** Ces bienfaits pour la santé de la consommation de grains entiers peuvent être dus à différents niveaux de composés nutritionnels dont les vitamines, les fibres, les protéines et les minéraux **(Martínez, 2018).**

- **La valeur physico-chimique** influence sur les caractéristiques physiques et biochimiques des graines surtout pendant le remplissage des grains. Les résultats trouvés sur le taux d'humidité des extraits des CP d'orge (Saida 183) entre les différents stades de développement sont conformes selon la norme (AFNOR V03-707) qui représente un taux d'humidité aux moyennes de 17 %. L'humidité dans les quatre stades de développement du grain d'orge (Saida 183) était presque identique que celle des données trouvées dans la littérature (**Abdel et Choo., 2014).** L'humidité des grains d'orge doit être faible afin d'éviter le développement de micro-organismes ainsi que des changements dans la composition des grains.

➢ Par conséquent, le poids de 1000 grains (PMG) est un trait de cultivar qui affecte grandement le rendement. Le PMG pour les grains d'Orge (Saida 183) mature qui est conforme à la norme (NA.731/1989) qui est entre 40-50 g. Cette analyse est considérée comme un facteur déterminant du rendement de mouture des grains

Selon Godon et Willm, (1998) ont classé les grains d'orge en fonction de leur PMG comme suite

- Petits grains pour les grains ayant des PMG entre 35-41 g ;
- Grains moyens pour les grains ayant des PMG entre 42-48g ;
- Gros grains pour les grains ayant des PMG entre 49-60 g.

En se basant sur cette échelle de classification, l'ensemble des extraits des CP étudiés présente des grains moyens.

Les effets de la sécheresse et de la température de fin de cycle ont été signalés comme cause des variations du poids de 1000 grains chez les céréales **(Chiara et Maria, 2014)**. Il dépend des conditions climatiques ainsi que de l'état nutritionnel notamment en azote surtout durant le stade maturation **(Grignac, 1981)**. Le remplissage des grains se fait essentiellement par l'assimilât récemment photo synthétisée **(Grennan, 2006)**. Dans les conditions de stress et dans certains cas, la diminution du nombre de grains est compensée par l'expression du composant poids de mille grains (PMG), le remplissage des graines est le stade terminal du développement des grains de céréales. Plusieurs processus biochimiques associés à la synthèse des glucides, des protéines et des lipides dans les graines et à l'importance des constituants sont impliqués **(Grennan, 2006)**. Pendant la phase de stockage, la division cellulaire de l'endosperme et l'accumulation de réserves de graines sont largement influencées par l'état d'humidité des cellules.

➢ En général, la teneur en cendres de l'orge varie de 2,5 % à 3,1 % **(Cieslik *et al.*, 2017).** Les éléments minéraux sont répartis sur l'ensemble du grain, mais sont principalement concentrés dans les couches externes des grains. Le taux de cendre est l'une des caractéristiques de pureté et permet de déterminer traçabilité de la farine. Les résultats obtenus dans le stade 3 (maturation physiologique) et le stade 4 (maturation) sont conformes à la norme qui est entre (1.6–2.1) selon la norme (NA.732/1991). Les valeurs de cendres trouvées ici se situent dans la fourchette rapportée par **Holopainen et al, (2014**) mais sont plus élevées que les teneurs indiquées par d'autres études **Abdel-Aal et Choo, (2014) ; Griffey et al., (2010**).

- Les lipides sont un groupe de biomolécules réparties dans tous les tissus végétaux. Ils jouent différents rôles dans la composition de la membrane cellulaire, stockant les molécules d'énergie métabolique et répondant aux stress **(Kuczynska *et al.*, 2019).** La teneur en matière grasse aux différents stades pendant le remplissage de grains est conforme à la norme (la norme ISO 659), d'après les résultats on peut dire que la farine d'orge (Saida 183) est riche en matière grasse. L'orge a une teneur en matières grasses moins élevée que celle du maïs, du sorgho ou de l'avoine.

- **Du point de vue nutritionnel,** les protéines sont le deuxième composant principal du grain d'orge, si la teneur en protéines des grains est supérieure aux normes, cependant elles sont à retenir, d'après les résultats obtenus par nos échantillons pour les quatre stades de développement du grain d'orge sont identiques, par les deux méthodes utilisées (Bradford et Lowry), mais à des concentrations en protéines plus faibles à celui de **Abdel-Aal et Choo, (2014)**. Les taux des protéines brutes étaient faibles dans les grains les moins matures au moment de la récolte par rapport au fourrage le plus mûr qui a été signalé par **Edwards et al (1968)**.

Dans les grains d'orge, les protéines sont responsables de nombreuses fonctions, telles que les fonctions structurelles, l'activité métabolique et la fourniture d'azote pour l'embryon en développement. Une enquête portant sur plus de 1000 génotypes d'orge a montré que la teneur totale en protéines des grains d'orge variait de 7 % à 25 %, on trouve plus particulièrement les protéines structurelles qui sont localisées dans la couche à aleurone et l'embryon **(Tanner *et al.* , 2019).** La teneur en protéines de l'orge est fortement affectée à la fois par le génotype et l'environnement **(Lorz, 2003 ; Qi *et al.* , 2006).**

Selon une étude de **Shewry, (2007),** la teneur en protéines d'orge est de 12.12% où certaines protéines sont localisées dans la couche à aleurone où elles ne subissent pas de transformations, mais la plupart sont situées dans les cellules de l'albumen amylacé. Dans l'orge fourragère, les grains à faible teneur en fibres, une teneur en protéines plus élevée (10-15%) **(OCDE, 2004)**.

Nos résultats sont identiques à celui trouvé aussi par **Yong, (2016)** ou le son de l'orge est riche en albumines et en globulines (A/G) en tant que protéines principalement cytoplasmiques avec respectivement 3 à 4 % de protéines totales. Les facteurs environnementaux, tels que la disponibilité de l'azote, les précipitations, la température et le stress, sont des facteurs clés qui déterminent la teneur en protéines **(Bertholdsson, 1999).**

➢ L'accumulation de la proline a un processus important pour développer la tolérance des cultures dans des conditions environnementales défavorables **(khan et al ., 2009)**. D'après les résultats de la teneur de proline, nous remarquons une augmentation à travers les stades de développement (du stade mi- laiteux jusqu'à stade de maturation avec des valeurs de 2.474 mg/ml à 7.148 mg/ml respectivement. La proline joue un rôle important dans la tolérance des plantes qui est accumulée en réponse à des contraintes environnementales variées **(Ben rejeb et al., 2012)**, Selon l'échelle de développement des céréales de **Zadoks et al., (1974)** (la relation entre le stade de croissance et le taux de séchage en respectant les conditions climatiques locales et les déficits hydriques des cultures pendant le développement des grains dans les cultures céréalières, si le déficit hydrique se produit immédiatement après l'anthèse, et qui peut être considéré comme un indicateur de mécanisme de défense de la culture en réponse à des stress multiples, ou **France et al., (2006)** ont conclu que l'accumulation de proline augmente en cas de stress et qu'elle optimise le rendement en grains , et d'après **Raza et al., (2007)** indique que la chaleur et le stress hydrique ont stimule la concentration de proline et d'osmo protecteur de manière significative. D'autres travaux de recherches par **Khan et al., (2000), Biel et al., (2011), Sykut-Domańska et al., (2013), Alijošius et al.,(2016,)** ont rapporté qu'une concentration inaccessible de proline dans des conditions de stress chez les génotypes de résistance.

La teneur en proline augmente de manière très hautement significative, cet acide aminé joue un rôle dans la réalisation des équilibres ionique et osmotique dans les différents stades de développement du grain d'orge (Saida 183). Il a été constaté qu'au cours de la maturation, les proportions de proline augmentaient et que les niveaux de cet acide aminé étaient les plus élevés dans les CP ayant la teneur totale en protéines les plus élevées.

➢ Les valeurs de la teneur en phytates ont diminué à la moitié du premier stade (mi-laiteux) jusqu'au quatrième stade (maturation). Ces valeurs sont inférieures à une étude observée par **Dai et al., (2010).** D'après **Schlemmer et al., (2009),** la teneur en acide phytique entre (3.8-11.6 mg/g de MS)) est comparable à celles obtenues par notre variété, cette valeur est de même ordre de grandeur que celle observée pour l'orge, ou pour le blé **(Barron et al. 2011).** Ces résultats s'expliquent que l'activité phytasique endogène synthétisée pendant la période de la germination continue la biodisponibilité durant tout le cycle végétatif jusqu'à la maturation du grain. D'autres parts, la biosynthèse du l'acide phytique commence peu de temps après la floraison et s'accumule au cours du développement jusqu'à la maturation et la dessiccation des graines.

L'acide phytique est connu comme le principal composé de stockage du phosphore dans les graines, représentant jusqu'à 80 % du phosphore total des graines et contribuant jusqu'à 1,5 % au poids sec des graines **(Bohn et al., 2008).** Le phosphate chargé négativement dans le l'acide phytique se lie fortement aux cations métalliques de Ca, Fe, K, Mg, Mn et Zn, ce qui les rendent insolubles et donc indisponibles en tant que facteurs nutritionnels. Le phytate devient instable à cause de l'activité enzymatique endogène de la phytase avec une formation d'un complexe entre le phytate et d'autres composants **(konietzny, 2002)**, certains chercheurs ont déclaré que l'activité phytasique des céréales à l'état natif est influencé par le cultivar, les conditions climatiques comme la chaleur et humidité **(Glenn, 2007, Egli, 2003 ; Kumar et Sinha, 2018).** Il s'accumule principalement dans les vacuoles de stockage des protéines sous forme de globoïdes, principalement situés dans la couche d'aleurone (orge). En grains matures et compte tenu de la proportion de chaque tissu dans le grain d'orge entier, 82 % à 88 % de la matière l'acide phytique totale présente dans le grain d'orge entier provenait de la couche d'aleurone et résidus de nucelle de l'orge comme dans blé **(O'Dell et al., 1972, Hemery et al., 2009 ; Barron et al., 2011)**. La synthèse de l'acide phytique est procurée dans les grains en développement **(Coban et Demirci, 2017; Kumar et al., 2010)**. L'acide phytique joue un rôle dans le cycle végétatif d'empêcher une germination très précoce et constitue une défense naturelle contre les prédateurs du grain, en libérant de grandes quantités de phosphore pour la production d'énergie **(Selle et Ravindran**, **2007).**

- Les couches périphériques comprennent un tissu cellulaire vivant riche en minéraux fournissant environ 40% des minéraux du grain, le phosphore (le phytate), le potassium, le magnésium, le zinc et le fer **(fardet, 2010, moore et al., 2012, brouns et al., 2012, chalamacharla et al., 2018)**. Une étude menée par **Austain et craufurd, (1989)** a montré aussi que le minéral présent dans le grain d'orge se trouve en concentration suffisante pour répondre au besoin nutritif de la plantule. La concentration du fer augmente à travers les différents stades de développement, du stade mi- laiteux jusqu'à au stade de maturation, pour le Zn, Mg, Mn, Ça, on observe une diminution progressive du premier stade (mi- laiteux) jusqu'à le dernier stade (de maturation). Pour le Na, la valeur commence à augmenter du premier stade jusqu'à troisième stade (maturation physiologique), après cette valeur diminue dans le stade de maturation, tandis pour le K, une augmentation à travers les quatre stades pendant le remplissage. Le K et le P sont les éléments minéraux les plus abondants dans les grains d'orge, représentant respectivement (0,37 à 0,50) mg/ml et (0,33 à 0,60) mg/ml de la matière sèche **(Rasmusson *et al.,* 1971 ; Cieslik *et al. ,* 2017**). Le K est un macronutriment

essentiel pour maintenir le potentiel électrique, la pression hydrostatique et l'activité biochimique de nombreuses enzymes **(Britto et Kronzucker, 2008).**

L'analyse de la variance a révélé que les teneurs en (Na, Mn, Fe et Mg), (0.00066 mg/ml, 0.0014 mg/l, 0.0001 mg/l, 0.00022 mg/l) sont respectivement significatives, en revanche, les teneurs en (K, Ca, et Zn), (3.7912 mg/ml, 7.287 mg/l, 2.2099 mg/l), sont in significativement différents au risque d'erreur de 5% à travers les différents stades de développement. La différente concentration d'oligo-éléments métalliques a été calculée par rapport au poids frais des couches périphériques de grain d'orge et est exprimée en PPM.

D'autres auteurs ont montré aussi que les macros minérales comme le calcium et le phosphore sont les plus abondants dans les grains d'orge **(Ben salem et al., 2004)**, les métaux comme le (Fer, Zinc, Ca, Na, Mn, Mg) joue un rôle important dans le système biologique **(Soylak et al., 2004).** Il a été mis en évidence à travers la documentation spécialisée une grande variabilité dans les teneurs en matières minérales d'un échantillon de couche périphérique à l'autre, ces différences sont sous l'influence de facteurs environnementaux qui caractérisent la culture du grain et l'effet variétal **(Bock et al., 2000),** le Magnésium est également localisé dans le son et la couche à aleurone qui est nécessaire à la photosynthèse dans les couches périphériques pendant les 30 premiers jours de formation et d'accumulation du grain et une carence minérale en Mg chez les céréales réduisent la photosynthèse de plusieurs fonctions métaboliques qui conduisent à un poids de grain plus faible et des défenses plus faibles contre le stress **(Qiu et al., 2016).** D'après les résultats obtenus de **Benguella et al ., (2022)** indiquent que les valeurs sont presque les mêmes par rapport à nos résultats pour la concentration de (fer, Mn et Ca) pour les grains-d 'orge (Saida 183) en grain mature, respectivement est de (0.825, 0.1819 et 2.79) ppm. Toujours dans le même cotexte en relation avec la perturbation de la synthèse ou de l'accumulation d'acide phytique pourraient également modifier favorablement la distribution des minéraux dans les tissus du grain, entraînant dans certains cas des niveaux de minéraux plus élevés dans l'endosperme féculent central.

Les métaux en concentration adéquate sont essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Le fer joue un rôle important dans la production de l'hémoglobine

et de globine rouge, un apport insuffisant en fer entraina une anémie **(Sarpong et al., 2014)**. Le zinc favorise la croissance à un développement normal pendant la grossesse, l'enfance et l'adolescence, il affecte le système immunitaire, la cicatrisation des plaies, les

sens du gout et de l'odorat **(Fraga et al ., 2005)**. Les céréales sont utilisées comme aliment de base dans les pays en développement, les macro-micronutriments présentent une bonne source à la nutrition humaine ou l'organisme humain est incapable de les produire. En faveur de ces résultats et à travers les arguments indiqués, les niveaux de calcium dans les couches externes ne sont pas bien corrélés avec les niveaux de zinc ou de fer aux différents stades, et la distribution du calcium, du fer et du zinc dans le grain diffère considérablement, ce qui a un impact sur les niveaux dans les produits à base de différentes fractions des grains.

- La teneur en fibres est une mesure essentielle pour l'évaluation des avantages potentiels pour la santé associés à la consommation d'orge. L'orge est une bonne source de fibres, que l'on trouve dans tout le grain. D'après nos résultats, la teneur en fibre brute augmente à travers les stades de développement, le stade de la maturité est exprimé à 16,6%, cette teneur est inférieure à celle obtenue par l'étude de **Kaiser et al., (2004)** qui est estimée à 27,33 % de la MS, mais elle est proche aux résultats déclarés par **Svihus et guillord, (2002)** qui vont de 18,00 % jusqu'à 24%. En comparant aussi la teneur en fibres avec une étude de **Ragaee et al., (2006),** ils notent que l'orge est le plus riche en fibres, sa teneur est de l'ordre de 26% de MS. D'après **Funcher et stone, (1986)** que les tissus périphériques contiennent la majeure partie de fibre et minéraux, en effet ces tissus qui représentent environ 14 % du grain en masse contiennent 75 % des fibres présentes dans le grain.

Par ailleurs selon l'origine histologique, la structure et des propriétés des fibres varient, les grains vêtus sont beaucoup plus riches en cellulose brute pour l'orge du grain vêtue, le taux est plus que 5 %, ces éléments forment des parois cellulaires, leurs apports énergétiques sont relativement faibles en raison de leur faible digestibilité. Il a été prouvé que les fibres de son d'orge améliorent la réponse glycémique, l'atténuation des lipides sanguins, l'activité enzymatique intestinale, la digestibilité alimentaire et la flore intestinale **(Bourdon et al ., 2018)**. Les fibres peuvent aider à prévenir la constipation et la diarrhée en générant une masse dans le tube digestif et en régulant ainsi les selles. Une étude a indiqué l'impact de l'ajout de plus d'orge au régime alimentaire des femmes adultes qu'après 4 semaines, la consommation d'orge avait une influence positive sur le métabolisme des lipides et la fonction gastro-intestinale **(McKeown el al., 2009).** D'après **Muir et al., (2004)** ont montré que le son de blé est plus riche en fibres insolubles que l'orge , D'autres auteurs ont trouvé, que les personnes qui

suivent un régime à base de céréales à savoir le blé ou l'orge exerce un effet physiologique bénéfique sur la réponse postprandiale de l'insuline chez les humains obèses qui présentent un

risque d'insuline résistance **(Kim et al.,2009)**. Les produits dotés de nouvelles propriétés fonctionnelles et nutritionnelles sont une condition préalable à une meilleure acceptation de l'orge, par exemple en tant que produits à forte teneur en fibres alimentaires **(Biel et al., 2009, Woźniak et al., 2014, Biel et al., 2016, Alijošius, 2016).** D'après **Biel et al., (2011), Sykut-Domańska et al., (2013), Alijošius et al., (2016**), les fibres alimentaires de grain d'orge [les fibres diététiques (*TDF*, total dietary *fibers*)] contient 265 g en Kg MS, les fibres alimentaires sont classées en fibres solubles et insolubles, sur la base de leur capacité de dissolution dans l'eau, de leur facilité de digestion par les bactéries florales de l'intestin et d'autres propriétés chimiques telles que la rétention d'eau.

Une teneur appropriée en fibres dans l'alimentation humaine est essentielle, car elle stimule le péristaltisme du tube digestif, mais des quantités trop élevées pourraient diminuer l'absorption des nutriments **(Ötles et Cagindi, 2006).** D'autres études ont associé la consommation régulière d'orge à son potentiel de réduction du risque de certaines maladies, telles que les maladies cardiaques chroniques, le cancer du côlon, l'hypertension artérielle et les calculs biliaires **(Idehen et al., 2017 ; Hemery et al., 2017).**

Sur la valeur biologique du contenu phénolique total et du flavonoïde

Les composés phénoliques, tels que l'acide phénolique, les flavonoïdes et les proanthocyanidines, sont les principales sources de composés antioxydants dans les grains entiers **(Shao et Bao, 2015 ; Tohge *et al.*, 2017**). Dans le grain d'orge, ces composés sont principalement distribués dans les enveloppes, le péricarpe, le testa et l'aleurone **(Nordkvist *et al.*, 1984).** Différents schémas de variation de la teneur en composés phénoliques ont également été observé lors du remplissage des grains. Par exemple, chez le blé semblable à l'orge, les composés phénoliques liés totaux culminent au stade précoce du développement **(Fou et al., 2016),** tandis que la concentration en anthocyanes augmente d'abord fortement pendant la phase immature, puis diminue de 25 à 33 jours après l'anthèse et au-delà **(Abdel-Aal et al., 2009).**

- Les composés phénoliques sont majoritairement concentrés dans les (couche périphérique, CP). Le dosage des polyphénols totaux et des propriétés antioxydantes au cours de quatre stades de développement du grain d'orge (Saida 183), ont été effectués sur des CP par la méthode spectrophotométrie et par une extraction éthanolïque à 80%, qui est très efficace pour extraire tous les composés et autres substances polaires au réactif de folin-ciocalteu en référence à la courbe d'étalonnage. La concentration des polyphénols devient

plus importante à travers les différents stades de développement. D'après **Fardet et al., (2010)** a exprimé que les polyphénols dans le son de céréales sont à 1.1 mg/100g EAG/g. C'est la méthode qui satisfait aux critères de reproductibilité, la simplicité de méthode et c'est un test largement pratiqué dans les laboratoires de recherche **(Huang et al., 2005).**

Nos résultats obtenus ont déjà été prouvés par **Salmousson, (1980)** que les grains de premier stade (grain mi- laiteux), les teneurs en composés phénoliques sont de trois à six fois moins importantes que dans les extraits des CP en grains mur. Nos résultats sont supérieurs à la teneur enregistrée par **Fardet et al., (2008)** estimée à 50 mg AG/100 g de MS et aussi à une étude par **Benguella et al., (2022)** qui enregistre une valeur de (58 ± 0.004) EAG/g. Les composés phénoliques ont été déterminés pour l'orge dans des conditions normales au cours du remplissage du grain. Ces composés ont augmenté de manière continue tout au long de la période de remplissage du grain enregistre de 50 % entre la teneur maximale au début du remplissage du grain et le moment de la récolte. Au stade de maturité, les valeurs obtenues sont un peu inférieures à la teneur totale en composés phénoliques qui variait de 130 à 481 mg d'équivalents d'acide gallique (GAE)/100 g de poids sec **(Han *et al.*, 2018 ; Shen *et al.*, 2018).**

Les niveaux moins élevés de composés phénoliques dans les premiers stades du remplissage du grain peuvent être une conséquence d'une inactivation de phénylalanine ammoniac lyase (PAL) (**Callum et Walker, 1991)** l'enzyme qui catalyse la conversion de la phénylalanine en acide trans-cinnamique lors de la biosynthèse des composés phénoliques **(Sharma et al., 2019).** La réduction des composés phénoliques lors du remplissage des grains était principalement due à un effet de déshydratation, car l'amidon se déposait dans l'endosperme en croissance **(Knievel et al., 2009)** affectant la biosynthèse des composés phénoliques au cours du développement final du grain. D'autres auteurs ont suggéré que la réduction du contenu phénolique au cours de la maturation du grain était plus étroitement liée à d'autres processus physiologiques, tels qu'une diminution de la photosynthèse ou du métabolisme oxydatif au cours du processus de déshydratation du grain **(Edehen et al., 2017 ; Ozkaya et al., 2018**).

Le degré de maturité des grains affecte les concentrations de divers polyphénols **(Macheix et al., 1990)**. Les variations obtenues sur les concentrations en polyphénols

Diffèrent et sont difficilement comparables par la méthode d'extraction ainsi qu'au protocole expérimental suivi, les facteurs environnementaux et la variété utilisée. Le séchage de grain

d'orge au four donne des tissus plus friables et permet d'obtenir une bonne extraction des acides phénoliques principalement qui sont présents dans les couches externes du grain **(Maillard et al., 2007)**. D'après **wannemacher et al., (2018),** les phénols sont présents dans les couches extérieures de grain. Les métabolismes végétaux sont des acides phénoliques qui ont un rôle protecteur potentiel dans la santé humaine qui est très répondue dans le règne végétal, acides phénoliques simples, de flavonoïdes et de lignines, qui ont tous de bonnes propriétés antioxydantes **(OCDE, 2004)** qui jouent un rôle dans la protection contre les maladies lorsqu'ils sont ingérés à des niveaux élevés. D'après plusieurs résultats menés par une étude de **Dykes et rooney, (2007),** ont confirmé que les composés phytochimiques, sont bénéfiques à la santé de consommateurs trouvés dans le son et le germe de l'orge. Une alimentation équilibrée fournit à l'homme environ un gramme de polyphénols chaque jour, soit dix fois plus que de vitamine C et 100 fois plus que de caroténoïdes ou vitamine E **(Youla et trous, 2017).** Les facteurs génétiques où la physiologie des céréales peut donner plus des composés phénoliques pourraient être expliqués par la différence de composition chimique de chaque tissu des couches périphériques de grain végétal.

- Concernant les flavonoïdes, les résultats de **Ragae et al., (2006)** pour les deux espèces, l'orge et le seigle présentent une teneur élevée du composé phénolique principalement les flavonoïdes, les résultats obtenus dans notre cas montrent que la teneur en flavonoïdes augmente à travers les stades de développement avec des faibles concentrations. En effet, plusieurs facteurs peuvent influer les composés phénoliques dans les céréales tels que la maturation, le facteur environnemental et la méthode d'extraction. Les résultats de **Benguella et al, (2022)** qui présentent une valeur de (80 ± 0.005) mg EC/g qui sont supérieurs a nos résultats. Les flavonoïdes sont généralement plus abondants surtout dans les grains qui présentent une coloration telle que le blé et l'orge **(zilic et al., 2012),** tandis que la teneur totale en flavonoïdes et en proanthocyanidines totales variait de 50 à 150 mg d'équivalents rutine (ER)/100 g et de 29 à 65,26 mg/100 g de poids sec, respectivement **(Nordkvist *et al.*, 1984 ; Verardo *et al.* , 2015 ; Han *et al.* , 2018 ; Shen *et al.* , 2018).** Nos résultats sont cohérents avec une étude menée précédemment, qui a révélé des acides phénoliques, des flavonoïdes, des lignanes, des tocols et des phytostérols comme composés phytochimiques dans l'orge **(Idehen et al ., 2017)**

Résultats de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D

Les résultats montrent quatre composés polyphénoliques aux activités biologiques remarquables ont été détectés dans l'analyse de la composition des extraits éthanlolique des CP dans les différents stades de développement du grain d'orge par la technique de chromatographie (HPLC). Les acides phénoliques sont des dérivés de l'acide hydroxybenzoique qui comprend les acides P-hydroxybenzoique, acide gallique, acide syringique et acide vanillique, localisés principalement dans les enveloppes et la couche à aleurone et qui se trouvent aux stades (pâteux mou, maturation physiologique et maturation), tandis que dans le stade mi- laiteux, acide vanillique n'a pas été identifié. Les phénols totaux et les flavonoïdes déterminés par des approches chimiques, sont mesurés en équivalents d'acide gallique et de quercétine, respectivement, tandis que les phénols totaux déterminés par chromatographie liquide, sont détectés et quantifiés par rapport à des étalons de polyphénols spécifiques comme témoins Malgré l'absence d'autres composants importants et abondants tel que l'acide férrullique dans le contenu phénolique, la variabilité qualitative est observée sur des extraits des CP pendant le remplissage des grains

D'après **Sosulsk et al., (1982),** les acides phénoliques les plus abondants dans les céréales complètes sont les acides ferulique, P coumarique et syringique. Ils sont majoritairement retrouvés sous forme liés aux polysaccharides des parois cellulaires bien qu'ils existent également sous forme libre ou conjuguée à des sucres **Andersson et al., (2014).** Les études sur les composés phénoliques dans les couches externes d'orge au cours de développement sont limitées. Une similitude dans la composition et dans la structure entre les grains de blé et d'orge a conduit à bien expliquer et identifier les tissus de grains l'orge. L'acide syringique est présent dans tous les stades de développement, d'après une étude réalisée par **Srinivasulu *et al.*, (2018) ; Idehen et al., (2017),** ont montré que cet acide joue un rôle comme étant un antioxydant, antimicrobien, anti-inflammatoire, hépato protecteur, neuro-protecteur et prévenir du diabète, des maladies cardiovasculaires, du cancer, des accidents cérébrovasculaires.

D'après **Sharma et al., (2010),** ont remarqué que la germination de l'orge responsable d'une augmentation du contenue phénolique total. Le mode d'extraction et le solvant jouent aussi un rôle très important sur la teneur en composés phénoliques, une étude de **Wang *et al.*, (2008)** a prouvé que le mélange éthanol-eau est utilisé comme solvant d'extraction pour améliorer l'efficacité d'extraction, c'est-à-dire lorsque la

concentration en éthanol augmente la teneur en phénols totaux présentent dans les extraits des coches periphériques diminuent. Le contenu des composés phénoliques dans la littérature était compatible avec les résultats de cette étude, ce qui indique en outre que les solvants et les matières premières ont un impact important sur l'enrichissement en polyphénols **(Hajji et al., 2018).**

La quantité des composés phénoliques tels que les polyphénols dépendent essentiellement du stade de croissance de la plante, les conditions climatiques et environnementales. La localisation géographique ainsi la différente maladie qui peut affecté la plante. Les extraits de plantes riches en composés phénoliques peuvent contrôler la prolifération, la survie et l'apoptose des cellules. De plus, ces composants ont joué un rôle important dans l'inhibition de la croissance du cancer dans plusieurs observations *in vitro,* études précliniques et épidémiologiques **(Anantharaju et al., 2016)**.

Sur l'activité antioxydante

Les antioxydants alimentaires sont reconnus pour lutter contre les espèces réactives de l'oxygène et les radicaux libres produits lors du métabolisme cellulaire et de la peroxydation des lipides et autres biomolécules, réduisant ainsi le risque des maladies chroniques.

- En outre, nous constatons que c'est l'extrait éthanolique qui a montré le pourcentage d'inhibition du radical DPPH le plus élevé comparativement aux extraits methanolique, ainsi la concentration de DPPH augmente à travers les quatre stades de développement, ceci pourrait être expliqué par sa richesse en composés phénoliques (phénols totaux ; flavonoïdes) qui sont riches en groupements hydroxyles donneurs d'électron et d'hydrogène. En effet il existe une bonne corrélation entre l'activité scavenging du radical DPPH et les teneurs en composés phénoliques de nos extraits (phénols totaux : R= 0,99 ; flavonoïdes : R= 0,98).

D'autre part, des études ont prouvé que l'activité antioxydante étudiée sur des extraits méthanoïques à 80% prévenant des différents grains entiers était de classe dans orge> avoine> blé> seigle **(Zielinski et al., 2000)**, une autre étude de **levitan et al.,(2008)** montre qu'une forte activité antioxydante des substances phytochimiques présentent dans les grains d'orge qui ont une forte capacité de prévention du diabète et de l'obésité.

L'enrichissement des couches périphériques comme la couche a aleurone a une forte activité antioxydante et un potentiel bioactif élevé **(Delcour et al., 2012 ; Meziani et al., 2021)**. La consommation des produits à base de grain entier a prouvé en popularité de leur

protection potentielle contre le cancer, cet effet antioxydant et du à leur composés phytochimiques qui attaque le stress oxydatif **(Masisik et al., 2016)**, et par le séchage peut contribuer à l'apparition des substances antioxydantes ou de composés phénoliques par des réactions thermiques comme brunissement non enzymatique, une augmentation des propriétés antioxydantes des produits peut augmenter l'activité antioxydante avec le temps de chauffage **(Samaras et al., 2005)**. Selon une étude menée par **Khelfallah et al., (2017)**, tous les antioxydants présents dans les extraits de céréales alimentaires semblent agir comme des piégeurs (capteurs) des radicaux DPPH. Nos résultats révèlent que les couches périphériques de l'orge présentent un pouvoir antioxydant qui est en accord avec les résultats trouvés par **Vanisova et al., (2012) ; Ragae et al., (2006).**

Les propriétés antioxydantes ont constamment diminué au cours du développement du grain et pendant le remplissage. Les molécules antioxydantes avaient moins d'activité au stade final de la maturation du grain en raison de la diminution de certains processus physiologiques, tels que la photosynthèse ou le métabolisme oxydatif pendant le processus de déshydratation du grain, comme proposé par **Ozkaya et al., (2018**). Ainsi, si ces processus ont été diminués lors de la déshydratation du grain (étape finale du remplissage du grain), les niveaux de molécules antioxydantes générées par le grain ont diminué en conséquence.

En plus la capacité antioxydante diminue progressivement à mesure que le grain mûrit. L'augmentation de la capacité antioxydante pourrait être due au stress thermique était liée à l'augmentation des composés phénoliques. Cela aurait pu se produire pour protéger les cellules végétales des dommages oxydatifs induits par la chaleur. Des recherches antérieures ont suggéré que la température élevée influençait la voie métabolique des composés phénoliques pour, augmentant ainsi la teneur en certains composés phénoliques, qui protégeaient les plantes contre le stress thermique **(McCallum et Walker, 1991 ; Wu et al., 2016).**

- Une procédure de blanchiment au B-carotène suivi d'une réaction d'oxydation du B-carotène en présence d'un témoin positif, ce qui permet de tracer une courbe, à partir de cette dernière, nous avons remarqué que l'absorbance du mélange augmentait plus lentement que le témoin positif (témoin Vit C). La solution se stabilise ensuite longtemps avec les extraits des CP aux différents stades de développement par un changement de couleur de l'orange au blanc.

Le B-carotène joue un rôle de la photo-protection des pigments chlorophylliens **(chen et roca, 2018)**, les résultats de **Sharma et al., (2012)** ont montré que l'orge possède un pouvoir antioxydant plus important à celui du blé. L'oxydation des caroténoïdes par l'oxygène provoque la perte de leur couleur caractéristique induisant la protection cellulaire et la prévention des maladies dégénératives **(Guaadaoui et al., 2014)**. Selon le degré élevé d'insaturation des caroténoïdes par la lumière, les acides, la chaleur et l'oxydation enzymatique , peuvent changer leur structure des isomères trans (le type le plus stable dans la nature) à la structure cis, produisant une diminution mineure de la couleur et de l'activité provitamine **(Schroeder et Johnson, 1995).** Dans le grain, une large gamme de caroténoïdes ont été détectés tels que la lutéine, le β-carotène, la zéaxanthine, la -cryptoxanthine (lutéine-5,6-époxyde), la flavoxanthine et la triticoxanthine **(Lachman et al., 2017)**.

III. Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Les grains d'orge appartiennent à la famille des graminées, qui est un fruit a graine unique appelé caryopse. Il est composé de trois parties principales qui sont, les coques présentent de (13-16%) de la masse totale des grains (assise protéique), amande moulue (82-84%) et le germe (2-3%). Ainsi une enveloppe protectrice elles représentent 12 à 16% du poids total du grain. La couche périphérique est une source importante de micronutriments qui est utilisée dans l'alimentation humaine et animale qui offre de nombreux avantages pour la santé. La contribution relative de chaque tissu à la masse finale des graines pendant la maturation varie considérablement d'une espèce à l'autre et sous-tend différentes stratégies de stockage des nutriments.

Le présent travail avait pour but de suivre le développement des couches périphériques du grain d'orge (Saida 183) en différents stades pendant le remplissage des graines. Les enveloppes du grain d'orge sont formées de plusieurs couches composées de nombreux tissus morphologiques différents, ces couches sont soudées présentent une membrane dure qui protège le grain des agressions extérieures.

En résumé, cette étude met en évidence des différences majeures dans la composition histologique des couches périphériques des grains d'orge en développement. Différents tissus ont été distingués dans l'ensemble des couches externes qui évoluent progressivement pendant la croissance. Le péricarpe et les couches aleurones ont donnés des structures les plus variées en termes d'épaisseur entre les différents stades. Plusieurs rangs des couches pluricellulaires ont été observés dan les couches périphériques lues particulièrement au niveau d'histologie de la couche à aleurone comme ont indiqués plusieurs travaux.

D'un point de vue nutritionnel, les valeurs protéiques apparaissent identiques selon les stades de développement par les deux méthodes (la méthode de Bradford et la méthode de Lowry). Les résultats de la matière grasse sont conformes à la norme (la norme ISO 659) avec la teneur en matière grasse en moyenne de 1.25%, on peut dire que la farine d'orge (Saida 183) est riche en matière grasse.

La teneur en acide phytique est variable d'un stade a un autre ou les valeurs diminue à travers le développement de la graine ou le stade mi- laiteux présente une valeur la plus

concentre avec 8.96 mg/g de MS ou elle commence à diminuer jusqu'à stade de maturation avec une valeur de 5.22 mg/g de MS. Les éléments minéraux (Ca, Mg, Fe, Mn et Zn) avec des concentrations différentes entre les quatre stades de développement. La concentration en potassium augmente à travers le développement des stades, par contre la concentration de sodium est variable entre les stades de développement. La teneur en fibres brutes augmente avec le développement de la graine d'orge de (8.4 à 16.6) %. L'accumulation de la proline est faible au stade mi- laiteux avec une valeur de 2.474 mg/ml et elle commence a augmenté à travers les stades de développement jusqu'à stade quatre avec une valeur importante de 7.148 mg/ml de MS, cette augmentation est en relation avec la température et joue un rôle dans la réalisation des équilibres ionique et osmotique dans les différents stades de développement du grain d'orge (Saida 183).

Sur le plan phytochimique, les résultats obtenus par extraction à l'éthanol avec macération nous montrent que la concentration la plus élevée des polyphénols est de (90.395 ± 0.757) mg EAG/g pour le stade de (maturation) qui décroit vers le stade mi- laiteux (40.357 ± 10.276) mg EAG/g. La teneur en flavonoïdes est faible au stade mi- laiteux avec une valeur de (15.843 ± 0.366) mg EC/g qui augmente par suite progressivement. Les métabolites végétaux sont des acides phénoliques qui ont un rôle protecteur potentiel dans la santé humaine qui est très répondue dans le règne végétal.

Les résultats d'identification des composés phénoliques par HPLC, nous a permis d constater qualitativement de l'absence d'acide vanillique au stade mi- laiteux, cet acide est présent en concentration stable dans les trois stades de développement. La présence de quatre composés phénoliques identifiés (l'acide gallique, acide syringique, acide 4-hydroxybenzoique et acide p-coumarique) avec des concentrations différentes, plus importants dans le stade de maturation.

La capacité antioxydante indique que les extraits éthanoliques des couches périphériques de quatre stades de développement ont une bonne activité antioxydante. Il existe des molécules bioactives qui ont des effets protecteurs contre des maladies spécifiques. L'activité antioxydante des couches périphériques de quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183) a été évaluée par trois méthodes : Capteur de radicaux DPPH, réduction du fer (FRAP) et β-blanchiment carotène. Les résultats indiquent que le stade de maturation est le plus actif, avec une IC50 de 186.125 µg/ml, suivi les trois autres stades.

Conclusion et perspectives

Quant à la technique de réduction du fer (FRAP), les résultats sont le stade un a un effet réducteur de fer qui augmente avec la concentration. On peut voir que le stade de maturation a une activité la plus élevée par rapport les autres stades.

Pour le blanchissement du β-carotène, l'inhibition la plus élevée a été enregistrée pour le stade quatre (maturation) suivi par les autres stades de développement. Ces résultats restent meilleurs par rapport à la Vit C. Les résultats obtenus dans cette étude montrent l'abondance des couches périphériques de grain d'orge (Saida 183), nouvelle source potentielle d'antioxydants remarquables et une possibilité de molécules bioactives.

Sur la base de ses résultats obtenus, nous espérant que cette étude ouvre un large champ pour évaluer d'autres nutriments et molécules ayant des effets bénéfiques pour la santé, de voir par une approche protéomique et métabolomique la variabilité interspécifique et intra-spécifiques sur des couches périphériques et sur des graines entières en processus de développement pendant la germination et pendant la maturation, laquelle la teneur maximale de ces composés nutritionnels et bioactifs peut se produire.

Les consommateurs reconnaissent de plus en plus le lien entre l'alimentation et la maladie, l'importance d'une alimentation équilibrée, de développer de nouveaux aliments fonctionnels plus sains à haute teneur de composants nutritionnel et biologique plus nutritifs et enrichis à base d'orge. L'orge pourrait faire l'objet d'une plus importante utilisation comme grain alimentaire par l'industrie et pourrait être mieux connue et acceptée par des consommateurs.

IV. Références bibliographiques

- ✓ Abdel-Aal, E. M., & Choo, T.-M. (2014). Differences in compositional properties of a hulless barley cultivar grown in 23 environments in easter n Canada. Canadian Journal of Plant Science, 94, 807–815. https://doi.org/10.4141/cjps2013-301
- ✓ Ahamet S. (2003) Etude phytochimique et des activités biologiques de Balanites aegyptiaca L. (Balanitaceae). Thèse Pharmacie.2013, Bamako; 117
- ✓ Amri A., Ouammou L., Nassif F.(2005): Barley-based Food in Southern Morocco: In: Grando S. and Gormez Macpherson H. (eds.). 2005: Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge. Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement, 14-17 January (2002), Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo, Syria. 22-28. and analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, 353-362.
- ✓ Abbas K., Abdelguerfi A., (2005). Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. Fourrages; 184, 533-546. Acta Sci. Pol., Ser. Technologie. Aliment. 5(1), 107–112. Google Scholar
- ✓ AGNIESZKA M., ANDREAS B., STANISLAW W, (2016) : Comparative proteomic analysis of β-aminobutyric acid-mediated alleviation of salt stress in barley, Plant Physiology and Biochemistry, Volume 99, Pages 150-161
- ✓ Akkaya, A., Dokuyucu, T., Kara, R., Akcura, M.,(2006). Harmonization ratio of post- to pre- anthesis durations by thermal times for durum wheat cultivars in a Medite404–408.
- ✓ ALGER, M. (1989). Polymer science dictionary. 1st ed. London: Elsevier Applied Science. Algérie. Céréaliculture. ITGC El Harrach, 41:34-38.
- ✓ Alijošius, S., Švirmickas, G.J., Bliznikas ,S., Gružauskas, R., Šašyte ,V., Raceviciute-Stupeliene, A., Kliševiciute , V., Daukšiene, A.(2016). Grain chemical composition of different varieties of winter cereals. Zemdirbyste, 103(3): 273–280. DOI; 10.13080/z-a;103.035
- ✓ ALI-RACHEDI F., MERAGHNI S., TOUAIBIA N., SABRINA M,(2018). Quantitative analysis of phenolic compounds of an Algerian endemic Scabiosa Atropurpurea sub. Maritima L Bulletin of the Royal Society of Sciences of Liege., Vol. 87, articles, p. 13 – 21, , https://www.researchgate.net/publication/327871926,
- ✓ Al–Khatib, K. and G.M. Paulsen, (1984). Mode of high temperature injury to wheat during grain development. Physiol. Plant., 61: 363–8
- ✓ Allosio-Ouarnier, N. (1999) Caractérisation de la transformation de l'orge en malt par des méthodes de spectroscopie vibrationnelle, Thèse INPL, spécialité : Biotechnologies et Industries Alimentaires, Nancy

- ✓ Amiour N, Jahier J, Tanguy A.M, Chiron H, and Branlard G (2002). Effect of 1R (1A), 1R (1B) and 1R (1D) substitution on technological value of bread wheat. Journal of Cereal Science 35 (2) : 149-160.
- ✓ Anna Malinowska M., Billet K., Drouet S., Munsch T., Unlubayir M., Tungmunnithum D., and Lanoue A. (2020). Grape cane extracts as multifunctional rejuvenating cosmetic ingredient: Evaluation of sirtuin activity, tyrosinase inhibition and bioavailability potential. Molecules, 25(9), 2203.
- ✓ Anantharaju PG, Prathima CG, Manjunatha GV, Subbarao VM.(2016). Un aperçu sur le rôle des composés phénoliques alimentaires pour le traitement des cancers. Nutr J. 15:1–16. doi : 10.1186/s12937-016-0217-2
- ✓ ANAT (2008) Agence nationale d'aménagement du territoire de la wilaya de sidi bel Abbès, plan d'aménagement de la wilaya de sidi bel Abbés
- ✓ ANDREW C., KAREN P. S., IRENE A. G., ALEXANDER A. C., CATHY H., JOHN W., and PETER M., (2017): The agronomic performance and nutritional content of oat and barleyvarieties grown in a northern maritime environment depends on variety and growingconditions, Journal of Cereal Science, Volume 74, Pages 1-10.
- ✓ Anonyme, (2010). Après 40 ans, l'Algérie redevient exportatrice d'orge. econostrum.inf l'actualité économique en méditerranée. http://www.econostrum.info/
- ✓ Antoine C., Castellon J., Toureille A., Rouau X., & Dissado L. (2004). Comparison of constitutive wheat bran tissues by dielectric spectroscopy and effect of their moisture content. Polymer international, 53(12), 2169-2177.
- ✓ Aron, Patricia M. and Shellhammer, Thomas H., (2010), A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability. Journal of the Institute of Brewing. 2010. Vol. 116, no. 4, p. 369-380. DOI 10.1002/j.2050- 0416.2010.tb00788.x. Wiley-Blackwell
- ✓ Arvalis,(2014). (institut du vegétal bilon de compagne cereales et enseignements pour 2014-2015) : paris Maillot 10-09-2014
- ✓ Asmus KD, Bonifacic M. (2000). Free radical chemistry. In: Sen CK, Packer L, Hanninen O, editors. Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise. Amsterdam: Elsevier: 3-53.
- ✓ Athamena S, Chalghem I, Kassah-Laouar A , Laroui S, Khebri S . (2010). Antioxidant and Antimicrobial activity of cuminumcyminum extracts, Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 1, 2010.
- ✓ Athene M. McDonald,(1998). Environmental Scanning Electron Microscopy - ESEM, Materials World, Vol. 6 no. 7, p. 399-401, July 1998

- ✓ Austin, R.B., Craufurd, P.Q. (1989). The Agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceedings of an International Symposium. Ed. M. Johns, G.Mathys and D. The Ecophysiology of barley Tunis 6-10 Mars; Rijks: 35-57
- ✓ Baldy C., (1993). Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne (diversité génétique et amélioration variétale). Ed. INRA, France, les colloques n° 64. PP 84 – 99.
- ✓ Barron, C., Surget, A., and Rouau, X. (2007). Relative amounts of tissues in mature wheat (Triticum aestivum L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition: Journal of Cereal Science 45: 88-96
- ✓ Barron, C., Samson, M. F., Lullien-Pellerin, V. and Rouau, X., (2011). Wheat grain tissue proportions in milling fractions using biochemical marker measurements : application to different wheat cultivars. Journal of Cereal Science 53, 306-311.
- ✓ Bartnik, M., & Jakubczyk, T. (1989). Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. World review of nutrition and dietetics.
- ✓ Behall, K. M., Scholfield, D. J., Hallfrisch J., 2005. Comparison of hormone and glucose responses of overweight women to barley and oats. Journal of the American College of Nutrition, 24, 182-188.
- ✓ Behall.K, Scholfield.D, Hallfrisch.J,Liljeberg.H(2006) Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women; 20May;29(5):976-81.doi: 10.2337/diacare.295976. PMID: 16644623 DOI: 10.2337/diacare.295976
- ✓ Benguella R, Meziani S, (2022) Caractérisations nutritionnelles, Propriétés antioxydantes des Couches Périphériques de Quelques Espèces de Céréales, THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES Biochimie appliquée
- ✓ Ben Rejeb, K., Abdelly, C., et 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 I., Rekik M., Tounsi A. et Baccar M., (2005). Quantification et sources de variation de la fertilitÈ et de la taille de portÈe des antenaises de la race ovine Barbarine. Dans : Ann de l'INRAT., 78, pp.163-179.
- ✓ Ben Salem, H., Nefzaoui ,A and Ben Salem, L. (2004). Spliness cactus (Opuntia ficus indica f. Intermis) and oldman saltbush (Atriplex nummularia L.) As alternative

supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. Small Ruminant Research 51: 65-73

- ✓ BENBELKACEM A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMED A., HAMOU M. et BOURMEL S. (2002). Etude des performances de quelques vari étés de blé dur (Triticum durum Desf.) cultivés en Algérie. 3ème journées scientifiques sur le blé dur. Constantine. Pp 80-84.
- ✓ Benbelkacem, A. (2013). Rapport national des activités du projet INRAA-ICARDA 2012- 2013.45p
- ✓ Benhamama Loukmane.(2015) : Contribution à l'étude phytochimique et évaluation de l'activité Antioxydante de la plante médicinale Crataegus monogyna
- ✓ Benmahammed A., (2004). La production de l'orge et possibilité de développement en Algérie. Céréaliculture. ITGC El Harrach, 41:34-38.
- ✓ Benzie IFF & Strain JJ (1999) Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. In Methods in Enzymology, vol. 299, pp. 15–27 [L Packer, editor].Orlando, FL: Academic Press
- ✓ Benzie, I.F.F., Strain, J.J., (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Anal. Biochem. 239(1), 70- 76
- ✓ Berger M., (1982). Les lipides du blé tendre. Etat actuel de nos connaissances. Sciences des aliments, 2, 411-450.
- ✓ Bertholdsson N. O. Characterization of malting barley cultivars with more or less stable grain protein content under varying environmental conditions Eur. J. Agron. 1999 10 1 -8
- ✓ Bewley JD. (1997). Seed germination and dormancy. The Plant Cell9,1055–1066.
- ✓ Bhave, M., Morris, C.F. (2008). Molecular genetics of puroindolines and related genes:allelic diversity in wheat and other grasses. Plant Molecular Biology;
- ✓ Biel Wioletta, Slawomir Stankowski, Anna Jaroszewska, Stanislaw Pużyński, Paulina Bośko,(2016) : he influence of selected agronomic factors on the chemical composition of spelt wheat (Triticum aestivum ssp. spelta L.) grain; ournal of Integrative Agriculture 2016, 15(8): 1763–1769, ScienceDirect, Available online at www.sciencedirect.com
- ✓ Biel, W., Bobko, K., Maciorowski, R. (2009). Chemicalcomposition and nutritive value of husked and naked oats grain. Journal of Cereal Science, 49

- ✓ Biel, W., Maciorowski, R., Bobko, K., Jaskowska, I. (2011). Chemical composition and energy value of dwarf oats grain. Italian Journal of Food Science, 23(2), 180–187
- ✓ Bock, M .A. (2000). Minor Constituents of Cereals .Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker 479-504
- ✓ Boizot N., Charpentier J.P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le cahier des techniques de l'Inra : 79-82.
- ✓ Bonjean, A. (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (Triticum aestivum L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21: 29-37.
- ✓ Bothmer, V. R., Sato, K., Knuepffer, H., Hintum, T.V. (2003). Barley diversity – an introduction. In: R. von Bothmer, van Hintum, R., Knuepffer, H., Sato, K., (editors). Diversity in barley (Hordeum vulgare L.). Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands., 9: 3-8.
- ✓ Bouayed J, Djilani A, Rammal H, Dicko A, Younos C, Soulimani R. (2008). Quantitative evaluation of the antioxidant properties of Catha edulis. Journal of Life Sciences. 2:7–14. [Google Scholar]
- ✓ Boubekri C. (2014). Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de Solanum melongena par des techniques électrochimiques. thése de Doctorat en sciences. Université d'El-Oued.
- ✓ Boufenar Z., Zaghouane O., Zaghouane F., (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- ✓ Boufenar Z., Zaghouane O., Zaghouane F., (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- ✓ Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S., (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- ✓ Bourdon I, Wally Y, Paul D, Carol H, Robert B, Diane R,(2018). Réponses postprandiales des lipides, du glucose, de l'insuline et de la cholécystokinine chez les hommes nourris avec des pâtes d'orge enrichies enNLLN-glucane 1, 2. Am J Clinical Nutrition. 69:55–63. doi : 10.1093/ajcn/69.1.55
- ✓ Bouzerzour H. et Benmahammed A., (1993). Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. Rachis, 12 (1) :14 – 19

- ✓ Bowman, J.G.P., Blake, T.K., Surber, L.M.M., et al.(2011). Feed-quality variation in the barley core collection of the USDA national small grains collection. Crop Sci., 41:863–870.
- ✓ Brennan, M., Topp, C., and Hoad, S. (2017b). Variation in grain skinning among spring barley varieties induced by a controlled environment misting screen. *J. Agric. Sci*. 155, 317–325. doi: 10.1017/S0021859616000423 CrossRef Full Text | Google Scholar
- ✓ Briggs D.E. (1998) Malts and Malting, Backie Academic and Professional, 7986 p
- ✓ Briggs, D .E. (1978). The morphology of barley; the vegetative phase, in: Briggs, D. E. (Ed. Eds), Barley. Chapman and Hall Ltd: London1-15
- ✓ Briggs, D.E., Stevens, R., Young, T.W., Hough, J.S. (1981). Malting and Brewing Science: Malt and SweetWort, Volume 1.
- ✓ Brouns, F., Hemery, Y., Price, R., Anson, N.M., (2012). Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 52,553–568. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.589540
- ✓ Brouns, F., Hemery, Y., Price, R., Anson, N.M., (2012). Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 52,553–568. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.589540
- ✓ Bubonja-Sonje M, Giacometti J, Abram M. (2011). Antioxidant and antilisterial activity of olive oil, cocoa and rosemary extract polyphenols. Food Chemistry, 127: 1821–1827.
- ✓ Burny P.h., (2011). Production et commerce mondial en céréales en 2010/2011. Livre blanc « céréales » ULG Gembloux, Agro. Bio. Tech et CRA, pp. 2-12.
- ✓ Calderini, D.F., Reynolds, M.P., Slafer, G.A., (1999). Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth PressInc., New York, pp: 351–377
- ✓ Carvalho, D.O.; Curto, A.F.; Guido, L.F.(2015). Determination of phenolic content in different barley varieties and corresponding malts by liquid chromatography-diode array detection-electrospray ionization tandem mass spectrometry. Antioxidants., 4, 563-576.
- ✓ CASTRO-ALBA, V., LAZARTE, C. E., PEREZ-REA, D., CARLSSON, N.-G., ALMGREN, A., BERGENSTÅHL, B. et GRANFELDT, Y., (2019). Fermentation of pseudocereals

quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. Journal of the Science of Food and Agriculture.

- ✓ Ceccarelli S., Grando S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H., Nachit M. (2010) : Plant breeding and climate changes. J. Agric. Sci., Cambridge, 148: 627-637
- ✓ Chalamacharla, R.B., Harsha, K., Sheik, K.B.,Viswanatha, C.K. (2018). Wheat bran-composition and nutritional quality: a review. Advances Biotechnology & Microbiology, 9 (1), 555754 10.19080/AIBM.2018.09.555754
- ✓ Chen K, Roca M. (2018). In vitro bioavailability of chlorophyll pigments from edible seaweeds. J Funct Foods. 2018;41:25–33. doi: 10.1016/j.jff.2017.12.029. [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ CHIARA C., ET MARIA V., (2014) : Chapter Five - Genetic Control of Reproductive Development in Temperate Cereals, In: Fabio Fornara, Editor(s), Advances in BotanicalResearch, Academic Press, Volume 72, Pages 131-158.
- ✓ COBAN, H. B. et DEMIRCI, A., (2017). Chapter 2 - Phytase as a diet ingredient : from microbial production to its applications in food and feed industry. In : Microbial Production of Food Ingredients and Additives [en ligne]. Academic Press. pp. 33‑55. Handbook of Food Bioengineering. [Consulté le 27 septembre 2019]. ISBN 978-0-12-811520-6.
- ✓ Cordain L., (1999). Cereal Grains: Humanity's Double-Edged Sword, In: Simopoulos A., evolutionary Aspects of Nutrition and Heath, Diet, Exercise, Genetics and Chronic Disease, World. Rev Nutr Diet, 84, p.19-73
- ✓ Cosgrove D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. *Nature reviews molecular cell biology*, *6*(11), 850-861
- ✓ Cosgrove DJ. (2005) Growth of the plant cell wall. Nature Review Molecular Cell Biology, 6, 850-861.
- ✓ Cieslik, E.,Pisulewska, E.,Witkowicz, R, et coll. . (2017).Évaluation de l'impact de divers niveaux de technologie agricole sur la teneur en cendres et en minéraux du grain de certains cultivars d'orge de printemps.Journal d'élémentologie,22(1):195–207.
- ✓ Daayf, F., & Vencenzo, L. (2008). Récent Advances in Polyphenol Research. Ed Blackwell Publishing .USA, 2-22-23-68-74-233.-

- ✓ Dai, F., Qiu, L., Xu, Y., Cai, S., Qiu, B. and Zhang, G., (2010). Differences in phytase and phytic acid content between cultivated and tibetan annual wild barleys. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58, 11821-11824.
- ✓ Dandjlessa.J, Zossou.N, Ezin.B, Djenontin.A, (2022) Facteurs de développement des plantes invasives dans les systèmes agricoles au Bénin et implications pour une gestion durable : Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 10(1) (Mars 2022) 55-59
- ✓ Daas Amiour, O. Alloui-Lombarkia, F. Bouhdjila, A. Ayachi, L. Hambaba : Phytothérapie (2014), Étude de l'implication des composés phénoliques des extraits de trois variétés de datte dans son activité antibactérienne 12:135-142 Springer-Verlag France 201 DOI 10.1007/s10298-014-0843-9
- ✓ DC; Abdel-Aal, ESM ; Rabalski, I.; Nakamura, T.; Hucl, P.(2009) Développement de la couleur du grain et héritage de l'aleurone bleue à haute teneur en anthocyanine et du péricarpe violet chez le blé de printemps (Triticum aestivum L.). J. Cereal Sci., 50 , 113–120
- ✓ De Arcangelis E., Messia MC, Marconi E.(2019). Variation des profils de polysaccharides dans les grains en développement de différents cultivars d'orge. J. Cereal Sci; 85 : 273–278. doi : 10.1016/j.jcs.2018.12.008. [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ DELCOUR JA., ROUAU X., COURTIN CM., POUTANEN K ., RANIERI R, (2012). Technologies for better exploitation of the health potential of cereals. Trends Food Sci. Technol.; 25:78-86. doi: 10.1016/j.tifs.2012.01.007,[CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ Desjardin Y (2008). Physiological and ecological functions and biosynthesis of healthpromoting compounds in fruit and vegetables. Improving the health-promoting properties of fruit and vegetable products. Tomas-Barberan, F. A.Gil, M. I.Cambridge, UK. New York, USA, Woodhead publishing limited CRC press: 201-247.
- ✓ DEXTER, J. E. and MATSUO, R. R. (1977). The spaghetti-making quality of developing durum wheats. Can. J. PlantSci.5T:7-16.
- ✓ DIOUF PN. MERLIN A., PERRIN D,(2016). Antioxidant properties of wood extracts and colour stability ofwoods. Annals of Forest Science. 63 : 525-534.
- ✓ Djenane A, (2011). La dépendance alimentaire : un essai d'analyse. Confluences Méditerranée, vol 2, N°81, p. 117-131.
- ✓ Do Q.; Angkawijaya, A.; Tran-Nguyen, P.; Huynh, L.; Soetaredjo, F.; Ismadji, S.; Ju, Y. (2014). Effect of ExtractionSolvent on Total Phenol Content, Total Flavonoid

Content, and Antioxidant Activity of Limnophila Aromatica.J. Food Drug Anal, 22, 296–302. DOI:10.1016/j.jfda.2013.11.001

- ✓ Dodig D., Kandi V., Zori M., Nikoli-Dori E., Nikoli A., Mutavdži B., Perov D., Šurlan-Momirovi G.(2018). Comparative kernel growth and yield components of two- and six-row orge (Hordeum vulgare) sous sécheresse terminale simulée par défoliation. Culture. Pâturage Sci. ; 69 :1215–1224. doi : 10.1071/CP18336.
- ✓ Dorais M., & Ehret D. L. (2008). Agronomy and the nutritional quality of fruit. *Improving the health-promoting properties of fruit and vegetable products*, 346-391.
- ✓ Dorais M., & Ehret D. L. (2008). Agronomy and the nutritional quality of fruit. Improving the health-promoting properties of fruit and vegetable products, 346-391.p. S330-375.
- ✓ DSA (2009) - Bilan technique et statistique agricole de la wilaya de Sidi-Bel-Abbès. Rapport de la Direction des Services Agricoles, Alger, 137 p.Dunod Paris. dur (Triticum durum) . Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1997-1998, n°21, pp. 81-87.
- ✓ Dvořáková, M.; Guido, L.F.; Dostálek, P.; Skulilová, Z.; Moreira, M.M.; Barros, A.A. Antioxidant properties of free, soluble ester and insoluble-bound phenolic compounds in different barley varieties and corresponding malts. J. Inst. Brew. 2008, 114, 27–33. [Google Scholar] [CrossRef]
- ✓ Dykes, L.;(2007). Rooney, L.W. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. Cereal Foods World, 52, 105–111.
- ✓ Echelle de Feekes, (1954). Classement Rev2. Agr1. (1984).
- ✓ Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M.A., Barclay, D., Hurrell, R. (2003). Phytic acid degradation in complementary foods using phytase naturally occurring in whole grain cereals. Journal of Food Science, 68 (5),1855-1859
- ✓ Egli DB (2006). Le rôle des semences dans la détermination du rendement des cultures céréalières. Aust. J. Agric. Rés. ; 57 :1237–1247. doi : 10.1071/AR06133. [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ EUFIC (2009). Fiche d'information : les céréales complètes. Version électronique disponible sur : http://www.eufic.org/arti- cle/fr/expid/cereales-completes/
- ✓ Evers A, D., Blakeney, A .B., O'Brien, L. (1999). Cereal structure and composition. Australian Journal of Agricultural Research 50, 629-650

- ✓ Evers A. D., & Bechtel D. B. (1988). Microscopic structure of the wheat grain. Wheat: chemistry and technology. Volume I., (Ed. 3), 47-95.
- ✓ Fabri A., & Pion S. (2009). CGAL: The computational geometry algorithms library. In Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems (pp. 538-539).
- ✓ Faerber .j : (2004). Microscopie électronique à balayage, microanalyse X par sonde électronique
- ✓ Fallah H,ksouri R, chaieb k,bouraoui N,trabelsi N,boulaaba M, abdelly c(2008), phenolic composition of cumera cardunculus L.Organs, and their biological activities , comptes rendus biologies 331(5);372-379
- ✓ FAO (2022), Perspectives de récolte et situation alimentaire n° 1, mars 2022 (fao.org)
- ✓ FAO Stat., (2015). Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Available at http : //faostat 3. Fao. Org/.
- ✓ FAO, FIDA, UNICEF, PAM et OMS (2021), L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2021 – Transformer les systèmes alimentaires pour que la sécurité alimentaire, une meilleure nutrition et une alimentation saine et abordable soient une réalité pour tous, FAO, Rome.
- ✓ Faostat, (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nation. http://www.fao.org/faostat/en/#data2019
- ✓ FAOSTAT. (2018). Production database from the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/
- ✓ FARDET A., ROCK E ., RÉMÉSY C ,(2008). Is in vitro antioxidant potential of whole grain cereals and cereals products well reflected in vivo? Journal of Cereal Science 48, 258-276.
- ✓ Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health protective mechanisms of whole grain cereals: what is beyond fiber? Nutrition Research Reviews, 23,65–134. https://doi.org/10.1017/S0954422410000041
- ✓ Favier, A. (2003). Oxidative stress Conceptual and experimental interest in understanding disease mechanisms and therapeutic potential. Review. L'actualité chimique-November: 108-115
- ✓ Feillet P., (2000). Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308 p
- ✓ Fichier canadien sur les éléments nutritifs, (2010). Santé Canada. Disponible Sur : <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/cnf_aboutus aproposdenous_fcen-fra.php> (Consulté le 07 Avril 2015).

- ✓ Fincher, G.B., Stone, B.A. (1986). Cell walls and their components in cereal grain technology. Advances in Cereal Science and Technology, 8, 207-295
- ✓ FLATEN O., BAKKEN K., RANDBY T., (2015) : The profitability of harvesting grass silages at early maturity stages: An analysis of dairy farming systems in Norway, Agricultural Systems, Volume 136, Pages 85-95.
- ✓ Fou.; Li, Y.; Zhang, J.; Wang, C.; Qin, H.; Ding, H.; Xie, Y.; Guo, T. (2016) Accumulation de composés phénoliques et profils d'expression de gènes liés à la biosynthèse des acides phénoliques dans le développement de grains de blé blanc, violet et rouge. Devant. Usine. Sci.,7 , 528. [Google Scholar] [CrossRef]
- ✓ Fraga, C.G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. Mol. Aspects Med 26, 235–244. DOI: 10.1016/j.mam.2005.07.01
- ✓ Frances, M.D., William, J.H., William, H.V., Charlene, T., Kerry, M.K., Okkyung, K.C., Susan, B.A. (2006). Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and High temperature. European Journal of Agronomy, 25(2), 96-107 https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.003
- ✓ Fredlund, K., Isaksson, M., Rossander-Hulthén, L., Almgren, A., Sandberg, A.S. (2006). Absorption of zinc and retention of calcium: Dose-dependent inhibition by phytate. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 20, 1, 49-57 https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2006.01.003
- ✓ Fukumoto, L.R., Mazza, G., (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic Compounds, *J. Agric. Food Chem.* 2000, 48, 8, 3597–3604 : Publication Date:July 6, 2000 https://doi.org/10.1021/jf000220w Copyright © Published 2000 by the American Chemical Society
- ✓ Galati, A., Oguntoyinbo, F. A., Moschetti, G., Crescimanno, M., and Settanni, L. (2014). The Cereal Market and the Role of Fermentation in Cereal-Based Food Production in Africa. Food Reviews International 30(4): 317–337.
- ✓ GATE P., (1995) : Ecophysiologie du blé ED Tec Doc Lavoisier, Paris. 429p.
- ✓ Gee J.M and Johnson I.T., (2001). Polyphenolic compounds : Interactions with the Gut and Implications for Human Health . Current Medicinal Chemistry 8(11):1245-55 DOI:10.2174/0929867013372256
- ✓ Genomic Resources for Grain Cereals Improvement, edited by Mohar Singh and Hari D.Giban, M., Minier, B., Malvosi, R. (2003). Stades du blé ITCF.ARVALIS. Institut du végétale.

- ✓ Gardès-Albert, M., Bonnefont-Rousselot, D., Abedinzadeh, Z., & Jore, D. (2003) : Espèces Réactives de l'oxygène. L'actualité chimique ; 91.
- ✓ Glenn Vagn ., Arissa ,J.(2007). Res. Sci. Comp. Eng 4(2):19-22
- ✓ GODON, B. WILLM, C (1998) : Industrie des premières transformations des céréales, Tec et doc, Lavoisier. Paris
- ✓ GODON, B. WILLM, C (1998) : Industrie des premières transformations des céréales, Tec et doc, Lavoisier. Paris.
- ✓ Gómez-Caravaca, A.M.; Maggio, R.M.; Cerretani, L.(2016): Chemometric applications to assess quality and critical parameters of virgin and extra-virgin olive oil. A review. Anal. Chim. Acta, 913, 1–21.
- ✓ Grando Stefania, Helena Gomez Macpherson, (2005). Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge, ICARDA
- ✓ Grennan AK (2006): High Impact Abiotic Stress in Rice. An "Omic' Approach; Plant Physiology, April 2006, Vol. 140, pp. 1139–1141
- ✓ Grignac, P. (1981). Rendement et composantes du rendement du blé d‟hiver dans l‟environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie), pp. 185-194.
- ✓ Griffey C., Brooks W., Kurantz M., Thomason W., Taylor F., Obert D., Moreau R., Flores R., Sohn M., and Hicks K. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production J. Cereal Sci. 2010 51 41 -49
- ✓ Grupiv's Blog. (2016). Método DPPH. [online] Available at:https://grupiv.wordpress.com/2009/11/03 metodo-dpph.https://grupiv.wordpress.com/2009/11/03/metodo-dpph
- ✓ GUAADAOUI A., BENAICHA S., ELMAJDOUB N., BELLAOUI M., HAMAL A , (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. Int. J. Nutr. Food Science. 3, 174-179. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140303.16.
- ✓ Guide MEDAD - Diagnostics de Site – Annexe G : Choix d'un laboratoire - Version du08/02/07 »
- ✓ Gueye P.M. (2007). Phénotypes majeurs de l'haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l'hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge. Thèse de doctorat, spécialité : Biochimie, université Louis Pasteur-Strasbourg I. Institut Gilbert Laustriat. UMR CNRS 7175-LC1-Faculté de Pharmacie. France.(244 pages)
- ✓ Hajji, T.; Mansouri, S.; Vecino-Bello, X.; Cruz-Freire, JM; Rezgui, S.; Ferchichi, A.(2018). Identification et caractérisation des composés phénoliques extraits des cosses d'orge par LC-MS et activité antioxydante in vitro. J. Cereal Sci.

- ✓ Guignard, J. L. (1996). Abrégé de biochimie végétale. Edition Masson, Paris, p 160.
- ✓ Hakimi M., (1993). L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium (6 - 10 march 1989, Tunis). Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D. 157 – 166p.
- ✓ Hamou M., Labdi M., Hamdi S., (2009). Problématique de la céréaliculture et perspectives de développement. Actes de l'atelier régional sur la recherche scientifiques et le développement de l'agriculture, Mostaganem, pp 8-15
- ✓ Hariri A. R., Goldberg T. E., Mattay V. S., Kolachana B. S., Callicott J. H., Egan M. F., & Weinberger D. R. (2003). Brain-derived neurotrophic factor val66met polymorphism affects human memory-related hippocampal activity and predicts memory performance. *Journal of Neuroscience*, *23*(17), 6690-6694.
- ✓ Harsha, A. Sharmaa, Y.K. Joshia,U. Rampuriaa, S. Singha, G.Kumarb, S. Sharmaa, R. (2016). Effect of short-term heat stress on total sugars, proline and some antioxidant enzymes in moth bean (Vigna aconitifolia). Ann. Agric. Sci. 61 (1):57-64.
- ✓ Hemery, Y., Holopainen, U., Lampi, A. M., Lehtinen, P., Nurmi, T., Piironen, V., Edelmann, M. andRouau, X., (2011). Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part II: Electrostatic separation of particles. Journal of Cereal Science 53, 9-18
- ✓ Hernández L., Afonso D., Rodríguez E.M. (2011). Phenolic compounds in wheat grain.
- ✓ Höije, A., M. Gröndahl, K. Tømmeraas and P. Gatenholm (2005). "Isolation and characterization of physicochemical and material properties of arabinoxylans from barley husks." Carbohydrate Polymers 61(3): 266-275. http://sciences-physiques.ac montpellier.fr/ABCDORGA/Famille4/VITAMINES.htm.
- ✓ Hole, A.S.; Grimmer, S.; Jensen, M.R.;(2012). Sahlstrøm, S. Synergistic and suppressive effects of dietary phenolic acids and other phytochemicals from cereal extracts on nuclear factor kappa B activity. Food Chem., 133, 969–977.
- ✓ HOLLOWAY P.J., ET 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
- ✓ Holtekjølen A. K., Uhlen A. K., Bråthen E., Sahlstrøm S., and Knutsen S. H. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin Food Chem. 2006 94 348 -358

- ✓ HOPKINS W.G., (2003). Physiologie végétale. Traduction de la 2 eme édition américaine par Hortolà,P. « Using digital colour to increase the realistic appearance of SEM micrographs of bloodstains », Micron, vol. 41, no 7, 2010, p. 904–908 (PMID 20638857, DOI 10.1016/j.micron.2010.06.010).
- ✓ Hortolà,P(2010). « Using digital colour to increase the realistic appearance of SEM micrographs of bloodstains », *Micron*, vol. 41, n° 7, p. 904–908 (PMID 20638857, DOI 10.1016/j.micron.2010.06.010).
- ✓ Hosseinian, F.S., Mazza, G.(2009). Triticale bran and straw: potential new sources of phenolic acids, proanthocyanidins, and lignans. Journal of Functional Foods I, 57e64 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115206000027
- ✓ Hua, L., Xiaoyu, W., Peihong, L., Yong, L., Hua, W., (2008). Comparative Study of Antioxidant Activity of Grape (Vitis vinifera) Seed Powder Assessed by Different Methods. J. Food Drug Analysis, 16 (6), 67-73.
- ✓ Huang D., OuB. and Prior R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays.J of Agr Food chem.53:1841-1856
- ✓ Idehen, E., Tang, Y., Sang, S. (2017). Composés phytochimiques bioactifs dans l'orge.J. Food Drug Anal., 25 (1), 148–161. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002
- ✓ INRA, (2002). Agriculture durable : agir pour les générations futures. Une exposition INRA 2002. Dossiers scientifiques
- ✓ IRMA N. R., CINTIA G. V., MARIA V C., ANA S., ESTER S., CARLA C., (2017) : Identification and expression analysis of 11 subtilase genes during natural and induced senescence of barley plants, Journal of Plant Physiology, Volume 211, April 2017, Pages 70-80.
- ✓ ISO 2171(2007) Céréales, légumineuses et produits dérivés - Dosage du taux de cendres par incinération
- ✓ Ivanisova E., Ondrejovic M., Silhar S. (2012). Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals. Nova Biotechnologica ET Chimica 11-1: 45-54.
- ✓ Izydorczyk, M.S., J. Storsley, D. Labossiere, A.W. MacGregor, B.G. Rossnagel. (2000). Variation in total and soluble b-glucan content in hulless barley: effects of thermal
- ✓ Jacquard C., (2007). Embryogenèse pollinique chez l'orge (Hordeum vulgare L.): Importance du prétraitement. Thèse Doctorale. Université des Sciences exactes et naturelles de Reims. Champagne-Ardenne. France. 210 pages.

- ✓ Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brulé G., (2007). Science des aliments :Biochimie- Microbiologie-Procédés-Produits. V2.Technologie des produits alimentaires. 191-196
- ✓ Jeremy Burgess, Under the Microscope (1987). A Hidden World Revealed, CUP Archive, (ISBN 0-521-39940-8, lire en ligne [archive]), p. 11.
- ✓ JESSICA G., SHEPHERD., WOLFRAM B., SARAN P., SOHI., KATE V. H.,(2017) :Bioavailability of phosphorus, other nutrients and potentially toxic elements from marginal biomass-derived biochar assessed in barley (Hordeum vulgare) growth experiments, Science of The Total Environment, Volumes 584–585, Pages 448-457.
- ✓ Jilal, A. (2011). Assessment of genetically diverse international barley germplasm for development of food product applications. PhD. Thesis: Southern Cross University, Lismore, NSW
- ✓ JOCHEN K., ET NILS S., (2014): Biotechnological approaches to barley improvement, In: Biotechnology in Agriculture and Forestry 69, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- ✓ Jones J.R., Lineback D.M., Levine M.J., (2006). Dietary reference intakes: implications for fiber labeling and consumption: a summary of the International Life Sciences Institute North American FiberWorkshop, June 1-2.Washington, DC. Nutri. Rev. 64, 31-38.
- ✓ Kartashov, A.V. Radyukina, N.L. Ivanov, Y.V. Pashkovskii, P.P. Shevyakova, N.I. Kuznetsov, V.V. (2008). Role of antioxidant systems in wild plant adaptation to salt stress. Russ J Plant Physiol. 55: 463–468.
- ✓ KELEN M., BEKTAS T, (2008). Chemical composition, antioxydant and antimicrobial properties of essential oils of three Salvia species from Turkish flora. Bio resources technology, 99: 4096-4104.
- ✓ Khan, M.S., Yu, X., Kikuchi, A., Asahina, M. (2009). Genetic engineering of glycine betaine biosynthesis to enhance abiotic stress tolerance in plants. Plant Biotechnology, 26, 125-13 https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.26.125
- ✓ Khelfallah A, (2013). Comparative study of phenolic content and antioxidant power of some medicinal plants and food grains. Thesis of magister. University of Constantine
- ✓ Kim, H., Stokes, K.S., Behall, K.M., Spears, K., Vinyard, B., Conway, J.M. (2009). Glucose and insulin responses to whole grain breakfasts varying in soluble fiber,β-glucan. European Journal of Nutrition, 48(3), 170-175 https://doi.org/10.1007/s00394-009-0778-3

- ✓ . Knievel, DC; Abdel-Aal, ESM ; Rabalski, I.; Nakamura, T.; Hucl, P.(2009) Développement de la couleur du grain et héritage de l'aleurone bleue à haute teneur en anthocyanine et du péricarpe violet chez le blé de printemps (Triticum aestivum L.). J. Cereal Sci. , 50 , 113–120.
- ✓ Koehler P. et Wieser. H., (2013). Chemistry of cereal grains. In: Handbook on Sourdough Biotechnology. Springer US, 2013. p. 11-45.
- ✓ Konietzny, U., and R. Greiner. (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). Int. J. Food Sci. Technol. 37:956–961
- ✓ Kuczynska, UN.,Cardénia, V,Ogrodowicz, P, et coll. . (2019).Effets de multiples stress abiotiques sur le profil des lipides et des stérols dans les feuilles d'orge (Hordeum vulgare L.).Physiologie et biochimie végétales,141:215–224.
- ✓ Kumar V, Sharma A, Kohli SK, Bali S, Sharma M, Kumar R, Bhardwaj R, Thukral AK.(2019) Differential distribution of polyphenols in plants using multivariate techniques. Biotechnology Research and Innovation.;3(1):1—21.
- ✓ KUMAR, V. et SINHA, A. K., (2018). Chapter 3 - General aspects of phytases. In : Enzymes in Human and Animal Nutrition [en ligne]. Academic Press. pp. 53‑72. [Consulté le 27 septembre 2019]. ISBN 978-0- 12-805419-2. Disponible à l'adresse : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128054192000034
- ✓ KUMAR, V., SINHA, A. K., MAKAR,A.,BOECH,D.G.(2011). Phytate and phytase in fish nutrition: A Review. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. January 2011J Anim Physiol a Anim Nutr DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01169.x
- ✓ KUMAR, V., SINHA, A. K., MAKKAR, H. P. S. et BECKER, K., (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition. Food Chemistry. 2010. Vol. 120, n° 4, pp. 945‑959. DOI 10.1016/j.foodchem.2009.11.052.
- ✓ Kumlehn, J., Stein, N. (2014). Biotechnological approaches to barley improvement. Springer, Berlin. L'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien.l'Université de Toulouse. labelling and consumption: a summary of the International Life Sciences Institute
- ✓ Kunze, Wolfang. (2014). Technology Brewing and Malting. 5th editio. ed. Berlin: VLB. l'Ingénieur, F6200
- ✓ LACHMAN J., MARTINEK P., KOTIKOVA Z., ORSÁK M., ŠULC M, (2017). Genetics and chemistry of pigments in wheat grain -A review. J. Cereal Sci. 74, 145-154. Doi: 10.1016/j.jcs.2017.02.007.

- ✓ LAKSHMI K., SHEPHALIKA A., ET BANISETTI K., (2016) : Barley, In Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement, edited by Mohar Singh and Hari D. Upadhyaya, Academic Press, San Diego, Pages 125-157.
- ✓ Laskowski, W., Gorska-Warsewicz, H., Rejman, K., Czeczotko, M., Zwolinska, J. (2019). How important are cereals and cereal products in the average polish diet? Nutrients; 11(3), 679En ligne
- ✓ Lásztity, R. (1995). La Chimie des Protéines de Céréales. 2e édition, CRC Press. ETATS-UNIS. Google Scholar
- ✓ Latta M; Eskin M.(1980). A Simple and Rapid Colorimetric Method for Phytate Determination.J. Agric. Food Chem 28, 1313–1315. DOI: 10.1021/jf60232a049
- ✓ LAZARTE, C. E., CARLSSON, N.-G., ALMGREN, A., SANDBERG, A.S. et GRANFELDT, Y., (2015). Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability. Journal of Food Composition and Analysis. 2015. Vol.39, pp.111‑119.
- ✓ LEVITAN EB., COOK NR., STAMPFER MJ., RIDKER PM., REXRODE KM., BURING JE., MANSON JE ., LIU S, (2008). Dietary glycemic index, dietaryglycemic load, blood lipids, and C-reactive protein. Metabolism 2008; 57:437e43,
- ✓ Linden, G. & Lorient, D. (1994). Biochimie agro-industrielle. (. Ed. Masson. p 367
- ✓ Liu Q., Yao H. (2007). Antioxidant activities of barley seeds extracts. Food Chemistry 102: 732-737.. doi : 10.1016/j.foodchem.2006.06.051
  Texte intégral de la référence croisée | Google Scholar
- ✓ Lookhart George and Bean Scott, (1995). Separation and Characterization of Wheat Protein Fractions by High-Performance Capillary Electrophoresis. Cereal Chem. 72(6) :527-532
- ✓ Lorz H, (2003).Science de l'orge : avancées récentes de la biologie moléculaire à l'agronomie du rendement et de la qualitéSciences végétales,165(1):283.
- ✓ Loss SP, Kirby EJM, Siddique KHM, Perry MW.(1989). Croissance et développement des grains des blés australiens anciens et modernes. Culture de plein champ. Rés; 21 :131–146. doi : 10.1016/0378-4290(89)90049-X. [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry 193: 265–275.
- ✓ MACHEIX J J., FLEURIET A., BILLOT J,(1990). Fruit phenolics, CRC press, Boca Roton. In: theSarni-Manchado P, Cheynier V. Tec and Doc Lavoisier-Paris,

- ✓ MACHEIX J.J., FLEURIET A. et SARNI-MANCHADO P. (2006). Les composés phénoliques dans la plante : structure, biosynthèse, répartition et rôles. In: Cheynier V, Sarni-Manchado P Les polyphénols en agroalimentaire. Tec & Doc Lavoisier. Paris.
- ✓ MADR (2017) Base de données – Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Informations - www.minagri.dz
- ✓ Maggio, A. McCully, M.G. Kerdnaimongkol, K. Bressan, R.A. Hasegawa, P.M. Joly, R.J. (2002). The ascorbic acid cycle mediates signal transduction leading to stress-induced stomatal closure. Funct. Plant Biol. 29: 845-852.
- ✓ Mahood H. E. (2021). Estimation of essential elements and mineral in Catharanthus roseus and its biological importance as a medicinal plant. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, *22*(25), 1-7.1.
- ✓ MAILLAR MN. BILLAUD C., CHOW YN. ORDONAU C., NICOLAS J, (2007). Free radical scavenging inhibition of polyphenoloxidase activity and cooper chelating properties of model Maillard ystems. LWT - Food Sci,
- ✓ Malki M., Hamadache A., (2002). Pratique céréalière et savoir traditionnel en Algérie : analyse du proverbe populaire relatif à la pratique céréalière à la lumière des sciences agronomiques modernes. I.T.G.C. 65 p.
- ✓ Mamyrbékova-Békro J. A., Konan K.M., Békro Y. A., Djié Bi M.G., Zomi Bi T. J., Mambo V. Mandelker, L., (2008). Introduction to oxidative and mitochondrial dysfunction. Vet Clin: Small Anim Practice. f. r. Oxidative stress: the role of mitochondria, and antioxidants, Elsevier Inc. 38: 1-30.
- ✓ Mandelker, L., (2008). Introduction to oxidative and mitochondrial dysfunction. Vet Clin: Small Anim Practice. f. r. Oxidative stress: the role of mitochondria, and antioxidants, Elsevier Inc. 38: 1-30.
- ✓ Mansouri I., &Bousbia Salah M. (2018). Contribution à l'étude anatomiques des paramétrés d'adaptation des plantes spontanées du Sahara septentrional Algériennes
- ✓ Marion J.E., Woodroof J.G.(1996). Composition and stability of broiler carcasses asfected by dietary protein and fat. Poultryscience. 45; 241-247
- ✓ Mariona Martínez-Subirà , Marian Moralejo , Eva Puig , María-Paz Romero , Roxana Savin et Ignacio Romagosa (2021) , Impact de l'augmentation sur les schémas de dépos des composés bioactifs dans les grains d'orge alimentaire cultivés au champ ; plantes (Bale), 10(3): 598. Publié en ligne le 22 mars . doi: 10.3390/plants10030598 PMCID : PMC8004944 PMID : 33810185

- ✓ Marlett JA, McBurney MI, Slavin JL., (2002). Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. J Am Diet Assoc; 102(7):993-1000.
- ✓ Marston A., & Hostettmann K. (2006). Developments in the application of counter-current chromatography to plant analysis. *Journal of Chromatography A*, *1112*(1-2), 181-194.
- ✓ Masisi K., Beta T., (2016). Antioxidant properties of Moghadasian MH from various cereal grains: a review of in vitro and in vivo studies. Food Chem.; 196: 90-97. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.021. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ McCallum, J.A.; Walker, J.R. (1991). Phenolic biosynthesis during grain development in wheat (Triticum aestivum L.) III. Changes in hydroxycinnamic acids during grain development. J. Cereal Sci., 13, 161–172
- ✓ McKeown NM, Yoshida M, Shea MK, Jacques PF, Lichtenstein AH, Rogers G, et al.(2009) Whole-Grain Intake and Cereal Fiber Are Associated with Lower Abdominal Adiposity in Older Adults. J Nutr. oct;139(10):1950-5.
- ✓ Menad A., N. Meziani, H. Bouzerzour, A. Benmahammed. (2011). Analyse de l'interaction génotype × milieux du rendement de l'orge (Hordeum vulgare L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. Nature &Technologie, 51: 99 -106. Method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), pp.25-30.
- ✓ Merghem R. (2009). Eléments de biochimie végétale. Edition Bahaeddine
- ✓ Meziani S., Nadaud I., Gaillard-Martinie B., Chambon C., Benali M., & Branlard G. (2012). Proteomic analysis of the mature kernel aleurone layer in common and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, *55*(3), 323-330.
- ✓ Meziani S., Nadaud I., Gaillard-Martinie B., Chambon C., Benali M., & Branlard G. (2012). Proteomic analysis of the mature kernel aleurone layer in common and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, *55*(3), 323-330.
- ✓ Meziani S., Nadaud I., Tasleem-Tahir A., Nurit E., Benguella R., & Branlard G. (2021). Wheat aleurone layer: A site enriched with nutrients and bioactive molecules with potential nutritional opportunities for breeding. Journal of Cereal Science, 100, 103225.
- ✓ Molyneux, P., (2004). The use of stable free radical diphenylpicrilhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity: Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(2) : 211-219

- ✓ Momayezi, M.R. Zaharah, A.R. Hanafi, M.M. Razi, M.I. (2009). Seed germination and proline accumulation in rice (Oryza sativa L.) as affected by salt concentrations. Pertanika J Trop Agric Sci. 32 (2) : 247-256
- ✓ Monterrey, Donterrey. (2016). Cereals: Dietary Importance. Encyclopedia of Food and Health. Elsevier Ltd
- ✓ Moore, K.L., Zhao, F.J., Gritsch, C.S., Tosi, P., Hawkesford, M.J., McGrath, S.P., Shewry, P.R., Grovenor, C.R.M. (2012). Localisation of iron in wheat grain using high resolution secondary ion mass spectrometry. Journal of Cereal Science, 55, 183–187. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.11.00
- ✓ Muir, J.G., Elaine, G.W., Keogh, J., Pizzey, C., Bird, A.R., Sharpe, K. (2004). Combining wheat bran with resistant starch has more beneficial effects on fecal indexes than does wheat bran alone. The American Journal of Clinical Nutrition, 79, 1020-1028 https://doi.org/10.1093/ajcn/79.6.1020
- ✓ Nair, S., Knoblauch, M., Ullrich, S., Baik, B.K. (2011). Microstructure of hard and soft kernels of barley. Journal of cereal science; volume 54, issue 3, page 354-362
- ✓ NEMMAR M. (1983). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (Triticum durum Desf.) et de blé tendre (Triticum aestivum L.) ; Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse Docteur Ingénieur Sciences Agronomiques. ENSAM, 142 p.
- ✓ OECD (2004) Consensus document on compositional considerations for new varieties of barley (Hordeum vulgare L.): Key food and feed nutrients and anti-nutrients. Report No: 12, Environment Directorate, OECD, Paris.
- ✓ Olsen OA,(2004): Nuclear endosperm development in cereals and Arabidopsis thaliana. Plant Cell; 16 (Suppl):S214–S227.
- ✓ Orphanides, A.; Goulas, V.; Gekas, V. (2013). Effect of drying method on the phenolic content and antioxidant capacity of spearmint. Czech J. Food Sci. 31, 509–513.
- ✓ Osada Y, takayuki shibanoto. (1986). Antioxidative activity of volatile extracts from Maillard model systems. 2006Food Chemistry 98(3):522-528 DOI:10.1016/j.foodchem.2005.05.084
- ✓ Otles S., Cagindi O. (2006). Aliments fonctionnels et nutraceutiques foods and nutraceuticals. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 5 : 107-112.
- ✓ Özkaya, B.; Turksoy, S.; Özkaya, H.; Baumgartner, B.; Özkeser, İ.; Köksel, H.(2018). Changes in the functional constituents and phytic acid contents of firiks produced from

wheats at different maturation stages. Food Chem., 246, 150–155. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

- ✓ Padalia S, Drabu S, Raheja I, Gupta A, Dhamija M.(2010). Multitude potential of wheatgrass juice (Green Blood): an overview. Chron Young Sci; 1:23–28. [Google Scholar]
- ✓ Palmer, G.H. (1989), Cereals in malting and brewing, Cereal Science and Technology, éd. Aberdeen University Press, p 61
- ✓ Panfili G., Fratianni A. et Irano M., (2003). Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 51, N°14, p. 3940-3944.
- ✓ Pang Y., Ahmed S., Xu Y., Beta T., Zhu Z., Shao Y., Bao J. (2018). Composés phénoliques liés et propriétés antioxydantes des grains entiers et du son de riz blanc, rouge et noir. Chimie alimentaire. 240:212-221. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.095. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]Physiology 35: 299-319.
- ✓ Pierre Feillet (2000). Le Grain de blé: composition et utilisation, Editions. Quae, P 124-128. Pp 68. production agricole. Ind. Alim. Et Biologiques. éd. Masson. pp. 70-80.
- ✓ Popineau Y., (1985). Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines des céréales in : B. Godon, protéines végétales, Tec. Doc. Lavoisier, APRIA, Paris, pp. 161-210
- ✓ Prakash, D., Upadhyay, G., Singh, B. N., & Singh, H. B. (2007). Antioxidant and free radical-scavenging activities of seeds and agri-wastes of some varieties of soybean (Glycine max). Food Chemistry. 104(2):783-790.
- ✓ Prior RL, Wu X, Schaich K (2005) Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. J Agric Food Chem 53(8):3101–3113.
- ✓ Qiu, H., Nadaud, I., Ledoigt, G., Piquet- Pissaloux, A., Branlard, G. (2016). Interruption of magnesium supply at heading influenced proteome of peripheral layers and reduced grain dry weight of two wheat (Triticum aestivum L.) genotypes. Journal of Proteomics, 143, 83–
- ✓ Qamar A, Mysore KS, Senthil-Kumar M. (2015). Role of proline and pyrroline-5-carboxylate metabolism in plant defense against invading pathogens. Frontiers in plant science 6, 503 quelques techniques de sélection pour la tolérance aux stress chez le blé dur https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.029

- ✓ Qi, JC,Zhang, généraliste,Zhou, MX, et coll. . (2006).Teneur en protéines et en hordéine des graines d'orge affectée par le niveau d'azote et leur relation avec l'activité de la bêta -amylase.Journal de la science des céréales,43(1):102–107.
- ✓ Raboy, V. (2000) Low-phytic acid grains. Food and Nutrition Bulletin 21: 423-427.
- ✓ Ragaee, S., Abdel-Hal, E.S.M., Noaman, K. (2006). Antioxydant activity and nutrient composition of selected cereals for food use, Science direct,Food chem, 98: 32-38.
- ✓ Rahal-Bouziane H., (2011). Sécurité alimentaire assurée par des ressources céréalières: véritable en jeu pour les populations du sud, en Algérie. In: Sanni Yaya H et Benhassi M (éd) Changement climatique, crise énergétique et insécurité alimentaire: le monde en quête d'un visage. Québec, Presses de l'université Laval. PP 307-318. Recognition and physiological action, Cambridge University Press, Reducing lantioxidant power assay. J. Agric. Food Chem. 47: 633-636.
- ✓ Rahal-Bouziane H., Mossab Bouaboub K., Blama A., Hamdi S., (2005). «Les ressources fourragères des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt: historique, inventaire et utilisation».Séminaire International sur l'amélioration des productions végétales. Centenaire de l'INA. PP292–294
- ✓ Rasio A; Sorrentinio G, Cedola MC; Pastore D; Wittner G. (1987). Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. Genetic Agr 41, p: 427 –436
- ✓ Raza, S.H., Athar, H.R., Ashraf, M., Hameed, A. (2007). Glycine betaine-induced modulation ofantioxidant enzymes activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance.Environmental and Experimental Botany, 60(3), 368- 376 https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.009
- ✓ Reich, E.; Schibli, A.,(2006). High-Performance Thin-Layer Chromatography for the Analysis of Medicinal Plants Thieme Medical: New York, Striegel, M.; Hill, J., Thin-layer Chromatography for Binding Media Analysis. The Getty Conservation Institute: Los Angeles, 1996.
- ✓ Rejeb, M.N. et Ben Salem, M. (1993). Les divers mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les végétaux supérieurs, cas du blé et du caroubier. Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie, 22 : 49-52.
- ✓ Ricardo, D., Silva, J.M., Darmon, N., Fernandez, Y., Mitjavila, S., (1991). Oxygen free radical scavenger capacity in aqueous models of different procyanidins from grape seeds. J. Agri. Food Chem.39, 549-1552.

- ✓ Rijke, E., Out, P., Niessen, W.M.A., Ariese, F., Gooijer, C., Brinkman, U.A.T., (2006). Ana-lytical separation and detection methods for flavonoids. J. Chromatogr. A 1112, 31–63.
- ✓ RODIER J. (2005). Water analysis (Natural water, waste water, sea water) 9th Edition, dunod, Paris P66
- ✓ Rodríguez-Navarro, A., F. Rubio. (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. Journal of Experimental Botany (Plants and Salinity Special Issue), 57(5):1149-1160
- ✓ SABINE T., RAYMOND D., SAMAN S., ROBERT N., GLENN F., MICHAEL T., (2015) :Does a freely tillering wheat cultivar benefit more from elevated CO than a restricted tillering cultivar in a water-limited environment?, European Journal of Agronomy, Volume 64,Pages21-28.
- ✓ SADRAS V ET CALDERINI D., (2015): Corp physiology (second edition), Applications for Genetic Improvement and Agronomy, Elsevier Inc.
- ✓ Salah N., Miller N.J., Paganga G., Tijburg L., Bolwell G.P., Rice-Evans C.(1995). Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants, Arch. Biomed. Biophys. 322 (2) (1995) 339–346.
- ✓ SALMONSSON A C., THEANDER O., AMAN P, (1980). Composition on normal and high- ysine barleys.Swed.j.Agric.RES.10:11. IN: Food phenolics: sources chemistry effect application. Shahidi, F; Naczk, M.1995. Technomic Publishing. Pp3-47,
- ✓ SAMARAS TS., GORDON MH., AMES JM, (2005). Antioxidant properties of malt model systems. J. Agric. Food Chem. 53(12): 4945-4983.
- ✓ Sandberg, A.-S.; Andlid, T. (2002). Phytogenic and microbial phytases in human nutrition. Int. J. Food Sci. Technol., 37: 823-834, Sarrafi A., Mentewab A., Monneveux P., (1993). Variabilité génétique de la fluorescence chlorophyllienne chez des haploïdes doubles d'orge et son utilisation dans la sélection pour la résistance au stress hydrique. In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne (diversité génétique et amélioration variétale). Ed. INRA, les colloques n° 64. PP 397 – 402
- ✓ Sarpong, S. (2014). Traceability and supply chain complexity: confronting the issues and concerns. Eur. Bus. Rev 26 (3), 271–284. DOI: 10.1108/EBR-09-2013-0113 105
- ✓ Saulnier Luc, (2012). Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. Cahier de nutrition et diététique 47, 45-515 (Société française de nutrition) Science 50(3): 353–57. http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2009.03.001

- ✓ SAVIN R., SLAFER G., COSSANI M., and ABELEDO G ET SADRAS V., (2015): Chapter 7 Cereal yield in Mediterranean-type environments: challenging the paradigms on terminal drought, the adaptability of barley vs wheat and the role of nitrogen fertilization, In Crop Physiology (Second Edition), Academic Press, San DiegoPages 141-158, ISBN 9780124171046.
- ✓ Scherer, R., Godoy, H.T., (2009). Antioxidant activity index (AAI) by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method .February 2009Food Chemistry 112(3):654-658 ,DOI:10.1016/j.foodchem.2008.06.02
- ✓ Schlemmer, U., Frolich, W., Prieto, Rafel, M., Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. Molecular Nutrition & Food Research; 53 Suppl 2, S330-375 https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099
- ✓ Schroeder, WA, Johnson, EA (1995). Singlet oxygen and peroxyl radicals regulate carotenoid biosynthesis in Phaffia rhodozyma. J. Biol. Chem. 270, 18374-18379. doi: 10.1074/jbc.270.31.18374
- ✓ Selle, P.h., Ravindran, V. (2007). Microbial phytase in poultry nutrition. Animal Feed Science and Technology, 135 (1), 1-41 https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.010
- ✓ Senthilkumar Palanisamy , Sellappa Sudha .(2012). Antioxidant and Antibacterial Properties of Methanolic Extract of Green Seaweed Chaetomorpha linum From Gulf of Mannar: Southeast Coast of India . Jundishapur J Microbiol. 5(2):411-415. DOI: 10.5812/jjm.3400
- ✓ Sevgi K., Tepe B., Sarikurkcu C. (2015). Potentiels de protection des antioxydants et des dommages à l'ADN des acides phénoliques sélectionnés. Chimie alimentaire. Toxicol; 77:12-21. Doi: 10.1016/j.fct.2014.12.006. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- ✓ SERGIO N. DANERI-CASTRO, BIRTE SVENSSON, THOMAS H. ROBERTS, (2016) : Barley germination: Spatio-temporal considerations for designing and interpreting ‘omics’ experiments, Journal of Cereal Science, Volume 70, Pages 29-37.
- ✓ Shao, Y. Shao, F. Xu, X. Sun, J. Bao, T. (2014). Beta Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (Oryza sativa L.) Journal of Cereal Science, 59 , pp. 211-218

- ✓ Shao, Y.; Xu, F.; Soleil, X. ; Bao, J.; Bêta, T.(2014). Acides phénoliques, anthocyanes et capacité antioxydante des grains de riz (Oryza sativa L.) à quatre stades de développement après la floraison. Chimie alimentaire. ,
- ✓ Sharma-Om, P., Bhat, T.K., (2009). DPPH antioxidant assay revisited. Food chem.113 (4), 1202.
- ✓ Sharma, P.; Gujral, H.S. Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions. Food Chem. 2010, 120, 673–678. [Google Scholar] [CrossRef]
- ✓ Sharma, A.; Babar Shahzad, B.; Abdul Rehman, A.; Renu Bhardwaj, R.; Marco Landi, M.; Zheng, B.(2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. Molecules, 24, 2452.
- ✓ Shewry, PR (2007). Amélioration de la teneur et de la composition en protéines des grains céréaliers. J. Cereal Sci., 46, 239–250. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.006
- ✓ Siebert, K. J. (1999) Effects of protein–polyphenol interactions on beverage haze, stabilization, and analysis, J. Agric. Food Chem. 47,353–362.
- ✓ Singh N. K., Sherpherd K. W. ET Cornish B. G. (1991). Rapid communication: a simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. Journal of Cereal Science 14, 203-208.
- ✓ Société Malteurop (2000) Elaboration des malts utilisent en brasserie, Techniques de l'Ingénieur, F6200
- ✓ Soltner, D. (2005). Les grandes productions végétales.20ème.Ed.CCTA .Pp20-140
- ✓ Soni, P. and Abdin, M.Z. (2017). Water deficit-induced oxidative stress affects artemisinin
- ✓ Soylak, M., Tuzen, M., Narin, I., Sari, H. (2004). Comparison of microwave, dry and wet digestion procedures for the determination of trace metal. Journal of Food and Drug Analysis, 12(3), 254–258.
- ✓ Sosulski F., Krygier K., & Hogge L. (1982). Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 30(2), 337-340
- ✓ STANCA A.M ., GIANINETTI A., RIZZA F., TERZI V., (2016) : Barley: An Overview ofaVersatile Cereal Grain with Many Food and Feed Uses, In Reference Module in Food Science,Elsevier.
- ✓ Striegel AM, Yau WW, Kirkland JJ, Bly DD (2009) Modern size-exclusion liquid chromatography. Wiley, New Jersey

- ✓ Sullivan, P.; Arendt, E.; Gallagher, E. (2013). The increasing use of barley and barley by- products in the production of healthier baked goods. Trends Food Sci. Technol, 29, 124–134.
- ✓ SURGET A., BARRON C, (2005). Histology of wheat grain.Cereal Industries. (145), 3-7,
- ✓ Suriano, S.; Iannucci, A.; Codianni, P.; Fares, C.; Russo, M.; Pecchioni, N.; Marciello, U.; Savino, M.(2018). Profil des acides phénoliques, composés nutritionnels et phytochimiques, propriétés antioxydantes de l'orge colorée cultivée dans le sud de l'Italie. Int. Rés alimentaire. J, 113 , 221–233. [Google Scholar] [CrossRef]

- ✓ Svihus, B., Gullord, M. (2002). Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. Animal Feed Science and Technology, 102 (1-4), 71–92 https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00254-7
- ✓ Sykut-Domanska, E., Rzedzicki, Z., Nita, Z. (2013). Chemical Composition Variability of Naked and Husked Oat Grain (Avena sativa L.). Cereal Research Communications, 41(2), 327–337 https://doi.org/10.1556/crc.2013.0007
- ✓ Tang, A. L., Wilcox, G., Walker, K. Z., Shah, N. P., Ashton, J. F., Stojanovsk, A. (2010a). Phytase activity from Lactobacillus spp. in calcium-fortified soymilk. Journal of Food Science. 75, 6, M373-M376 https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01663.x
- ✓ Tanguy M., (2009). Antioxydants Première partie : Les antioxydants dans l'alimentation .Médecine 5 (6) ,256-260
- ✓ Qi, JC,Zhang, généraliste,Zhou, MX, et coll. . (2006).Teneur en protéines et en hordéine des graines d'orge affectée par le niveau d'azote et leur relation avec l'activité de la bêta -amylase.Journal de la science des céréales,43(1):102–107.
- ✓ Tarfaoui L., Menadi N., Meziani S., Zairi M., Bekhaled I., Benalia A., ... & Demmouche A. (2020). Effect of durum wheat bran on glucose and lipid metabolism in diabetic rats. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, *10*(2-s), 30-34.
- ✓ Tomás-Barberán F.A., Iniesta-Sanmartin E., Ferreres F., Tomás-Lorente F. (1990). High Performance Liquid Chromatography, thin layer chromatography and ultraviolet behavior of flavones aglycone with unsubstituted B rings. Phytochemical Analysis, 1: 44-47.

- ✓ THORNLEY RF M., CARTZ, (1962). Direct examination of ceramic surfaces with the scanning electron microscope. Journal of the American Ceramic Society. 45(9), 425-428.
- ✓ Troll W. (1995). Lindsley J A photometric method for determination of proline. J. Biol. Chem. N° 215, p. 655 - 660.
- ✓ Trumbo, P., Schlicker, S., Yates, A. A., et Poos, M. (2002). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Journal of the American Dietetic Association, 102(11), 1621–1630.
- ✓ Tsao, R., R. Yang, J.C. Young, and H. Zhu. (2003). Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography (HPLC) .Rong Tsao 1 , Raymond Yang, J Christopher Young, Honghui Zhu ,Affiliations :PMID: 14518966 DOI: 10.1021/jf0346298 Upadhyaya, Academic Press, San Diego, Pages 125-157
- ✓ Vaintraub Ia; Lapteva Na (1988). Colorimetric determination of phytate in unpurifed extracts of seeds and the products of their processing. Analytical Biochemistry175: 227-230pp
- ✓ Van Hung P., Maeda T., Morita N., (2006). Waxy and high-amylose wheat starches and flours—characteristics, functionality and application. Trends in Food Science & Technology, vol. 17, N° 8, p. 448-456.
- ✓ VANIŠOVÁ E., ONDREJOVIČ M., ŠILHÁR S, (2012). Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals. Nova Biotechnologica and Chimica; 11(1):45-56,(2012)
- ✓ Vattem D.A., Ghaedian R.et Shetty A. (2005). Enchancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry. Asia Pac J Clin Nutr, 14(2):121-126
- ✓ Verspreet J., Hemdane S., Dornez E., Cuyvers S., Pollet A., Delcour JA, Courtin CM .(2013). (Analyse du stockage et des glucides structuraux dans les grains de blé en développement (Triticum aestivum L.) à l'aide de l'analyse quantitative et de la microscopie. J. Agric. Chimie alimentaire. 2013 ; 61 :9251–9259. doi : 10.1021/jf402796u. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

- ✓ Vitaglione P., Napolitano A., Fogliano V. (2008).Fibre diététique de céréales : Un ingrédient fonctionnel naturel pour délivrer des composés phénoliques dans l'intestin. Tendances Food Sci. Technol.; 19 :451-463. doi: 10.1016/j.tifs.2008.02.005. [CrossRef] [Google Scholar]

- ✓ VIUDA-MARTOS M., MOHAMADY MA., FERNÁNDEZ-LÓPEZ J., ELRAZIK K A., OMER E A., PÉREZ-ALVAREZ JA ., SENDRA E,(2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essentials oils obtained from Egyptian aromatic plants. Food Control; 22(11):1715-1722
- ✓ Walker J M (2002). The protein protocols handbook. 2ème Ed Humana Press (USA), 1146 p.
- ✓ WANNENMACHER J., GASTL M., BECKER T, (2018). Phenolic substances in beer: Structural diversity, reactive potentialand relevance for brewing process and beer quality. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf, 17, 953–988,
- ✓ Wang J., Sun B., Cao Y., Tian Y., & Li X. (2008). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. Food chemistry, 106(2), 804-810.
- ✓ Winton A. L., Winton K. B. (1932). The Structure and Composition of Foods. Volume I: Cereals, Starch, Oil Seeds, Nuts, Oils, Forage Plants, New York, Wiley, 710 p. [URL: consulté le 17/03/2021].
- ✓ WITZENBERGER, A., H. HACK, T. VAN DEN BOOM (1989). Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwick-lungsstadien des Getreides – mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen 41, 384-388.
- ✓ Wozniak, A., Soroka, M.S.T., Epniowska, A., Makarski, B. (2014). Chemical composition of spring barley (Hordeum vulgare L.) grain cultivated in various tillage systems. Journal of Elementology, 19(2), 597–606. https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.2.438
- ✓ Wu, G.; Johnson, Sask.; Bornman, JF; Bennett, SJ; Clarke, MW; Singh, V.; Fang, Z.(2016). La température de croissance et le génotype jouent tous deux un rôle important dans la composition phénolique des grains de sorgho. Sci. Rep. 2016 , 6 , 21835
- ✓ Xie ZL, Zhang TF, Chen XZ, Li GD, Zhang JG (2012). Effets des stades de maturité sur la composition nutritive et la qualité de l'ensilage du blé entier. Asie-Australas. J. Anim. Sci. ; 25 :1374. doi : 10.5713/ajas.2012.12084
- ✓ Xie M, Jie L, Rong T, Ziyuan W, Baoguo S, Jing W. (2019). Consommation de grains entiers pour la prévention et le traitement du cancer du sein. Nutriments ; 11: 1–21. doi : 10.3390/nu11081769
- ✓ Résumé PubMed | Texte intégral de la référence croisée | Google Scholar
- ✓ Yang, J. (2016). Investigation des propriétés interfaciales des protéines d'orge et de leurs applications en tant que matériaux à l'échelle nanométrique. Doctorat Thèse,

University of Alberta, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, Edmonton, AB, Canada,

- ✓ Yoshiba, Y. Kiyosue, T. Nakashima, K. Yamaguchi-Shinozaki, Y. Shinozaki, K. (1997). Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant and Cell Physiol. 38 : 1095-1102.
- ✓ YOULA AMIRA et LATROUS IMED EDDINE, (2017). Contribution à l'étude phytochimique des flavonoïdes chez l'espèce (Melissa Officinalis L.) et évaluation de leurpouvoir antibactérien,.
- ✓ Zadoks JC, Chang PT, Konzak EF (1974) a decimal code for the growth stages of cereal. Eucarpia Bull 7:42-52
- ✓ Zhu, Y.; Li, T.; Fu, X.; Abbassi, AM ; Zheng, B.; Liu, RH (2015).Teneur en composés phénoliques, activités antioxydantes et antiprolifératives de l'orge des hautes terres décortiquée (Hordeum vulgare L.). J. Fonction. Nourriture. 19 , 439–450
- ✓ Zid, E. and Grignon, C. (1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. J. Biol. Chem. 216: 702 - 710.
- ✓ ZIELINSKI H., KOZLOWSKA H,(2000). Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. J Agric Food Chem; 48:2008e16,
- ✓ Žilić, S., Serpen, A., Akillioğlu, G., Janković, M., Gökmen, V. (2012). Journal of Cereal Science 56: 562-568
- ✓ Zouaoui A. et Bensaid R., (2007). Détermination des exigences climatiques du blé dur en zone semi-aride. Cahier Agricultures, vol. 16 N°6, 469-476. Melas V., Morel M-H., Feuillet P., 1993. Les sous-unités gluténines du blé de faible poids moléculaire des protéines d'avenir. Ind. des cereals, 84, γ-14.

Liste des annexes

Annex 1:



Principaux constituants d'un appareil HPLC

Annexe 2 :



Microscope électronique à balayage JSM 5800 (LEME : Laboratoire Energétique Mécanique Electromagnétisme)

Annexe 3 :



Les différentes étapes de coloration pour observation microscope optique

Annexe 4 :



Les étapes d'extraction de lipide par (Un soxlhet et Un rota vapor)

Annexe 5 :

- **Préparation de réactif bleu de Coomassie G250**
  - ✓ Dissoudre 50 mg de G250 dans 25 ml d'éthanol 95%
  - ✓ Mixer la solution avec 50 ml d'acide phosphorique 85%
  - ✓ Ajuster à 500 ml de l'eau distillée
  - ✓ Filtrer à l'aide de papier Whatman n°1

La solution est conservable plusieurs semaine à l'abri de la lumière et à température ambiante **(Walker ,2002)**

C. Préparation de la courbe d'étalonnage avec la BSA :

La solution mère de la protéine de référence (BSA à 1mg/ml)

- ✓ répartir dans des tubes à essai : 10 *µl ,20 µl ,40 µl, 60 µl ,80 µl ,100µl* de la solution mère. préparer trois tubes par dilution ;
- ✓ ajuster à 100 ***µl*** avec l'eau distillée +3 tubes contenant 100 ***µl*** d'eau distillée (blanc)
- ✓ Ajouter 5 ml de réactif dans chaque tube + agitation légère au vortex en évitant de mousser la solution.
- ✓ Après de 2 min à 1 heure de contact, mesurer l'absorbance à 595 **(Walker ,2002)**

D. Dosage

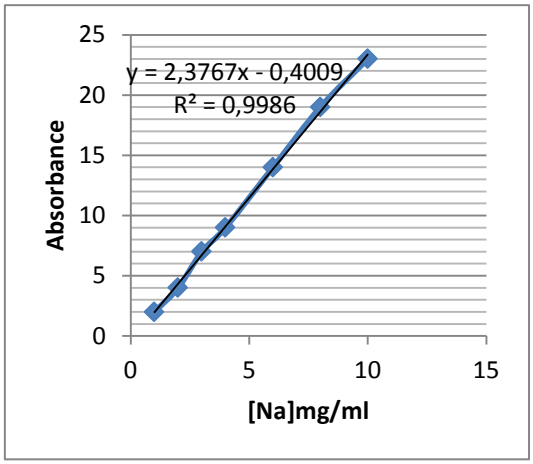
On ajoute 100 *µl de l'échantillon à 5 ml du réactif de Bradford et on mélange bien avec le vortex. On laisse incuber entre 2 min à 1 heure à l'obscurité puis en mesure l'absorbance à 595 nm.*

Annexe °6 :

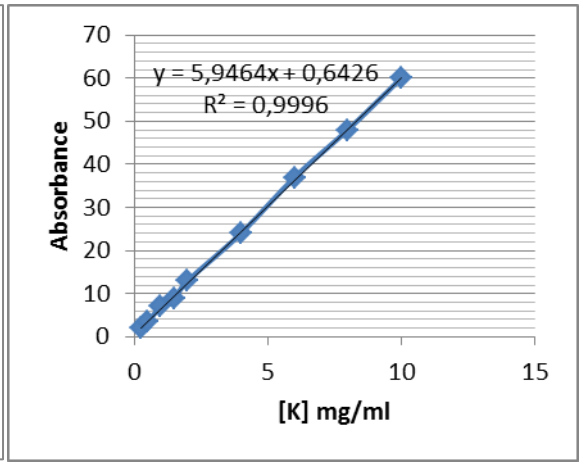
A. Préparation d'une gamme d'étalonnage de méthode de Lowry

- Préparer une gamme d'étalonnage de 6 tubes a essai à partir de la solution de BSA a 1g/l ;
- Ajuster le volume final de chaque tube a 500 µl ;
- Additionner 1 ml du réactif R dans chaque tube ;
- Homogénéiser le contenu des tubes a l'aide d'un vortex ;
- Incuber les tubes pendant 10 minutes ;
- Ajouter 250 µl de folin dilué au ½ dans chaque tube ;
- Homogénéiser le contenu des tubes à l'aide d'un vortex ;
- Incuber pendant 30 minutes à l' abri de la lumière ;
- Lire les absorbances d'étalonnage a 750 nm contre un blanc

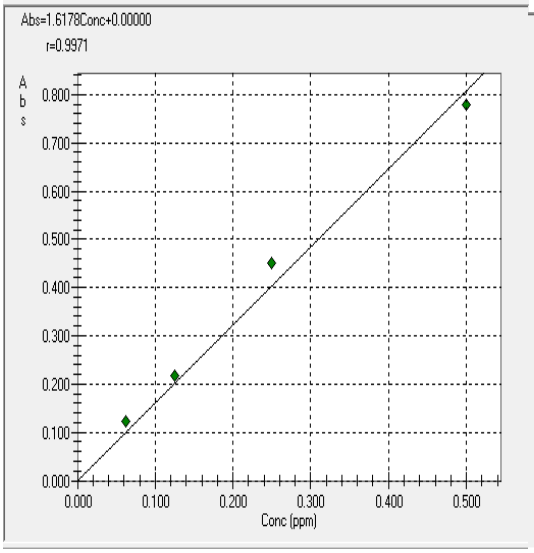
Annexe °7 :



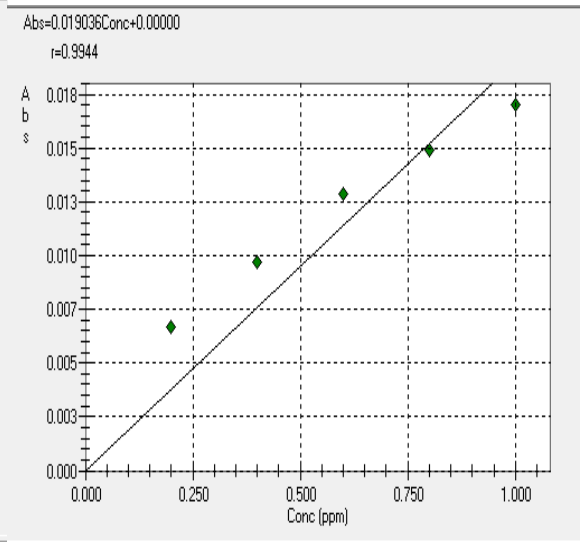
Etalonnage de Na A=f(Na)



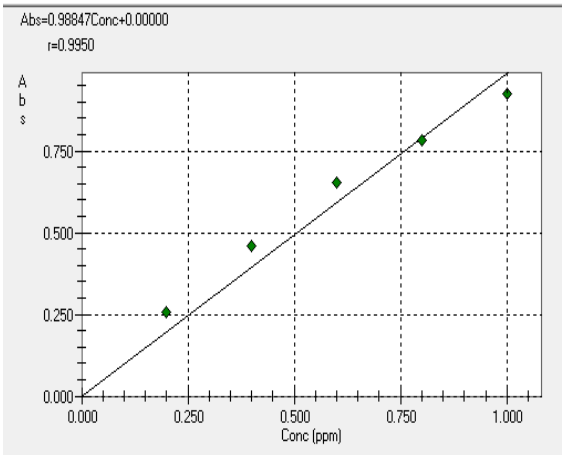
Etalonnage de K A=f(K)



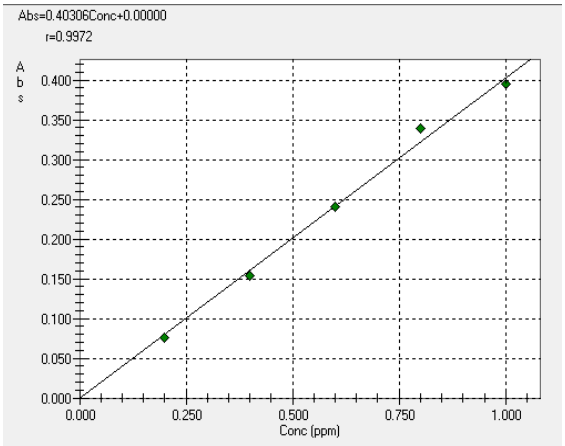
Etalonnage de Zn A=f(Zn)



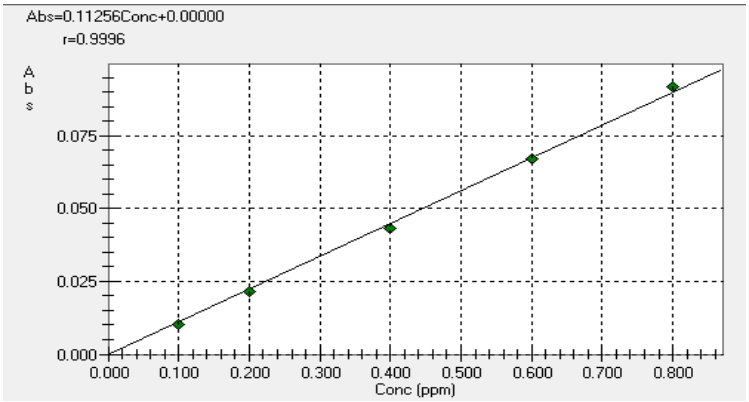
Etalonnage de Ca A=f(Ca)



Etalonnage de Mn A=f(Mn)



Etalonnage de Mg A=f(Mg)



Etalonnage de Fer A=f(Fe)

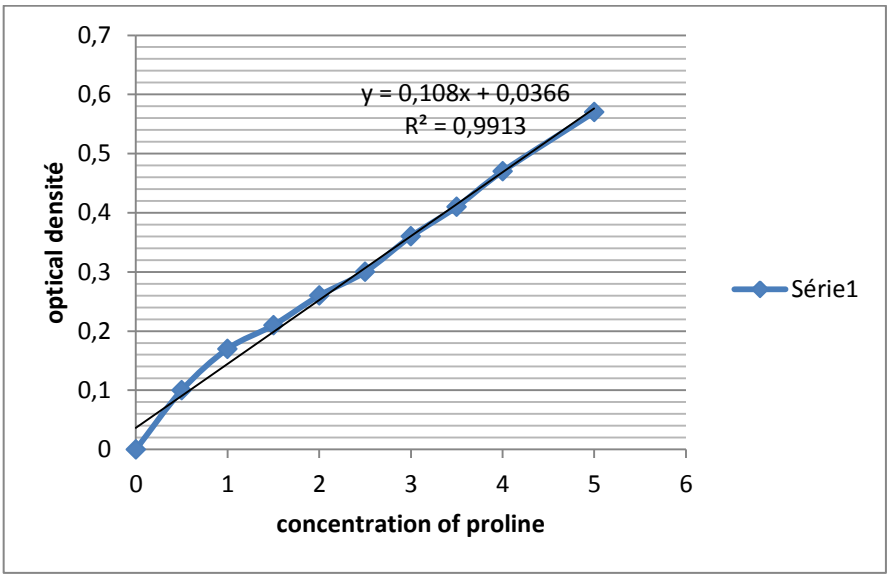
Figure43 : Quantification du Na, K par Photométrie de flamme et CA, Fe, Mg, Mn, Zn par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA)

Annexe°8 :



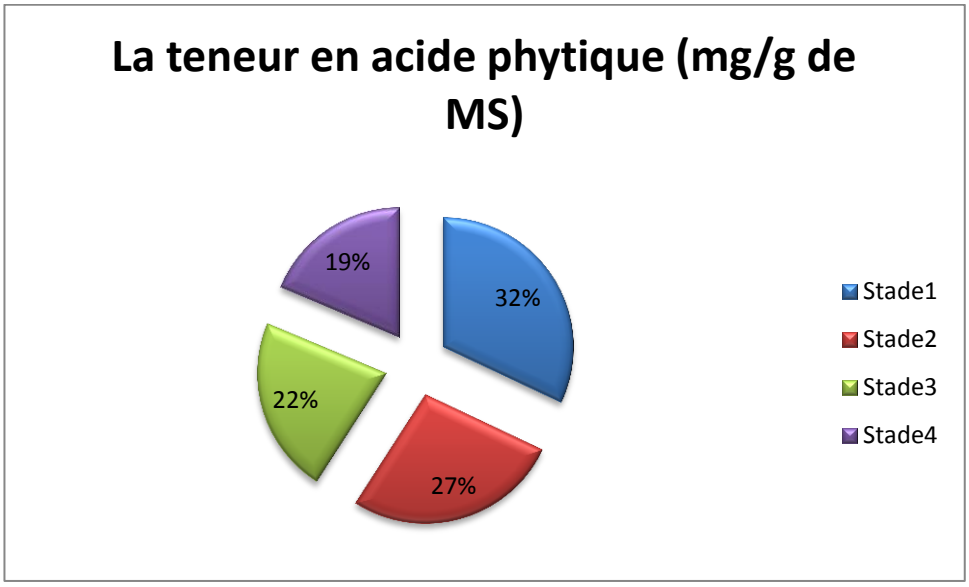
Appareil de fibres utilisées (weende, AOAC 1993)

Annexe 9



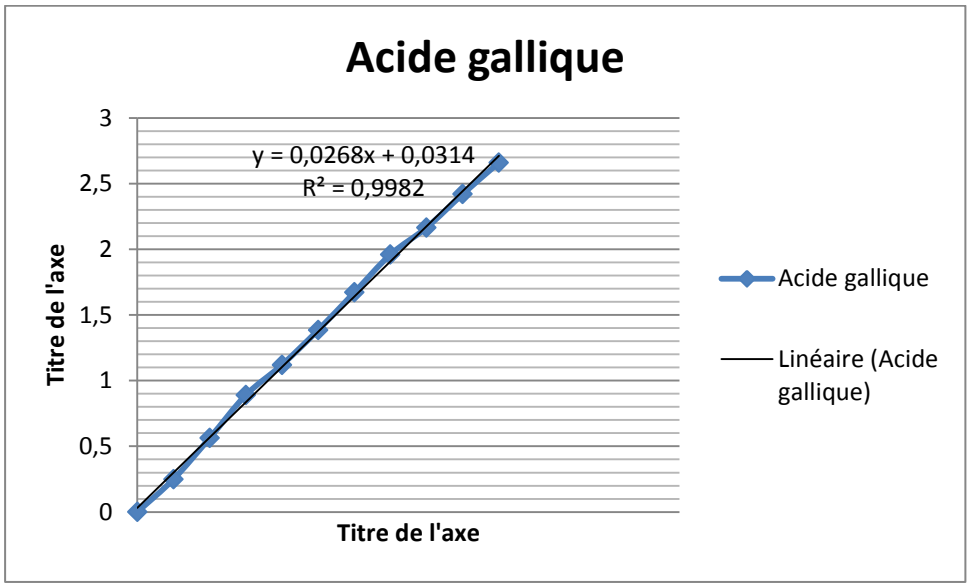
Courbe étalonnage de la proline

Annexe 10 :



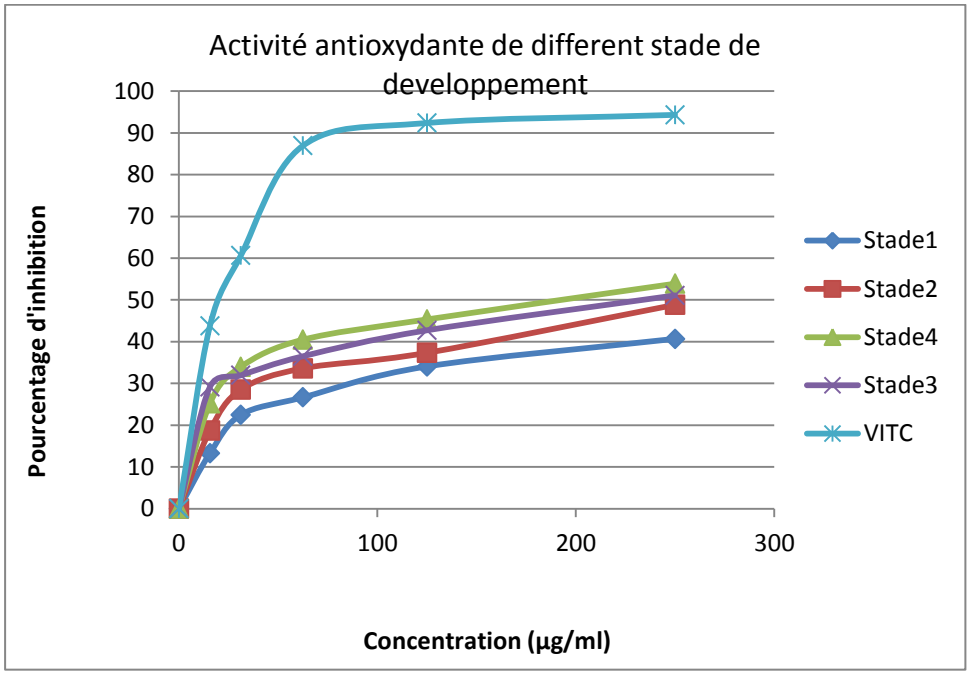
La teneur en acide phytique de grain d'orge (Saida 183) en plein développement

Annexe 11 :



Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux

Annexe 12



Activité antioxydante de quatre stades de développement de grain d'orge (Saida 183)

Liste des publications

Publications internationales

1. **Lahouaria Labga 1,** Samira Meziani 1*, Haoud Khadidja 1, Saidani Souad 1,
2. Tasleem Tahir Aysha 2. Isolation and Study of the Nutritional Variability of Peripheral Layers of Barley Grains During Development,2022, ADVANCED RESEARCH IN LIFE SCIENCES

3. **Lahouaria LABGA**, Ghania TIBOURA, Fatima Zohra CHENNI, Dounia DJEBBOURI, Nadjet OUAFI, Souad SAIDANI, Samira MEZIANI, Extraction and comparative study of phenolic compounds from tender and treated wheat germ and their antioxidant power, Food and Environment Safety, Volume XX, Issue 3 – 2021, pag. 247 – 255

4. **Lahouaria Labga** , Samira Meziani , Ouafia Liamani Copyright © 2019 International book market service Ltd, member of omniscriptum publishing group Edition universitaires européennes is a trademark of international book market service Ltd , member of omniscriptum publishing group ISBN: 978-6136-9-52108-1 Contribution à l'etude de la grenade (punira granatum .l): caractérisation nutritionnelle et phytochimique Copyright ©
5. Meziani Samira *, **Labga Lahouaria** , Menadi Noureddine , Tehami Wafa , Z Benattouche Zouaoui, Saidani Souad, Benguella Rawda, Benali Mohammed. « Evaluation of bioactive properties and antioxidant capacity of native and imported pomegranate fruit bank (PUNICA GRANATUM, L) cultivars found in Algeria: International journal of Research in biosciences **:** International Journal of Research in BioSciences Volume 8 Issue 3, pp. (1-7), July 2019 Available online at http://www.ijrbs.in ISSN 2319-2844

6. EL-Kadi Fatima Zohra1* , Kanoun Khedoudja 2, Trouzine Amina3 , Tehami Wafaa **4,Lebga Houaria 5,** Boumaza Nawal 6 , Harir Noria. Phenolic compound profiles and antioxidant activity of Ruta chalepensis L.leaves, a spontaneous medicinal herb: influence of harvest zone (Western Algeria). International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants. Vol. 7 (1) : 26- 35, June 2021

7. Benguella R. 1*, Meziani S. 1, Gueffari I. 2, Menadi N. 1, Chenni FZ. 1, **Labga L**.1, Saidani S.1, Barek S.3, Aissaouia M.3, Rahmoun N.M. 3, Demmouche A. Bioactive Compounds in the Peripheral Layers of Barley and Triticale Species in the Mature Grain Cultivated in Algeria: Available online on 15.07.2020 at http://jddtonline.info Journal of Drug Delivery and Therapeutics Open Access to Pharmaceutical and Medical Research © 2011-18, publisher and licensee JDDT, This is an Open Access article which permits unrestricted non-commercial use, provided the original work is properly cited

8. Souad SAIDANI, Mohamed ZAIRI, Samira MEZIANI, **Lahouaria LABGA**, Ghania TIBOURA, Noreddine MENADI, Abassia DEMMOUCHE, Bioactive compounds and antioxidant activity of peripheral layers of soft wheat grown in Algeria during seed filling, Food and Environment Safety, Volume XXI, Issue 1 – 2022, pag. 82 - 93

9. Samira MEZIANI, Noreddine MENADI, Hayet Mehida, Soheila OUGAD, Souad SAIDANI, **Lahouaria LABGA**, Evaluation of phenolic compound and antioxidant capacity of two varieties of oats (Avena Sativa L): bran oats and whole grain (black and prevision oats), Food and Environment Safety, Volume XX, Issue 1 – 2021, pag. 61 – 67

Liste des Communications

1. **LABGA La,** MEZIANI Sa, HAOUD Ka, SAIDANI S, BOULARBAG D, DEMOUCHE A. Pouvoir antioxydant de l'extrait brut préparé par macération à partir des couches périphériques de grain d'orge (Saida 183) en plein développement, 14/12/2022 : 1er Journée scientifique sur « L'agriculture en Algérie entre défi, développement et perspectives »Université Djilali liabes de Sidi Bel Abbes Faculté de science de la nature et de la vie Département des sciences de l'agronomie ALGERIE

2. **LABGA La,** MEZIANI Sa, HAOUD Ka, SAIDANI So, TIBOURA Ga, DEMOUCHE Ab**.** Valorisation et étude l'activité antioxydante des couches périphériques de grain d'orge en plein développement : 2 March 2022, International days of Natural and life sciences (INDNS 2022) (Webinaire), Ecole normale supérieure de Ouargla, Algérie

3. **LABGA Lahouaria,** MEZIANI Samira, HAOUD Khadidija, SAIDANI Souad. Etude phytochimique des couches périphériques du grain d'orge (Saida 183) en plein développement et évaluation de l'activité antioxydante, 30 mars 2022 : 1er Séminaire international sur la valorisation des ressources naturelles et de l'environnement (VRNE 2022), université Ferhat abbés sétif-1, ALGERIE

4. **LABGA Lahouaria,** MEZIANI Samira, SAIDANI Souad, LIAMANI Ouafia, DEMOUCHE Abbassia. Etude comparative de la valeur nutritionnelle des couches périphériques de deux phases de grain d'orge en développement » : 1er Séminaire International PERTURBATEURS ENDOCRINIENS ENVIRONNEMENT & REPRODUCTION (PEER 2021) tenu du 07 au 08 juillet 2021 à l'université Blida 1 ALGERIE

5. **LABGA Lahouaria**, MEZIANI Samira, SAIDANI Souad, LIAMANI Ouafia, DEMOUCHE Abbassia. Détermination des teneurs en polyphénols totaux et activité antioxydante des couches périphériques de trois phases des grains d'orge en développement : congrès national sur Valorisation des Substances et Matériaux Naturels organisé par l'équipe MeTox-Toxicomed, Université de Tlemcen du 05 au 06 juin 2021 ALGERIE

6. **LABGA Lahouaria,** MEZIANI Samira, HAOUD Khadidja, SAIDANI Souad, TIBOURA Ghania, DEMOUCHE Abbassia. Etude la caractérisation nutritionnelle ET activité antioxydante des couches périphériques de grain d'orge (Saida 183) en plein développement, 1ST INTERNATIONAL WEBINAR ON BIOLOGICAL AND CHEMICAL ENGINEERING: Held with the support of Faculty of Natural and Life Sciences-Blida1 University, Algeria, on November 10th 11th, 2021.ALGERIA

7. **Labga Lahouaria**, Meziani Samira. Saidani Souad, Benguella Rawda : 2éme congrès international d'Onco-Epidémiologie EHU Oran «Soin de support et parcours du patient» 29/06/2019 Intitulée : « **étude la caractérisation nutritionnelle et phytochimique de l'écorce de la grenade (*punica granatum*) »**

8. The 1st International symposium 'Environment §Sustainable Development' (**L'effet anti oxydant de grenade (Punica Granatum) et sa capacité d'inhiber la prolifération des cellules cancéreuses et gastriques : étude de la valorisation des écorces de quatre espèces de grenade locales et importées :** le 29/06/2019 à Relizane , ALGERIE

9. **LABGA L**A, MEZIANI S, HAOUD K, ELKADI FZ, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M. Quatrième congrès de biochimie et de Génétique Médicales 24/09/2019 **SABGM** : Intitulée : «**Valorisation et l'étude de l'extrait de l'écorce de grenade (*punica granatum*).la caractérisation nutritionnelle et phytochimique »**

10. **Labga L**A, Meziani S,Menadi N, Haoud K,Mehida H, Elkadi FZ, Saidani S, Benguella R, Benali M .Premières journées nationales sur les énergies renouvelables et le développement durable les 14/15 juin 2019 **Intitulée : « valorisation et étude la caractérisation nutritionnelle et antioxydant de l'extrait de l'écorce de fruit de grenade (punira *granatum.L) »***

11. **LABGA L**A, MEZIANI S, MENADI N, ELKADI FZ, ZAIRI M, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M *Doctoria*les des sciences de la nature et de la vie le 08decembre 2018 à lauditorium de la faculté **SNV/STU Intitulée : « valorisation de l'extrait de l'écorces de fruit de grenade (punica granatum.l) . Étude comparative des paramètres phyto-chimique »**

12. **LABGA LA**, MEZIANI S, ELKADI FZ, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M IX émes journées nationales des sciences de la nature et de la vie les 6 et 7 Novembre 2019 **JNSNVc**Intitulée **: « contribution à l'étude de la grenade algérienne (*punica granatum.l)*. Caractérisation nutritionnelle et phytochimique**

13. **LABGA L**A, MEZIANI S, MENADI N, HAOUD K, LIAMANI O, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M 3eme séminaire national biologie et santé ***(3eme SNBS***

2019) le 07 Décembre 2019 Intitulée : « **potentiel anti oxydant des écorces de quatre génotype de grenade locale et importée (*punica granatum***)

14. **LABGA L**Ahouaria, MEZIANI Samira, Haoud Khadidja, Mehida Hayet, Toumi Asma, SAIDANI Souad, BENGUELLA Rawda, BENALI Mohamed. 3eme séminaire national biologie et santé **(3eme SNBS 2019**) le 07 décembre 2019 Intitulée : « **caractérisation des molécules bioactives dans les coproduits de la production (farine et lait de soja)**

15. **LABGA LA**, MEZIANI S, MENADI N, HAOUD K, LIAMANI O, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M Quatrièmes journées Nationales Médico-Chirurgicales et de Formation Médicale Continue (Etude **la valorisation de l'extrait de l'écorce de grenade (Punica Granatum) caractérisation nutritionnelle et phytochimique et son effet sur l'organisme) :**Les 18et19 Octobre 2019, Etablissement Hospitalier Dr Benzerdjeb , Ain-Temouchent

16. **Labga H, Meziani s,** Menadi N, Haoud K, Mehida H, Elkadi FZ, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M. Valorisation et l'étude de l'extrait de l'écorce de grenade (Punica granatum.l) : 29et30 Avril 2019organisé à l'hôtel Sheraton Oran Société Algérienne de Biochimie et de Génétique Médicales (BSAMG)

17. **Labga La,** Haoud K, Meziani Propriétés antioxydantes et observation microscopique des couches périphériques aux différents stades de développement du grain d'orge (Saida 183) : Le comité d'organisation des premières journées de formations doctorales en sciences alimentaire et sciences biologiques du 18et 19 Décembre 2022

18. **LABGA L**A, MEZIANI S, MENADI N, HAOUD K, ZAIRI M, MEHIDA H, LIAMANI O, SAIDANI S, BENGUELLA R, BENALI M. Etude la caractérisation nutritionnelle et phytochimique de l'écorce de la grenade (Punica granatum) :2éme congrès international d'Onco-Epidémiologie EHU Oran le 29/06/2019