N° d'ordre :

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR & DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



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

THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :
Mme Rawda BENGUELLA épouse BENKRALED

Option : Sciences biologiques
Spécialité : Biochimie appliquée

Intitulée

Caractérisations nutritionnelles, Propriétés antioxydantes des Couches Périphériques de Quelques Espèces de Céréales

Soutenue le :

Devant le jury composé de :

Président : Pr MENADI Noreddine - UDL Sidi Bel Abbes
Examinateur : Pr DEMMOUCHE Abbassia - UDL Sidi Bel Abbes
Examinateur : Pr BENSAHLA TALET Lotfi - Université Oran 1
Examinateur : Pr DIAF Mustapha - UDL Sidi Bel Abbes
Directeur de thèse : Pr MEZIANI Samira - UDL Sidi Bel Abbes

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENT

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices ; nos remerciements va d'abord au Créateur de l'univers ALLAH qui nous a dotés d'intelligence, et nous a maintenus en santé pour mener à bien cette étude.

*Je tiens à remercier Madame **MEZIANI Samira**, Professeur à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes, qui m'a encadré tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'elle soit aussi remerciée pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'elle m'a prodiguée. Veuillez trouver ici, Madame ma reconnaissance et tout mon respect.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements au Professeur Monsieur **MENADI Noreddine,** enseignant à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes. Je vous remercie pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de présider le jury de cette thèse.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur **BENSAHLA Lotfi** professeur université d'Oran et Madame **Pr DEMMOUCHE Abassia** aussi Monsieur **DIAF Mustapha,** professeurs d'avoir accepté d'examiner et discuter ce travail.*

*J'exprime ma vive reconnaissance à Monsieur **Mr RAHMOUN Mohammed Nadjib**, professeur au département de Biologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de Biotoxicologie à Tlemcen.*

*Un grand merci à Monsieur **BAREK Said et AISSAOUI Mohammed** professeur de la faculté des sciencess et technologie Université de Tamanghasset pour leurs aides, leurs soutien et disponibilité.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les ingénieurs et collègues de laboratoire Fatima, Houaria, Souad, aicha, Mama,

mes s'insère remerciement âmes chers parents qui ont toujours sacrifié pour me voir réussir et pour leurs encouragements durant toute mon parcours, je remercie mon Mari qui m'a toujours soutenu et aider par son savoir- faire ainsi que mes sœurs, ma famille, ma belle-famille et tous mes amis.

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

RÉSUME

Les caractéristiques nutritionnelles et biologiques des différentes classes de nutriments sont présentées, en lien avec la diversité de composition des différents tissus du grain et les spécificités de certaines céréales plus particulièrement : le blé tendre et dur, l'orge et le triticale. Les couches périphériques sont des enveloppes qui protègent les grains, ces enveloppes sont éliminées lors de la mouture. Ces tissus sont une source importante de macronutriments composés principalement de polysaccharides, d'acides phénoliques, de fibres, de lignine et de protéines (principalement albumines et globulines localisées dans la couche à aleurone). La présente étude a été portée sur quatre espèces céréalières, le blé tendre (*Triticum aestivum*) Ziden et Boumerzoug, le blé dur (*Triticum durum*) Chen's, l'Orge *(Hordum Vulgare)* Saida et Fouara et le triticale (*Triticale sécable*) Ksar Sbahi et Beni Haroun récoltés en Algérie en 2017. Deux modes d'extraction (macération, infusion) et deux solvants organiques (éthanolique et méthanolïque) sont utilisés dans cette étude. Une étude comparative de la variabilité interspécifique de ces espèces, en se basant sur l'étude des aspects morphologiques (structure des tissus) par la technique de microscopie électronique à balayage (MEB), des aspects nutritionnels par la mise en évidences du dosage des minéraux, des fibres et des protéines, et des métabolite secondaire (composés phénoliques), suivi par une caractérisation des polyphénols par la chromatographie liquide à haute pression (RP-HPLC- LC-2030C 3D). L'activité antioxydante a été aussi évaluée dans ce travail par la méthode de transfert d'hydrogène (DPPH) et le transfert d'électron simple (Ferric Reducing Antioxidant Power Assay). Les résultats montrent en premier lieu que le MEB a mis en évidence des couches périphériques (CP) superficielles, une couche unicellulaire similaire pour le blé tendre et le blé dur, alors deux à trois couches cellulaires observées chez l'orge.

Sur le plan nutritionnel, les résultats de la valeur en protéines semblent faibles entre les espèces, elle est plus faible pour le blé tendre (Ziden) que le blé dur (chen's), cette dernière est similaire pour l'orge (Saida) avec un taux de 0.005 mg/ml. Il est à noter que les minéraux du blé en général sont riches en calcium avec des valeurs de 10.65 et 8.07 ppm pour Chen's et Ziden respectivement et 2.1 ppm pour l'orge. Le fer est un élément important pour l'organisme dont sa valeur est de 1.25 ppm pour le blé tendre (Ziden). Les résultats ont montré aussi que les différentes variétés possèdent des teneurs considérables en sodium par rapport au potassium avec des valeurs de 33.78 mg/l et presque 19 mg/l pour la variété Saida et Ziden, respectivement. Il est à noter un taux remarquable de potassium observé pour le triticale Beni Haroun avec une valeur de 329.33 mg/l. Le taux en fibres se diffèrent légèrement entre les deux espèces de blé tendre et de blé dur qui est de 1.5% et qui est faible pour l'orge avec une valeur 0.8%.

Les extraits (Méthanoliques) obtenus qui sont les plus efficaces, sont plus riche en polyphénols totaux de (550± 0.34 µg EAG, EQ /mg E) et (427± 1.2 µg EAG, EQ /mg E), respectivement dans le blé dur (Chen's) et la variété de blé tendre (Ziden), ainsi qu'on flavonoïdes (619± 1.5 µg EQ/mg E), tandis que triticale (Beni Haroun) et la variété d'orge (Saida) sont les plus efficaces parmi les extraits éthanolïques. Les résultats de caractérisation des polyphénols par HPLC montrent que l'extrait brut de la variété Chen's contient trois acides phénoliques : l'acide gallique, l'acide syringique et l'acide hydroxybenzoïque. La IC50, la plus élevée à été obtenue avec l'extrait méthanolique des deux variétés de blé tendre (Ziden) et blé dur (Chen's) (IC50 = 1.7 ; IC50 = 0.74) respectivement, en revanche l'extrait éthanolique le plus efficace est l'orge (Feouara) (IC50 = 1.91).

Mots clés : Céréale, espèce, Blé, orge, couches périphériques, valeurs nutritionnelles, activité antioxydante.

Abstract

The nutritional and biological characteristics of the different classes of nutrients (proteins, starch, fibres, vitamins, minerals and phenolic compounds) are presented, in connection with the diversity of composition of the different grain tissues and the specificities of certain cereals, more particularly wheat soft and hard, barley and triticale. Cereal grains are essential energy foods, source of interesting nutrient beneficial for health, which are concentrated mainly in the peripheral layers (PL) of the grain. We have medicinal uses by their anticancer property's antimicrobial and antioxidant activities. The peripheral layers of wheat, barley and triticale grains are envelopes that protect the grains, they are eliminated during milling. These layers are an important source of micronutrients composed mainly of polysaccharides, phenolic acids, fibers, lignin and proteins (mainly albumins and globulins located in the aleurone layer). This study was carried out on four cereal species, soft wheat (*Triticum aestivum*) Ziden and Boumerzoug, durum wheat (*Triticum durum*) Chen's, triticale (*Triticale*) Ksar Sbahi and Beni Haroun and barley (*Hordum vulgare*) Saida and Fouara harvested in Algeria on 2017, using two methods of extraction (maceration, infusion) and two solvents (ethanolic and methanolic). A comparative study of the interspecific variability of these species based on the study of morphological aspects (structure of tissues) by scanning electron microscopy, nutritional by highlighting the dosage of minerals, fibers and proteins and biological (phenolic compounds), followed by a characterization of the polyphenols by high pressure liquid chromatography (RP-HPLC-LC-2030C 3D). The antioxidant activity was also evaluated in this study by the hydrogen transfer method (DPPH) and the single electron transfer (Ferric Reducing Antioxidant Power Assay). The results show firstly that the scanning electron microscope observation of the peripheral surface layers that they had almost similar structures for the varieties Chen's, Ziden and Boumerzoug, while two to three peripheral layers observed in barley.

Nutritionally the results of the protein value seem low between species it is lower for soft wheat (ziden) than durum wheat Chen's, it is similar for barley (Saida) with rate of 0.005 mg/ml. It is noted that wheat in general is rich in Calcium with values of 10.65 and 8.07 ppm for Chen's and Ziden respectively and 2.1 ppm for Saida. iron is an important element for the body whose value is 1.25 ppm for Ziden. The results showed that the different varieties of CP have a considerable sodium content compared to potassium with the values of (33.78 mg/l) and almost 19 mg/l for Saida and Ziden. it should be noted a remarkable rate of potassium observed for triticale Beni Haroun with value of (329.33 mg/l. the fiber rate differs slightly between the two species of soft wheat and durum wheat which is 1.5% which is weak for 0.8%.

The extracts (Methanol) obtained which are the most effective, are richer in total polyphenols (550± 0.34 µg EAG, EQ /mg E) and (427± 1.2 µg EAG, EQ /mg E), respectively in durum wheat (Chen's) and the soft wheat variety (Ziden), as well as flavonoids (619± 1.5 µg EQ/mg E) followed by triticale (Beni Haroun), while the barley variety (Saida) is the most effective among the ethanolic extracts. The results of characterization of polyphenols by HPLC show that the crude extract of the Chen's variety contains three phenolic acids gallic acid, syringic acid and hydroxybenzoic acid. The highest IC50 was obtained with the methanolic extract of the two varieties of soft wheat (Ziden) and durum wheat (Chen's) (IC50 = 1.7; IC50 = 0.74) respectively, on the other hand the most efficient of ethanolic extract is barley (Feouara) (IC50=1.91).

Keywords: Cereals, species, Wheat, Barley, peripheral layers, nutritional values, antioxidant activity.

ملخص

تم تسليط الضوء على الخصائص الغذائية والبيولوجية لمختلف فئات العناصرالغذائية (البروتينات والنشا والألياف والفيتامينات والمعادن والمركبات الفينولية)، فيما يتعلق بتنوع تكوين أنسجة الحبوب المختلفة وخصائصها،وبشكل أكثرتحديدًا: القمح الناعم والصلب، الشعير و تريتيكال. تعتبر حبوب من الأطعمة الأساسية للطاقة،ومصدرالمغذيات الشيقة المفيدة للصحة والتي تتركزبشكل أساسي في الطبقات المحيطية . هذه الأنسجة عبارة عن أغلفة تحمي الحبوب و لكن يتم التخلص منه أثناء الطحن.

تعد هذه الطبقات مصدرًا مهمً اللمغذيات الدقيقة التي تتكون أساسًا من السكريات والأحماض الفينولية والألياف واللجنين والبروتينات (بشك لأساسي الألبومين والجلوبيولين الموجود في طبقة الأليرون). أجريت هذه الدراسة على أربعة أنواع من الحبوب،القمح اللين (زيدان و بومرزوق)،القمح القاسي (شنس) ،تريتيكال (بني هارون و قسر سباحي) و الشعير (سعيدة و فوارة) حيث تم حصادها في الجزائرفي عام 2017 استعملت طريقتين للاستخلاص (النقع والتسريب) ومذيبان (إيثانول وميثانول). مقارنة و دراسة التنوعبين مختلف الطبقات المحيطية بناءً على دراسة الجوانب المورفولوجية (بنية الأنسجة) عن طريق المسح المجهري الإلكتروني، والتغذية منخلال إبراز جرعة المعادن والألياف والبروتينات،البيولوجية (المركبات الفينولية) و التي يليه توصيف البوليفينول بواسطة كروماتوجرافيا سائلة عالية الضغط- (RP-HPLC- LC 2030C 3D). تم أيضًا تقييم النشاط المضاد للأكسدة بواسطة طريقة نقلا لهيدروجين ونقل الإلكترون الفردي.

في هذه الدراسة أظهرت النتائج أولاً أن المراقبة بالمجهرالإلكتروني مختلف انواع طبقات المحيطية هياكل متشابهة تقريبًا لأصناف شنس وزيدن و بومرزوق بينما توجد طبقتان إلى ثلاث طبقات من الخلايا في الشعير. على المستوى التغذوي ، تبدو نتائج قيمة البروتين منخفضة بين الأنواع ، فهي أقل بالنسبة للقمح الطري (زيدن) من القمح الصلب (تشينز) ، وهي مماثلة لشعير (صيدا) بمعدل 0.005 مجم / مل. وتجدر الإشارة إلى أن معادن القمح بشكل عام غنية بالكالسيوم بقيم 10.65 و 8.07 جزء في المليون لشنز وزيدن على التوالي و 2.1 جزء في المليون للشعير. منناحية أخرى، يتشابه تركيزالمغنيسيوم تقريبًا في الأنواع الثلاثة شنس، زيدان و سعيدة. كما أظهرت النتائج أن الأصناف المختلفة تحتوي على مستويات عالية من الصوديوم مقارنة بالبوتاسيوم بقيم 33.78 مجم / لتر وتقريباً 19 مجم / لتر للصنف صيدا وزيدن على التوالي وتجدر الإشارة إلى وجود معدل ملحوظ من البوتاسيوم في بني هارون تريتيكال بقيمة 329.33 ملجم / لتر. يختلف معدل الألياف اختلافًا طفيفًا بين نوعي القمح اللين والقمح الصلب والذي يبلغ 1.5٪ وهو منخفض بالنسبة للشعير بقيمة 0.8٪.

المستخلصات (الميثانولية) التي تم الحصول عليها والتي تعتبرالأكثرفاعلية، تكون أكثرثراءً في البوليفينول إجمالي ±550) (427± 1.2 µg EAG, EQ /mg E)،0.34 µg EAG, EQ /mg E) في القمح الصلب (شنس) وصنف القمح اللين (زيدن) على التوالي وكذلك الفلافونويد (619± 1.5 µg EQ/mg E) يليه تريتيكال (بنيهارون)،في حين أن صنف الشعير (صيدا) هو الأكثر فاعلية بين المستخلصات الإيثانولية . تظهر نتائج توصيف البوليفينول بواسطة HPLCأن المستخلص الخام من صنف شنس يحتوي على ثلاثة أحماض فينولية حمض الغاليك وحمض الحقن وحمض الهيدروكسي بينزويك. تم الحصول على أعلى نسبة IC50باستخدام المستخلص الميثانولي لنوعين من القمح الصلب زدن والقمح القاسي شنسIC50) (1.7; IC50 = 0.74 =على التوالي، و منناحية أخرى، فإن المستخلص الإيثانولي الأكثركفاءة هوالشعير فوارة (IC50=1.91) .

الكلمات المفتاحية:الحبوب، الأنواع، القمح، الشعير، الطبقات المحيطية، القيم الغذائية، نشاط مضادات الأكسدة

Liste des Figures

Figure 1: production des céréales, utilisation et stocks 2021 ……5
Figure 2: Évolution de la production algérienne de céréales de la période 2000/2012 8
Figure 3: Production de céréales en hiver par type en Algérie 2015-2017 9
Figure 4: Production mondiale d'orge en 2010-2011 (millions de tonnes) 10
Figure 5: blé tendre (*Triticum aestivum)* 11
Figure 6: Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) 13
Figure 7: l'Orge 14
Figure 8: Phylogénie des blés polyploïdes 16
Figure 9: Origine probable de *T. turgidurn* et *T .estivurn* 17
Figure 10: Représentation schématique d'un grain d'orge en coupe longitudinale. 18
Figure 11: Coupe longitudinale d'un grain de blé 20
Figure 12: Histologie du grain de blé 23
Figure 13: structure anatomique du son de blé 27
Figure 14: les étapes de la dissection des couches périphériques des grains de blé, l'orge et triticale 40
Figure 15: Schéma récapitulatif des procédés d'extractions utilisés 44
Figure 16: Protocole suivi pour le dosage des composés phénoliques selon 48
Figure 17 : Image microscopique des CP de deux espèces (blé et orge) à l'aide d'un Microscope électronique à balayage**.** 55
Figure 18 : Observation des couches périphériques de trois variétés de blé mûr A : Variété Chen's ; B : Varité Ziden et C : Variété Boumerzoug à l'aide d'un Microscope électronique à balayage **(×100 jusqu'à ×1600).** 56
Figure 19: l'Absorbance en fonction des concentrations du standard BSA ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 20: Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Ziden. 62
Figure 21 : Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Chen's. 63
Figure 22: Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Saida. 63

Liste des tableaux

Tableau 1: La production et les stocks mondiaux de céréales (2021)..... 6
Tableau 2: La production et les stocks mondiaux du Blé 6
Tableau 3: composition nutritive du son de blé..... 26
Tableau 4:composition chimique du grain d'orge. 27
Tableau 5: Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé 29
Tableau 6: Composition en acides gras (AG) des lipides des grains de céréales en pourcentage du total des AG..... 30
Tableau 7: les différences de composition des protéines entre les différentes céréales..... 31
Tableau 8: Composition en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains de blé et l'orge 32
Tableau 9:Composition moyenne en minéraux du grain de blé et des différents produits de mouture (en mg / 100g de matière sèche) 32
Tableau 10: Composition des vitamines existant dans 100g de grains d'orge complets. 33
Tableau 11: Les différentes espèces et variétés cultivées en Algérie 39
Tableau 12: Résultats du dosage des protéines par la méthode Bradford exprimé en mg/ml des deux variétés de blé tendre (Ziden) et blé dur (Chen's) et d'orge (Saida) 57
Tableau 13 : Concentration de différents minéraux exprimés en ppm par la méthode SAA ainsi que le dosage (Na+ e K+) par spectrophotométrie a flemme des deux variétés de blé et orge (Chen's, Ziden et Saida)..... 58
Tableau 14: pourcentage des fibres brutes des trois variétés de blé (Chen's, Ziden et Saida) 59
Tableau 15: Teneurs en composés phénoliques des extraits éthanoïques par la méthode de macération de différentes variétés de grain de blé. 60
Tableau 16: Teneurs en composés phénoliques des extraits méthanoïques avec leurs fractions des deux variétés (Ziden et Chen's) par la méthode d'infusion..... 61
Tableau 17: Valeurs des IC50 des extraits des variétés de blé par la méthode de macération avec de l'éthanol. 65
Tableau 18: Valeurs des IC50 des extraits des deux variétés de blé (Chen's et Ziden) par la méthode d'infusion avec du méthanol..... 66
Tableau 19: Valeurs des EC50 des extraits des variétés par le mode de macération avec de l'éthanol..... 66
Tableau 20: Valeurs des EC50 des extraits des deux variétés par le mode d'infusion avec du méthanol 67

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
SB: Son de Blé
CP : couche périphérique
HPLC : chromatographie en phase liquide haute performance
AL : Aleurone Layer
FRAP: Ferric reducing ability of plasma
SAA: spectrophotometer 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-hydroxylé
BSA : Albumine de sérumbovin
OF : Orge Feouara
OS : Orge Saïda
TKS : Triticale KserSbahi
TBH : Triticale Beni Haroun
BTB : Blé Tendre Boumerzoug
BTZ : Blé dur Ziden
BDC : Blé dur Chen's
PPM : partie par million

Sommaire

I. Travaux antérieurs 4

I.1 L'importance des céréales 5

I.1.1 Les céréales dans le monde 5

I.1.2 Le blé en Algérie 7

I.1.3 L'orge en Algérie 8

I.2 Les grands types de céréales et leurs caractères génomiques 10

I.2.1 Le blé tendre Triticum aestivum 10

I.2.2 Le blé Dur Triticum Durum 12

I.2.3 L'orge Hordeum Vulgare 13

I.2.4 Triticale (Triticum) 15

I.3 Caractéristiques botaniques et histologiques du Blé et d'orge 15

I.3.1 Caractères botaniques du grain de blé 15

I.3.2 Histologie du grain d'orge 18

I.3.3 Les différentes parties qui constituent les grains de blé et d'orge 19

I.3.3.1 L'Albumen 19

I.3.3.2 Le germe 19

I.3.3.3 Les Enveloppes 19

I.4 Les parois des cellules végétales 21

I.4.1 Principales fonctions des parois végétales 22

I.4.2 La croissance et l'adaptation des parois des plantes 22

I.5 Les couches périphériques du blé 23

I.5.1 Composition histologique des couches périphériques 23

I.5.1.1 La Couche a aleurone..... 24

I.5.1.2 Testa..... 24

I.5.1.3 Péricarpe interne et externe..... 25

I.5.1.4 Couche hyaline..... 25

I.5.2 Composition biochimique des couches périphériques 25

I.6 Composition chimique des différentes parties du grain 28

I.6.1 Glucides 28

I.6.2 Amidon 28

I.6.3 Lipides..... 30

I.6.4 Protéines 30

I.6.5 Matières minérales..... 31

I.6.6 Les fibres..... 32

I.6.7 Vitamines..... 33

I.6.8 Les enzymes..... 34

I.6.9 Les Composés phénoliques 34

I.6.9.1 Les polyphénols 34

I.6.9.2 Flavonoïdes..... 35

I.6.9.3 Les Tannins..... 35

I.6.9.4 Les effets bénéfiques des polyphénols..... 35

I.6.9.5 Effets biologiques et antioxydants des polyphénols 36

I.6.10 Différents domaines d'utilisation des couches périphériques (son de blé)..... 36

I.6.10.1 En boulangerie..... 36

I.6.10.2 Dans l'Industrie 36

I.6.10.3 Alimentation animale 37

I.7 Les exigences climatiques du blé 37

II. Etude Experimentale 38

II.1 Matériels et Méthodes 39

II.1.1 Présentation du matériel végétal 39

II.1.1.1 Isolement des couches périphériques des graines 40

II.1.2 Observation par le Microscope électronique à balayage des différentes couches périphériques (CP) des grains : 41

II.1.3 Préparation des extraits des couches périphériques 41

II.1.4 Valeur nutritionnelle des couches périphériques des grains de blé et orge 45

II.1.4.1 Dosage des protéines par la méthode de Bradford 45

II.1.4.2 Dosage des minéraux 45

II.1.4.2.1 Dosage des minéraux par spectrophotomètre à absorption atomique (SAA) 45

II.1.4.2.2 Dosage des minéraux (Potassium et Sodium) par spectrophotomètre à flamme 46

II.1.4.3 Dosage de fibres brutes (Weende) 47

II.1.5 Dosages des métabolites secondaires des couches périphériques 48

II.1.5.1 Dosage des polyphénols totaux 48

II.1.5.2 Dosage des flavonoïdes totaux 49

II.1.6 Caractérisation des composés phénoliques des couches périphériques des grains de blé et d'orge par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D 49

II.1.7 Étude de l'Activité antioxydante des couches périphériques 50

II.1.7.1 Activité antiradicalaire du DPPH 50

II.1.7.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP) 51

II.1.8 Analyse statistique 52

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS 53

III.1 Résultats 54

III.1.1 Le choix de matériel végétal 54

III.1.2 Résultats de l'observation microscopique électronique à balayage (MEB) 54

III.1.3 Résultats de la valeur nutritionnelle des couches périphériques des grains de blé et orge 57

III.1.3.1 Résultat du Dosage des protéines 57

III.1.3.2 Résultats du dosage des minéraux 57

III.1.3.2.1 Dosage des minéraux par spectrophotomètre a absorption atomique (SAA) ainsi que le dosage du Na+ et K+ par spectrophotométrie a flamme 57

III.1.3.3 Résultats du dosage des Fibres brutes 59

III.1.4 Résultat du dosage des polyphénols totaux des extraits de couche périphérique de blé tendre, dur, l'orge et triticale 59

III.1.5 Résultat de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D des couches périphériques des trois variétés (Chen's, Ziden et Saida) 61

III.1.6 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante des couches périphériques 64

III.1.6.1 Piégeage de la radicale libre DPPH 64

III.1.6.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP) 64

III.2 Discussion 67

Sur la valeur nutritionnelle 69

Sur la valeur biologique en polyphénols totaux et en flavonoïdes 72

Résultats de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D 74

Activités antioxydantes 75

IV. CONCLUSION GÉNÉRALE 78

V. Références bibliographiques 81

VI. Annexes 102

Introduction

Les céréales (blé, orge, maïs et triticale) contribuent considérablement à l'alimentation humaine en fournissant de l'énergie, protéines, micronutriments, vitamines et antioxydants. Dans le blé, l'amidon et les protéines s'accumulent dans l'endosperme alors que la plupart des phytonutriments se trouvent dans les couches périphériques (CP). Ces couches sont la partie externe de l'endosperme et sont éliminées avec le son **(Meziani *et al.,* 2021).** En Algérie, ils occupent une place très stratégique dans le système alimentaire.

La consommation de grains entiers est très bénéfique pour la santé en raison de leur richesse en métabolites secondaires qui sont des polyphénols principalement des flavonoïdes et des acides phénoliques **(Viol *et al.,* 2013),** qui aident à protéger contre les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer colorectal grâce a leurs richesses en fibres **(Tayyem *et al.,* 2016),** soutient également le système immunitaire en raison de la teneur en vitamine C, ainsi que vitamine E liposoluble (tocols) (**Martínez, 2018 ; Abdel-Aal *et al.,* 2014).**

Le blé, orge ainsi que le triticale font partie des espèces de céréales les plus importantes dans la récolte mondiale et les plus consommées par l'homme, sont composés de plusieurs tissus différents **(Kellogg *et al.,* 2001, Rahal-Bouziane 2015).** Le blé (famille des graminées ou poacées) est une céréale appartenant au genre *Triticum*. Il traite de nombreux avantages pour la nutrition humaine. L'orge et le triticale sont des céréales aux multiples avantages bénéfiques pour l'alimentation humaine et animale. L'Orge qui constitue une partie très importante des ressources alimentaires possède des propriétés biologiques très intéressantes **(Violet, 2005),** bénéfiques à la santé humaine. Ils sont utilisés dans diverses applications à savoir : pharmacologie **(Hans *et al.,* 2007),** agroalimentaire **(Noars, 2005)** et cosmologie **(Nathan, 2002),** ces métabolites sont les polyphénols principalement flavonoïdes et acides phénoliques **(Anson *et al.,* 2010 ; Chiboub *et al.,* 2017)**. Le blé, l'orge et le triticale avec ces différentes variétés présentent également de nombreuses caractéristiques bénéfiques en raison de leur rendement riche en protéines, fibres, vitamines, minéraux **(Antoine *et al.,* 2002 ; Amrein *et al.,* 2003)**.

On distingue sur la surface externe vers le centre des grains de blé, d'orge et de triticale, l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine ou testa qui est principalement composés de polysaccharides, ainsi que d'une plus petite quantité de protéines, de lipides, et

des composés phénoliques qui participent au métabolisme de la paroi cellulaire, et enfin à l'intérieur de la graine, la bande hyaline, l'albumen et le germe. **(Leslie, 2012).**

Au point de vue histologique entre les grains de blé et d'orge, on signale une grande différence dans les couches périphériques, plus particulièrement dans la couche des cellules d'aleurone **(Saulnier, 2012, Mezianiet *al.,* 2014)**. Plusieurs études ont été menées sur différentes étapes, variétés et parties de cette graine, nous aidant à comprendre ces bienfaits pour la santé afin de la valoriser **(Viol *et al.,* 2013 ; Tarfaoui *et al.,* 2020).** La mouture conventionnelle des grains de blé est basée sur la séparation de l'endosperme (qui produit la farine blanche lorsqu'il est moulu) des couches de son et de l'embryon. Les cellules d'aleurone, ainsi que les autres couches de son et l'embryon, sont exclues pour former la fraction de son. Cependant ces tissus ont un potentiel nutritionnel très important et contiennent de différents micronutriments **(Slavin, 2003; Fardet, 2010).** Le son de blé est collecté comme coproduit de la meunerie. Il représente environ 15% (p/p) du grain total et est composé de plusieurs couches cellulaires dites périphériques (CP) : couche d'aleurone (AL), tégument ou nucelle, hyalin, testa (issu de la paroi interne de l'ovaire) et la couche de péricarpe qui est divisé en deux parties de péricarpe externe et interne, avec un amidon adhérent restant dans l'endosperme **(FAO, 1970).**

Il est bien connu que les CP sont riches en minéraux apportant environ 40% des minéraux du grain: phosphore (principalement phytate), potassium, magnésium, zinc et fer sont tous les plus abondants dans le son de blé **(Qiu *et al.,* 2016). Liyana-Pathirana *et al.,* 2006** ont montré que la majorité de l'acide phénolique existe dans la couche d'aleurone et le son associé aux matériaux de la paroi cellulaire, tels que les polysaccharides et les lignines.

À la lumière des travaux amenés par **Meziani *et al.,* 2012 et 2014, 2021** et pour confirmer ces résultats obtenus, où aucune différence significative n'a été trouvée pour la composition nutritionnelle dans la couche périphérique (couche d'aleurone) des variétés de mêmes espèces (intraspécifique). C'est pourquoi notre choix s'est porté sur la variabilité dans l'interspécifique entre le génome de blé tendre AABBDD et le génome de blé dur AABB, de l'orge et de triticale.

Ce travail devrait permettre de mieux comprendre les propriétés biologiques présentes dans ces couches du grain dans les quatre espèces. Ces couches ont aussi un rôle spécifique de

synthèse de nombreux métabolites secondaires présents dans ce tissu ainsi que dans la régulation et la protection vis-à-vis des facteurs biotiques et abiotiques. Il apparaît donc important d'analyser la valeur du grain représentant des quatre espèces cultivées en Algérie.

Cette problématique est abordée selon deux axes d'analyse complémentaires : de rechercher la variabilité interspécifique des couches périphériques en composition minérale, en nutriments et en antioxydants, entre les différentes espèces de céréales le blé tendre (*Triticum aestivum*) Ziden et Boumerzoug, le blé dur (*Triticum durum*) Chen's, triticale l'Orge (*Hordum Vulgare*) Saida et Fouara et (*Triticale*) Ksar Sbahi et Beni Haroun récoltés en Algérie dans l'année 2017. Afin de répondre à nos suppositions de départ nous avons fixé une série d'objectifs secondaires suivant l'ordre chronologique ci-après :

- Une séparation manuelle des couches périphériques des sept variétés a été réalisée à l'aide d'une lampe binoculaire suivie par une observation par le microscope électronique à balayage.
- Détermination de la valeur nutritionnelle par les différentes analyses,
  - Dosages des protéines par la méthode de Bradford
  - Dosage des minéraux par deux méthodes
    - Dosage des minéraux par spectrophotomètre à absorption atomique (SAA).
    - Dosage des minéraux (Potassium et Sodium) par spectrophotomètre à flamme.
- Dosage des fibres brutes
- Dosage des molécules naturelles (composés phénoliques) et caractérisation des composés phénoliques par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D des trois variétés Chen's, Ziden et Saida (blé tendre, blé dur et orge).
- Étude de l'activité antioxydante des couches périphériques des sept variétés a été évaluer par deux méthodes la méthode du piégeage du radical 1,1 diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) et le pouvoir réducteur du fer (FRAP).

Enfin, une conclusion générale nous permettra de synthétiser ces résultats, de souligner leurs apports et d'envisager quelques perspectives à plus ou moins long terme

I. Travaux antérieurs

I.1 L'importance des céréales

I.1.1 Les céréales dans le monde

Les céréales constituent la base et la principale ressource alimentaire de l'homme et les animaux domestiques. La superficie mondiale consacrée aux céréales est très importante se situe autour de 692 millions d'hectares, et sa production mondiale est de l'ordre de 2.316 milliards de tonnes **(U.S.D.A 2011/2012).**

La production céréalière mondiale à été en recul en 2014 (2,458 millions de tonnes) par apport au 2013 (2.521 millions de tonnes). La dernière prévision de FAO relatives à la production mondiale de céréale en 2016 années record est de 2.577 millions de tonnes.

Les statistiques de la production de blé au cours des années de commercialisation 2015/2016 jusqu'à 2017 a été prévu que la Chine produise plus de 125 millions de tonnes de blé par rapport aux presque 145 millions de l'Union européenne.

L'année 2016 a été fertile pour la Russie qui est devenue le premier exportateur mondial de blé devant les États-Unis et la France indique le centre Russe de l'exportation (CRE), publier aussi en janvier 2017 par le département de l'agriculture des États-Unis (USDA), dont la production de blé russe augmentera pour passer de 72,5 à 77,5 millions de tonnes.

Les prévisions de la **FAO (2021)** concernant la production de céréales qui a subi une baisse 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 mondiaux de céréales ont été révisés à la baisse, mais l'offre globale reste satisfaisante en 2021-2022.

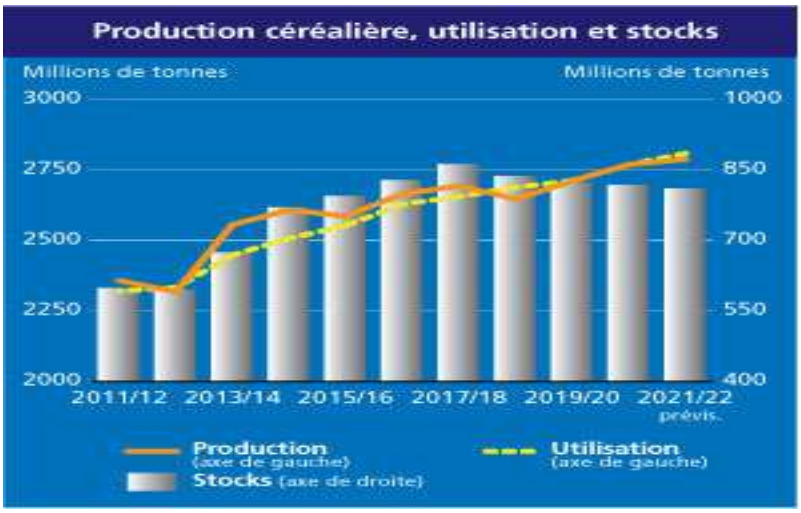


Figure 1: production des céréales, utilisation et stocks 2021
(http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/)

Tableau 1: La production et les stocks mondiaux de céréales (2021)

(http://www.fao.org/faostat/fr/data/QC)

Marché Mondial des Céréales					
	2017/2018	**2018/2019**	**2019/2020**	**2020/2021 Estimation**	**2021/2022 Prévision**
Millions de tonnes					
Production	2 694.9	2 647.7	2 712.1	2 772.0	2 791.3
Disponibilités	3 520.1	3 506.9	3 546.5	3 598.2	3 618.8
Utilisation	2 658.9	2.690.3	2 712.4	2 762.1	2 809.6
Commerce	423.2	411	439.4	475.7	480.3
Stocks de clôture	859.2	834.5	825.2	827.5	822.1

Tableau 2: La production et les stocks mondiaux du Blé

(http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC 2021)

Marché mondial du Blé					
	2017/2018	**2018/2019**	**2019/2020**	**2020/2021 Estimation**	**2021/2022 Prévision**
Millions de tonnes					
Production	761.6	731.4	760.2	776.5	769.6
Disponibilités	1 027.5	1 020.6	1 034.1	1 056.3	1 059.1
Utilisation	738.9	750.3	751.7	761.8	777.0
Commerce	177.8	168.6	183.9	189.1	193.3
Stocks de clôtures	289.1	273.9	279.8	289.5	284.7

I.1.2 Le blé en Algérie

L'organisation onusienne prévoit une augmentation des importations algériennes de céréales, essentiellement de blé, qui devraient connaître une hausse de 25% par rapport à l'année 2020 et de 7% au-dessus de la moyenne durant la saison de commercialisation 2021/2022. Les rendements céréaliers en Algérie sont très variables et dépendent de la quantité et de la répartition des précipitations **(FAO 2021)** ainsi que les techniques classiques utilisées par les agriculteurs.

Selon FAO, 2021 la production totale de céréales est estimée à 3,5 millions de tonnes, ce qui est inférieur à la moyenne quinquennale et environ 38 pour cent de moins que l'année précédente.

L'Algérie est classée à la seconde place derrière l'Égypte dans les importations du blé d'après l'office algérien interprofessionnel des céréales **(OAIC).**

Selon le centre des statistiques relevant des Douanes (Cnis), la facture des importations des céréales (blé, mais, orge) a baissé de plus de 28% durant les huit premiers mois de 2016, mais la quantité importe ont enregistré un recul, sauf pour le blé tendre, s'établissant à 7,33 millions de tonnes contre 7,8 millions de tonnes durant la période de 2015, en baisse de 5,91% selon les mêmes sources. Cette augmentation de blé tendre importé en Algérie s'explique par le mode de consommation de la population, basé principalement sur le pain.

Le département américain de l'agriculture (USDA) prévoit que la consommation de blé de l'Algérie été entre 10,7 et 11 millions de tonnes durant la saison 2020/2021, alors que la production locale de blé diminuera de 5,1% à 3,75 millions de tonnes au cours de la même période.

L'origine des importations de blé tendre, elles ne font aucun doute qu'elles proviennent de l'ancienne puissance coloniale en l'occurrence la France. En effet, les chargements dans les ports en France ont d'ailleurs augmenté ces derniers jours et près de 90 kt de blé seraient partis vers l'Algérie.

Décembre ou début 2022. Des rapports indiquent également que l'Algérie était une destination de choix pour le blé russe (200 000 MT) en décembre **(USDA)**.

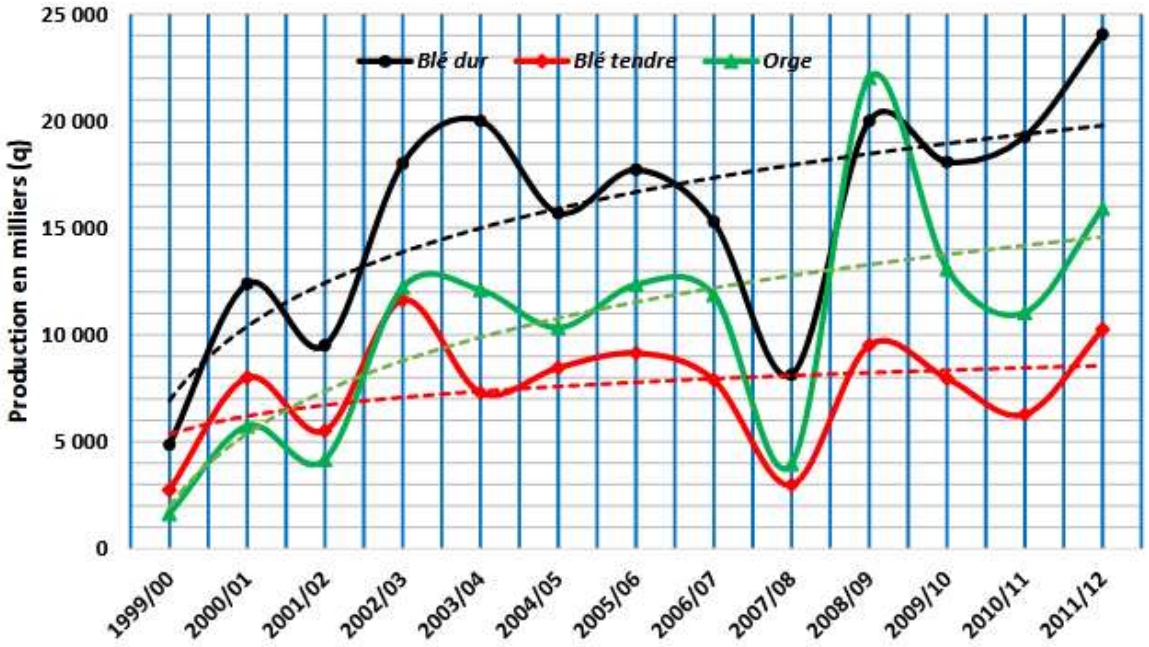


Figure 2: Évolution de la production algérienne de céréales de la période 2000/2012

(Benbelkassem *et al.*, 2013)

I.1.3 L'orge en Algérie

En Algérie, la production céréalière reste toujours faible et particulièrement la production en orge qui est liée à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques. L'orge (*Hordeum vulgare L.*) a toujours occupé une place importante parmi les autres céréales (blés dur et tendre) en Algérie. Ses qualités nutritionnelles sur la santé humaine font d'elle une culture qui mérite une attention particulière, son rôle dans l'alimentation animale a toujours été et reste fondamental.

L'orge qui constituait à côté du blé dur un aliment de base chez les populations algériennes, qui a perdu sa place importante dans la cuisine algérienne suite à plusieurs facteurs qui ont bouleversé les habitudes culinaires, aussi bien sur le plan de la santé humaine que sur le plan économique. Les statistiques montrent que la culture de l'orge a été en voie d'augmentation jusqu'en 1900 selon **Hakimi, 1993,** depuis 1910, la situation des céréales en Algérie s'est encore aggravée tout au long de la période coloniale.

Le rendement de l'orge stagne à une valeur de 6,7 q/ha. Sa production se caractérise par une grande irrégularité allant de 1,6 à 18 millions de quintaux/an en 2000 et 1991 respectivement, puis le rendement en orge qui est une céréale essentiellement utilisée comme fourrage a augmenté passant de 300 000 tonnes à 573 000 tonnes en 2001, malheureusement la quantité importée d'orge est d'environ 600 000 tonnes pour la compagne de commercialisation **(Benmahammed, 2005).**

Le blé dur et l'orge occupent la majore partie de superficie ensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009 avec 74% de la sole céréalière totale. La production d'orge au cours de la période 2010-2017 représente 29% d'après le ministère de l'Agriculture et le développement rural.

Au plan mondial, l'Union européenne est de très loin, le principal producteur d'orge dans le monde, en 2010/2011, trois pays dominent les exportations : l'Union européenne (28%), Australie (27%) et l'Ukraine (25%) **(Livre Blanc, 2011**).

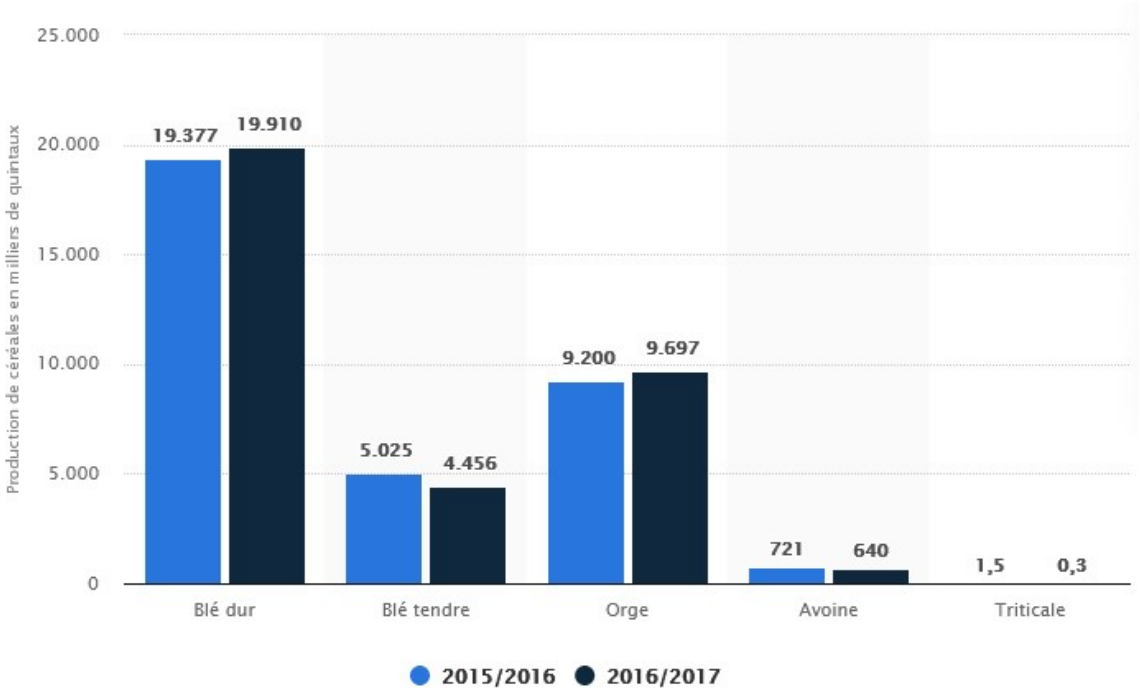


Figure 3: Production de céréales en hiver par type en Algérie 2015-2017 (https://fr.statista.com/statistiques/990881/production-totale-de-cereales-par-type-en-hiver-algerie/10 mai 2019/)

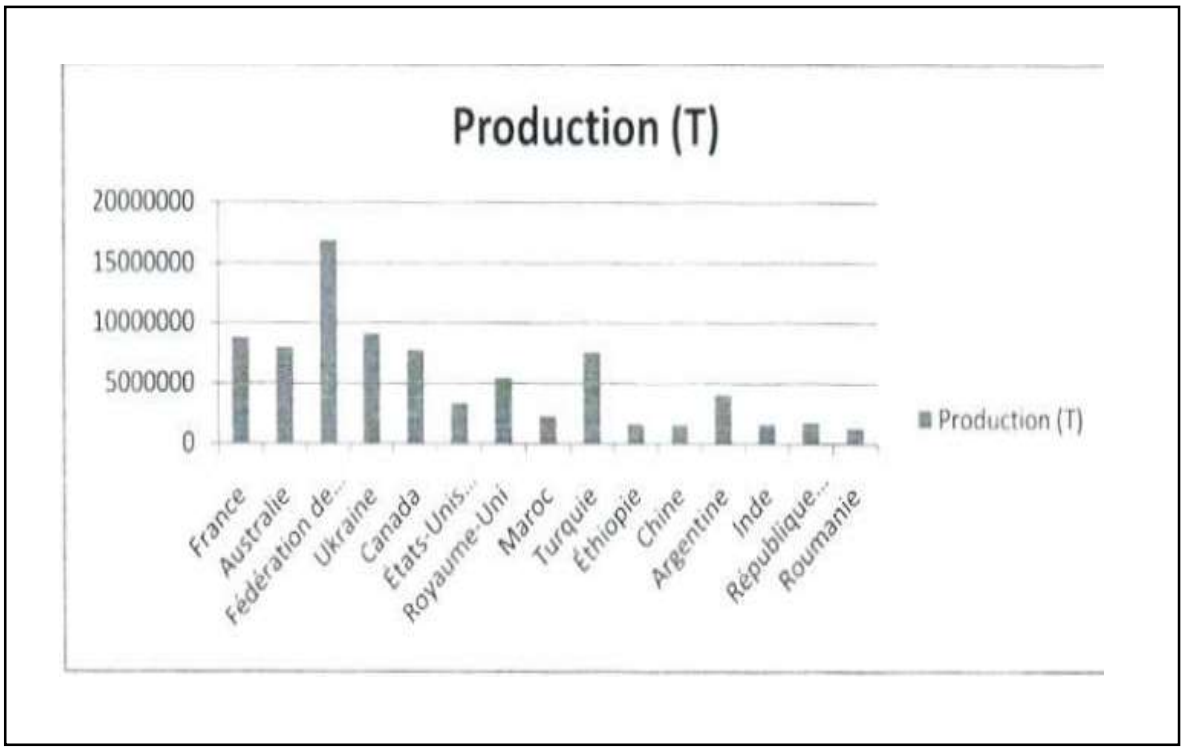


Figure 4: Production mondiale d'orge en 2010-2011 (millions de tonnes)
(http://faostat.fao.org/site/DesktopDefault.aspx?PageID=3 39&lang=fr).

I.2 Les grands types de céréales et leurs caractères génomiques

I.2.1 Le blé tendre Triticum aestivum

Le blé tendre *Triticum aestivum* est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile comprenant la Série, Iran, Jordanie, Palestine, Iraq et la Turquie **(Lev-Yadun et al, 2002).**

Le blé tendre à une composition complexe, il possède une structure héxaploide (AA, BB, DD), soit 42 chromosomes au total. Tout ça à était mis en évidence grâce à des études cytogénétique et moléculaire **(Brancourt *et al.,* 1994).**L'origine géographique du blé tendre est le nord-ouest de l'Iran ou le nord-est de la Turquie.

D'un point de vue phylogénétique le blé tendre est issu de deux hybridations interspécifiques suivies d'un doublement chromosomique. *Triticum aestivum* est un hallohéxaploides (2n=42) avec 3 génomes A, B, D. Le donneur du génome A est le blé diploïde *T.monococum ou T.urartu,* le donneur du génome B aurait été apporté par un *Aegilops et* le génome D a pour origine *A. squarrosa.*

Le croisement du génome A avec le génome B fait apparaitre un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes, après dédoublement chromosomique est apparu *Triticumturgidum Dicoccoides* (AA, BB). **(Gill et Friebe, 2002 ; Chen *et al,* 1984 et**

Chapman et Estelle, 2009). Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum Turgillum ssp. Dicoccoides* et *Aegilops tauschii* (D), ce qui a donné un individu (ABD) possède 21 chromosomes qui va subir a son tour un doublement chromosomique (AA, BB, DD) et il est l'ancêtre de *Triticum aestivum* **(Picard *et al.,* 1988).**

Le blé tendre est une plante herbacée annuelle pouvant atteindre une hauteur de plus de 1,5 mètre, c'est une céréale de climat tempéré la température minimale de germination des graines se situe entre 3 et 4°C, la floraison débute lorsque la T° dépasse 14°C. *T.aestivum* est une graminée annuelle ou annuelle hivernale, les feuilles ont un limbe plane, et l'inflorescence est un épi terminal (**Lersten *et al.,* 1987).**La polyploïdisation à jouer un rôle majeur dans l'évolution de la famille des Poacées. **(Salse *et al.,* 2008, Bolot *et al.,* 2009)** et le séquençage du génome du blé tendre est très difficile à cause de sa taille ainsi que la forte proportion de séquence répétée.**(Paux *et al.,* 2008).**

L'exportation du blé tendre fut 42% en 2009, tandis que l'utilisation nationale concerne l'alimentation animale qui représente le plus gros débouché (5,6 Mt), suivie de l'alimentation humaine avec 5 (Mt) **(Debiton *et al.,* 2010).**

La production nationale est loin de couvrir les besoins d'une population, le total des importations de blé tendre a atteint 6.4 millions de tonnes en 2016, soit une facture estimée à 1260 millions de dollars **(Fellahi *et al.,* 2018)**

Le blé tendre est l'espèce le plus cultivée, car il présente de nombreuses caractéristiques bénéfiques telles que la résistance aux variations climatiques **(Levitt *et al.,* 1980)** et aux maladies offre un rendement intéressant et riche en protéines et particulièrement en gluten qui donne une certaine élasticité aux pâtes comme la pâte à pain. Aujourd'hui, le blé tendre constitue une importante source alimentaire et économique mondiale **(FAO ; 2018).**



Figure 5: blé tendre (*Triticum aestivum)*

I.2.2 Le blé Dur Triticum Durum

Le blé dur actuellement cultivé *T.turgidum ssp. Durum* appartient au groupe tétraploïde (2n= 4X= 28, BB AA) apparait avec l'empire romain il y a environ 3000-4000 ans. Il appartient au groupe des spermaphytes et au groupe des angiospermes, à la classe des monocotylédones **(Grignac *et al.,* 1965 ; Prat *et al.,* 1966)**, d'après Prat 1966 on distingue trois sous-espèces méditerranéennes, Syriacum et Europeum. Le blé dur est principalement cultivé sous le climat sec dont la France et l'Italie ainsi que dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord **(Bonjean *et al.,* 2016).**

La production mondiale du blé dur est de 38 métriques de tons en 2014 **(Ranieri, 2015),** en Algérie 45% de sole est réservée aux céréales (ONFA (Ocala National Forest Association) 2017) **,** offre une production de 2.5 millions de tonnes qui reste insuffisante à cause des précipitations irrégulières caractérisant la zone méditerranéenne **(Habash *et al.,* 2009)** et les températures élevées de fin de cycle **(Mekhlouf *et al.,* 2006).** Une moyenne de 2 MT de blé dur est importée chaque année (USDA, 2017).

Les deux facteurs production et consommation situent l'Algérie comme premier importateur mondial de blé dur avec un taux d'achat de 40à 50% des quantités échangées sur le marché mondial **(Rachedi *et al.,* 2003).** Les pays exportateurs sont le Canada, les États-Unis et la République Argentine qui dispose d'environ 4 millions de tonnes.

Les qualités nutritives de *Triticum durum* sont particulièrement intéressent, il est utilisé en totalité pour l'alimentation humaine **(Ayaġan *et al.,* 2017),** on peut donc retenir que le blé dur affiche un taux élevé en matière protéique (les protéides) qui aide à la construction des tissus, contient des acides aminés indispensables à l'organisme. Il est conseillé de manger la semoule de blé, pour sa richesse en vitamines, des sels minéraux, des enzymes et peu de matière grasse.

En général, l'albumen amylacé chez le blé dur occupe une place plus importante que le blé tendre. Néanmoins, la teneur en lysine, leucine et arginine est souvent supérieure. Or, cet acide aminé essentiel est toujours fortement déficitaire dans une ration à base de grains de céréale. Malheureusement, une partie importante de la lysine se trouve concentrée dans les protéines du germe qui normalement dans les techniques modernes est supprimé avant la monture **(Godon et Willm., 1991).**

La teneur en lipides du grain entier atteint comme chez le blé tendre 1,5 à 2% **(Narducci *et al.,* 2019)**, mais les acides linoléiques et linoléniques se trouvent en plus grande proportion, ce qui entraine une concentration plus élevée en vitamine E, surtout présente dans le germe. Les autres vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine) se rencontrent surtout

dans le germe, le scutellum et la couche à aleurone. Enfin, les matières minérales 1,2 à 2,2% du grain total sont surtout concentrées dans les enveloppes et le germe et sont constituées de potassium, phosphore, soufre et magnésium.



Figure 6: Le blé dur (*Triticum durum Desf.*)

I.2.3 L'orge Hordeum Vulgare

L'orge est une plante annuelle de la classe des monocotylédones appartient à la famille des graminées et au genre *Hordeum* qui comprend 31 espèces, mais seule vulgare est couramment cultivée, qui est une espèce diploïde (2n=14). Il est classé selon les types printemps ou hiver. Se sont des plantes herbacées qui poussent en touffes, elles sont constituées par les racines, les feuilles, la tige et l'épi dans lesquels sont contenues les graines.

Au début du XIXe siècle, l'orge venait en tête des cultures par son importance, elle était destinée aux troupeaux **(Hakimi *et al.*, 1993).** L'orge occupe la quatrième place en termes de production céréalière et de surface cultivées. La quantité d'orge récoltée est d'environ 140 millions de tonnes, mais sa production à baisser depuis 20 ans. Selon la FAO, la production mondiale de l'orge n'a pas connu de grandes variations durant la période 2012-2015.

Maintenant, admis que l'orge possède des bienfaits sur notre santé **(Biel *et al.*, 2013)**., c'est une source importante de fibres alimentaires qui sert de garder le colon en bonne santé et prévient des calcules biliaires. Soutiens le système immunitaire, car la teneur en vitamine C contenue dans l'orge est presque deux fois plus importante que celle trouvée dans les oranges. L'orge est une bonne source de sélénium qui préserve l'acide propionique qui aide à

maintenir les taux de cholestérol dans le sang, régule aussi le diabète et prévient des maladies cardiaques et le cancer.

L'orge est considérée comme un antioxydant très puissant d'après les recherches faites par **Chiboub *et al*., 2017,** les résultats ont montré que les deux méthodes (activité anti radicalaire et le pouvoir réducteur) possèdent une très bonne activité antioxydante supérieure à 75%, donc cette céréale contient des molécules qui sont considérées comme des agents antioxydants de première classe tels que les proanthocyanidines que l'on trouve en grande quantité, les acides féruliques et p coumarique, ont montré qu'ils possédaient des propriétés anti-inflammatoires et anticholestérolémiantes et peuvent être employé pour des applications thérapeutiques.

Le grain d'orge est une excellente source de fibres alimentaires solubles et insolubles dont les composantes les plus abondantes sont appelées bêta-glucanes CCG (Comission Canadienne Des Grains) en 2009. Des études ont permis d'apercevait que les béta-glucanes font baisser le cholestérol plasmatique, améliorent le métabolisme des lipides et réduisent l'indice.

L'herbe d'orge est un excellent antioxydant, elle favorise également la digestion et renforce l'immunité. Elle contient 45% de protéines ainsi que l'ensemble des éléments nutritifs réclamés au quotidien par notre corps (EUFIC 2009) indique que la consommation d'une graine complète d'orge peut constituer un aliment en soi.



Figure 7: l'Orge

I.2.4 Triticale (Triticum)

Le triticale est issu après hybridations du blé avec le seigle, la première réussite de cette hybridation date de 1876 par le botaniste Wilson. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que la culture du triticale se développe.

Le triticale est une culture récente, l'Europe est le premier producteur mondial (Pologne, Allemagne et la France).

En Algérie, le triticale a été introduit par la variété Armadillo en 1971, puis il a connu une augmentation des nombres de variétés (11 variétés), mais malheureusement ce nombre a été diminué suite à la vulgarisation et débouché économique.

C'est une plante de la famille des Poaceae compte plus de 600 genres et 10.000 espèces, poussant sous des latitudes et des climats diversifiés (**Kellogg, 2001).** Il est constitué de trois types de racines : embryonnaire, adventice et adventices embryonnaire **(Gasper et Bunatru, 1985),** avec des tiges de longueur varie entre 1.2m et 1.3m **(Zemerline.,1990).** Son épi ressemble fortement au seigle grand et barbu, tandis que le grain du triticale est un caryopse qui ressemble au grain du seigle alors que sa couleur est celle de blé (**Bernard et Bernard, 1987).**

Les triticales atteignent la maturité physiologique plus tardivement que le blé. La durée de ce stade est de 40 jours à 45 jours **(Laroche *et al.*, 1994).**

Le triticale renferme plusieurs intérêts, point de vue agronomique par son adaptation aux divers types de sols ainsi que sa résistance au froid, point de vue économique ils possèdent une meilleure productivité que les autres céréales d'hiver et il est utilisé dans l'alimentation humaine en mélange avec la farine de blé pour contribuer à la réduction des importations de blé tendre.

I.3 Caractéristiques botaniques et histologiques du Blé et d'orge

I.3.1 Caractères botaniques du grain de blé

L'appellation blé regroupe de nombreuses espèces qui appartiennent, selon la classification hiérarchique des espèces, aux angiospermes (plantes à fleurs) monocotylédones. La famille des *Poaceae* compte plus de 600 genres et 10.000 espèces, poussant sous des latitudes et des climats diversifiés **(Kellogg *et al.,* 2001).** De nombreuses espèces de cette famille ont été domestiquées et représentent un intérêt agronomique majeur, dont le riz (genre *Orysa*), le maïs (genre *Zea*), le sorgho (genre *Sorghum*), l'avoine (genre *Avena*), le seigle (genre *Secale*), l'orge (genre *Hordeum*) et le blé (‘genre *Triticum* et *Aegilops*).

Le blé est une plante de hauteur moyenne selon les variétés, il appartient au genre *Triticum,* de la famille des *Graminées* ou *Poacées.* Le blé fait partie des trois espèces les plus importantes dans la récolte mondiale et les plus consommés par l'homme. Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs **(Henry, 2001).**

Les graines de blé sont des fruits secs indéhiscents ne comporte qu'un seul cotylédon est appelé caryopse **(Feillet, 2000).** Elles ont une forme ovoïde, possèdent sur l'une de leurs faces une cavité longitudinale (le sillon) et ont l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils (la brosse). On distingue sur la surface externe vers le centre du grain, l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine ou testa et enfin, à l'intérieur de la graine, la bande hyaline, l'albumen et le germe. Le blé dur (*Triticumdurum)* tétraploïde (28n) et le blé tendre (*Triticumaestivum)* hexaploide (42n) sont deux espèces les plus cultivées dans le monde et en Algérie.

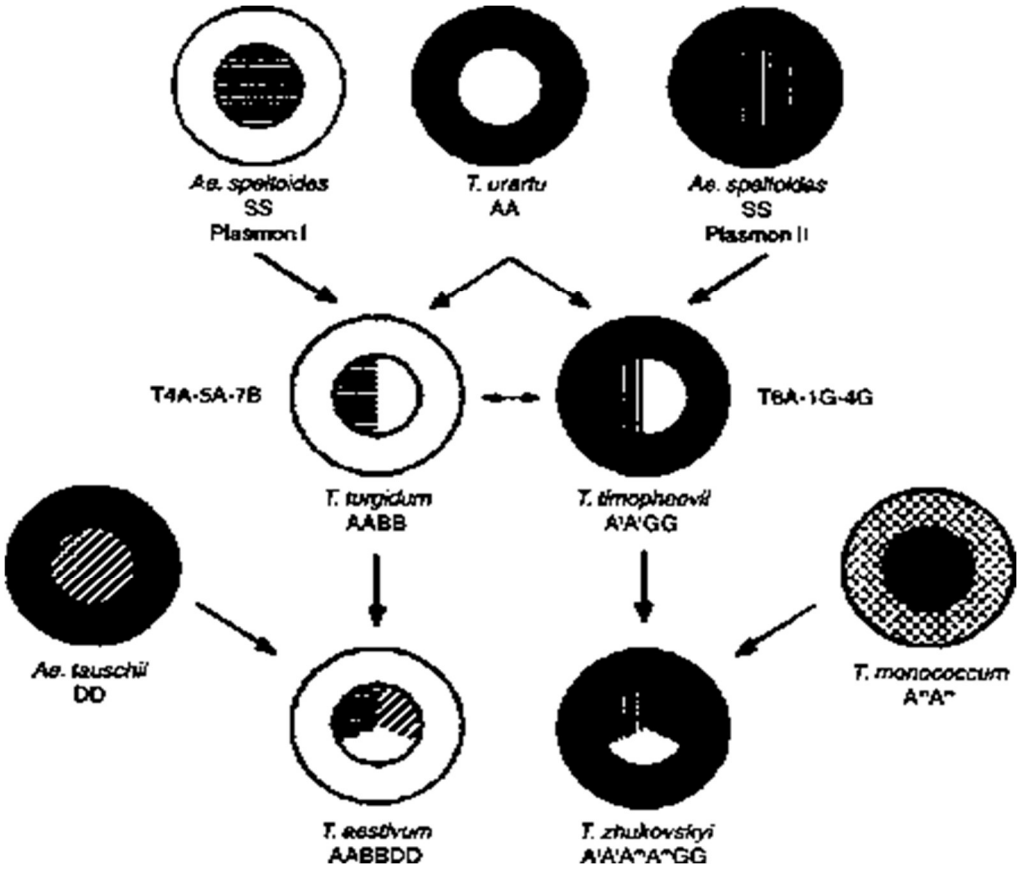


Figure 8: Phylogénie des blés polyploïdes **(Gill &Friebe, 2002).**

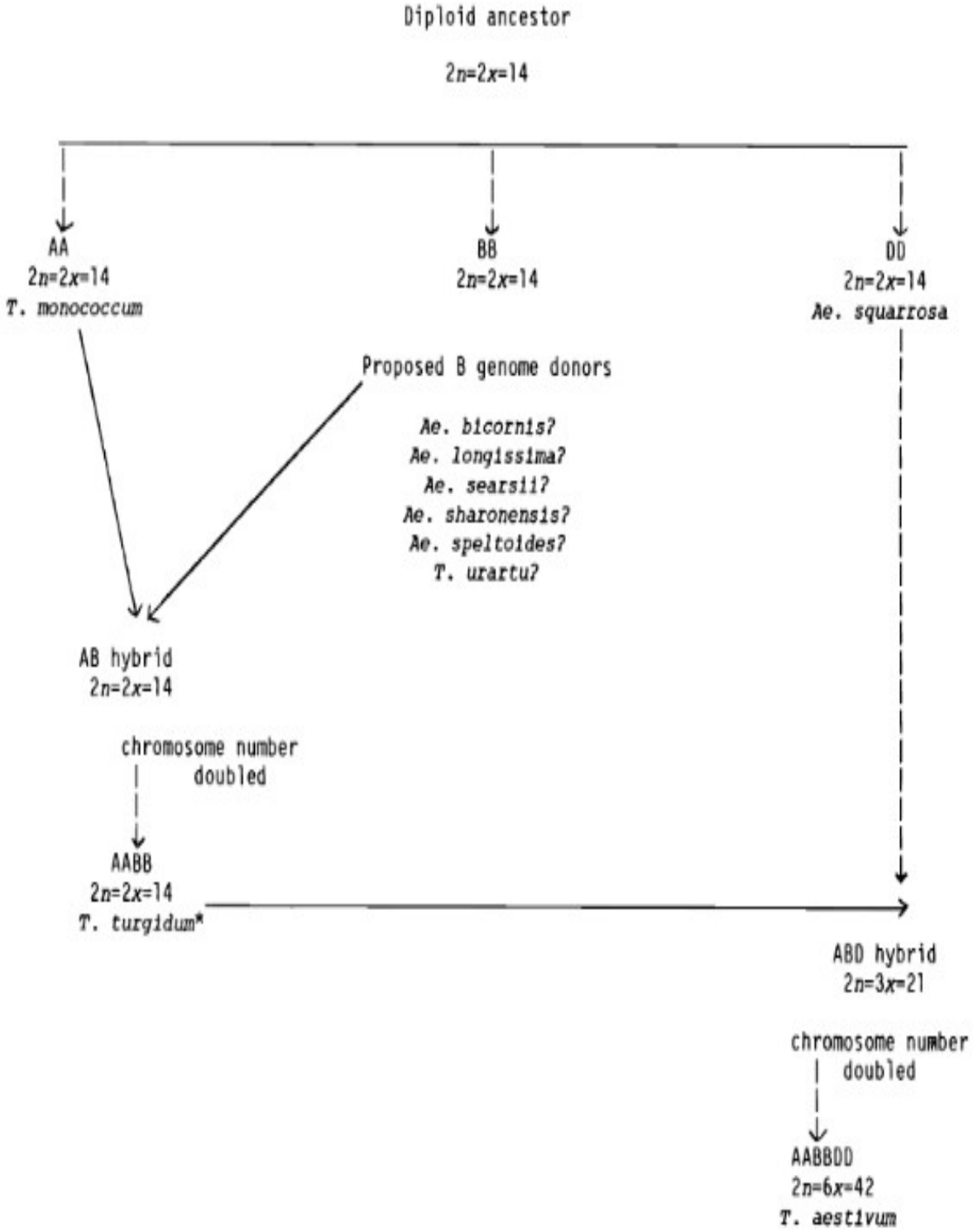


Figure 9: Origine probable de *T. turgidurn* et *T .estivurn* **(Kerby et Kuspira., 1987)**

I.3.2 Histologie du grain d'orge

La plante d'orge avec ses caractères morphologiques et physiologiques se distingue très bien des autres espèces de céréales **(Boufenar et Zaghouane, 2006),** par exemple, la longueur de la paille et de la résistance à la verse. Elle est constituée de racines, de tiges (chaume) cylindriques avec 5 à 7 noeuds, et de feuilles alternées. L'épi au sommet de la tige est constitué de fleurs disposées en épillets simples (portant chacun deux glumes et la fleur). Trois épillets sont attachés à chaque noeud sur un rachis en zigzag plat. Ils sont tous fertiles dans les cultivars à six rangs. Dans les cultivars à deux rangs, les deux épillets latéraux sont stériles. Comme dans les autres céréales, le grain est un caryopse **(Gallais et Bannerot, 1992).**

L'anatomie exacte d'un grain d'orge est très complexe. Le grain d'orge est une matière complexe contenant une plantule complète (embryon), une réserve de matière nutritive (l'endosperme), une couche périphérique de cellules capables de former des enzymes hydrolytiques (la couche aleurone) qui se diffèrent des autres céréales par le nombre de rang des cellules qui le constitue, une membrane semi-perméable (le péricarpe testa) et une paroi extérieure pailleuse **(Hariri *et al.*, 2003).**

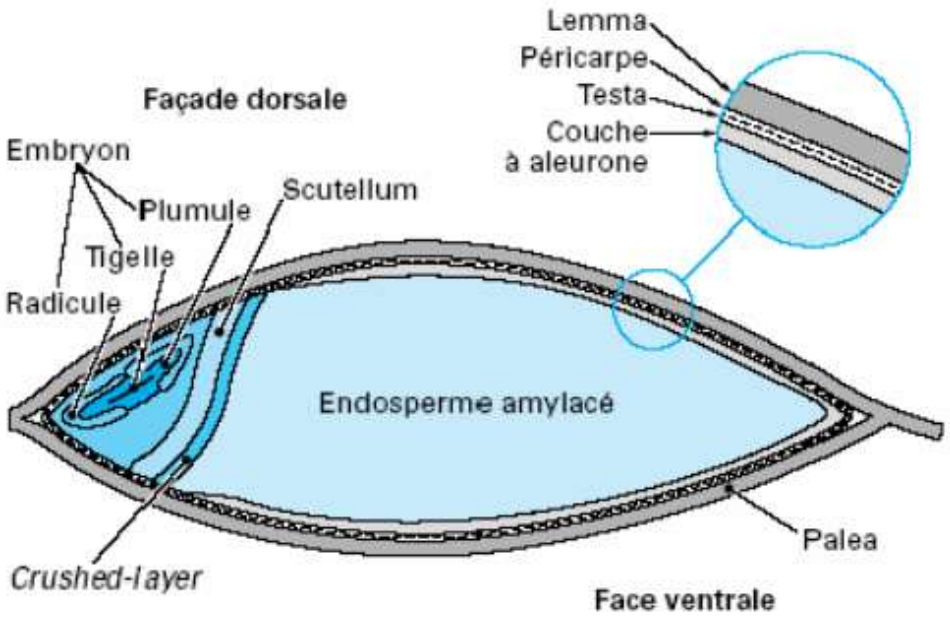


Figure 10: Représentation schématique d'un grain d'orge en coupe longitudinale (Société Malteurop, 2000).

I.3.3 Les différentes parties qui constituent les grains de blé et d'orge

I.3.3.1 L'Albumen

Constitué de l'albumen amylacé qui est riche en amidon environ 82% et comprend aussi des sucres simples, des protéines (gluten), des lipides et des vitamines. Ainsi que la couche a aleurone appelée aussi assise protéique parce qu'elle contient une quantité remarquable de protéine. Cette couche monocellulaire localisée entre l'albumen amylacé et les enveloppes est riche en matière azotée ainsi qu'une forte quantité en micronutriments (vitamines, minéraux, et antioxydant) **(Surget et Baron ; 2005).**

I.3.3.2 Le germe

Composé d'un embryon, concentrent de nombreux nutriments nécessaires à la formation d'une nouvelle plante. Le germe de blé est riche en protéines et en fibres, mais il est surtout riche en en sucre réducteur environ 30% **(Godon et willm, 1991),** vitamines (E , B_1, B_6 ,B_9) et en minéraux tels que le Zinc qui protège des infections et favorise la cicatrisation, en magnésium (antistress, antifatigue). C'est un aliment riche en phytostérols, des composés végétaux qui font baisser le cholestérol et aussi en Latérine, un antioxydant protecteur de la rétine **(Feillet, 2000).**

I.3.3.3 Les Enveloppes

Les enveloppes de la graine ou du fruit donnent le son, elles représentent 12 à 16% du poids total du grain et elles sont constituées de trois couches principales superposées.

- Le péricarpe externe (enveloppe de fruit) ou épicarpe composé de deux couches de cellules très intimement soudées (épiderme et hypoderme), le péricarpe interne composé de trois couches de cellules : cellule intermédiaire, cellule transversale (mésocarpe) et cellule tubulaire (endocarpe)**.**
- Enveloppe de la graine ou testa est soudé au péricarpe (forme le son), elle est composée de deux couches de cellules très compressées riches en lipides. Le testa à un rôle physiologique en agissent comme une barrière à la circulation d'eau, de nutriment et de gaz, qui sert à contrôler la maturation et la germination du grain **(Miyamoto et Everson ; 1958).**
- Épiderme du nucelle (ou bande hyaline) contient des cellules aplaties allongées avec des tailles variables. Elle présente un aspect transparent qui enveloppe toute la graine à l'exception de l'embryon.

- Au-dessus du testa se trouve une couche de cellule dite couche d'aleurone riche en protéines parfois diversement colorées. Elle est localisée a la périphérie du grain de blé entre l'albumen amylacé et les enveloppes, elle présente l'unique tissu vivant du grain mature et permet sont développements au cours de la germination.

La couche à aleurone assure à la fois un rôle nourricier par sa richesse en protéine et des micronutriments et via le stockage des métabolites et la synthèse d'enzyme d'hydrolyse des réserves, ainsi qu'un rôle de protection grâce à sa structure pariétale résistante.

Au point de vue histologique entre les grains de blé et d'orge en signale une grande différence dans la couche des cellules d'aleurone. Elle comprend un seul rang de cellule chez le blé ainsi que le seigle, tandis que chez l'orge elle comprend trois et quelquefois quatre rangs de cellules qui sont plus petits on compare avec celle de blé, exceptionnellement dans les couches voisines de l'embryon où elle s'amincit progressivement jusqu'à 2 à 1 seul rang **(Saulnier *et al.*, 2012 ; Boutroux, 1897).**

Au point de vue biochimique la partie la plus externe de la couche a aleurone renferme de l'amidon et des protéines, tandis que la partie interne elle est constituée de lipides 30%, de protéines 20%, de l'acide phytique, des vitamines (B), de la cellulose et des pentosanes **(Jeantet *et al.*, 2007).**

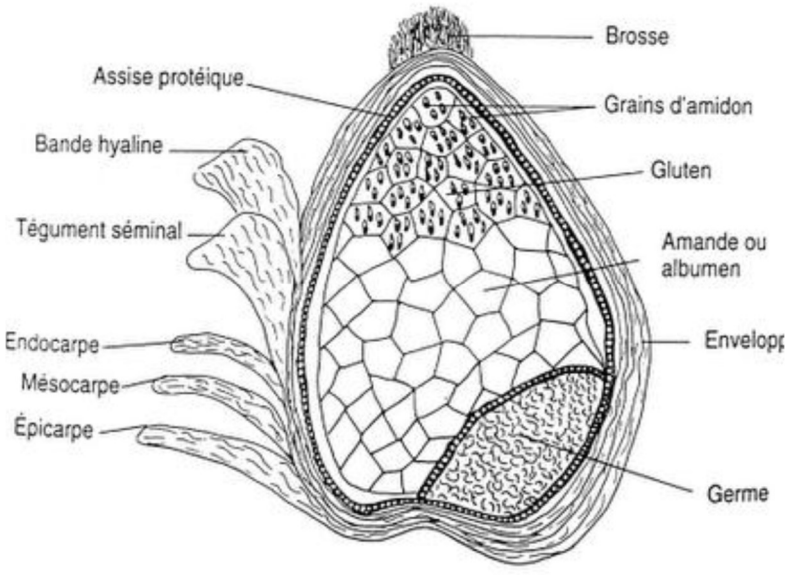


Figure 11: Coupe longitudinale d'un grain de blé.

I.4 Les parois des cellules végétales

Les cellules végétales sont entourées par des parois cellulaires. La structure et la composition de ces parois sont constamment modifiées au cours de la croissance, du développement des plantes, et en réponse aux contraintes environnementales **(Knox *et al.,* 2008 ; Lee *et al.,* 2011 ; Roppolo et Geldner, 2012)**. Ainsi, les parois contribuent à la forme des cellules et au port dressé des plantes terrestres et assurent la communication entre les cellules **(Wojtaszek, 2000)**. De plus, elles contribuent à l'adaptation des plantes à leur environnement et à leur protection contre les stress environnementaux **(Somerville *et al.,* 2004 ; Keegstra, 2010 ; Albersheim *et al.,* 2011)**. La paroi se forme dès la division cellulaire au niveau de la plaque cellulaire, puis de la mise en place de la lamelle moyenne **(Samuels *et al.,* 1995).** On parle de paroi primaire lors de la croissance, puis de paroi secondaire lorsque la croissance est terminée. Les structures et compositions des parois primaires et secondaires sont différentes. Les parois primaires subissent des modifications pour accompagner la croissance tandis que la forme des parois secondaires n'est pas modifiée, les parois primaires sont principalement composées de polysaccharides (90-95% de leur masse) et de protéines (5-10%) **(Voragen *et al.,* 2009).** Il existe différents types de parois secondaires, par exemple des parois secondaires lignifiées **(Zhong et Ye, 2015**) et des parois secondaires essentiellement constituées de cellulose comme celles des graines de coton **(Kim et Triplett, 2001).**

De l'intérieur vers l'extérieur, on voit ainsi la paroi secondaire directement en contact avec la membrane plasmique, la paroi primaire, puis la lamelle moyenne. La lamelle moyenne est une interface entre les parois primaires de cellules voisines qui sont mises en place lors de la mitose, à la suite de la fusion de vésicules golgiennes au niveau du phragmoplaste (**Samuels *et al.,* 1995)**. La lamelle moyenne est principalement composée de pectines et dépourvue de cellulose. Elle assure la cohésion entre les cellules voisines.

La paroi primaire est un réseau hydraté qui se forme après la formation de la lamelle moyenne et est renforcée pendant la croissance cellulaire **(Carpita et Gibeaut., 1993)**. Elle est constituée de cellulose, d'hémicelluloses, de pectines et de protéines. Elle est à la fois extensible et résistante. Son épaisseur est faible relativement à l'épaisseur totale de la paroi.

La paroi secondaire est formée en fin de croissance par ajout de couches successives sur la face interne de la paroi primaire **(Dixon *et al.,* 2012)**. Elle est située entre la membrane cytoplasmique et la paroi primaire. Elle est de composition différente de la paroi primaire.

I.4.1 Principales fonctions des parois végétales

Les parois cellulaires végétales sont des structures dynamiques jouant un rôle important dans la croissance, la différenciation, et l'adaptation des plantes aux facteurs biotiques (les herbivores et les pathogènes) et abiotiques (la submersion, l'ombre, la sécheresse et la température) de l'environnement. Les parois sont aussi à la fois une source et un site de perception de signaux. En période de ressources limitées, les parois peuvent être une source d'hydrates de carbone.

I.4.2 La croissance et l'adaptation des parois des plantes

Les cellules végétales se développent en agrandissant leurs parois cellulaires. Cette augmentation de taille et de volume peut être impressionnante : la longueur des vaisseaux de xylème peut ainsi augmenter de 30 000 fois ; les cellules ciliées situées à la surface de jeunes graines de coton s'allongent environ 1000 fois **(Cosgrove *et al.,* 2005)**. Cette croissance est accomplie grâce à l'absorption d'eau dans la vacuole et à l'extension irréversible des parois.

Les parois souples de cellules en croissance sont sous une tension énorme, équivalente à 100- 1000 atmosphères. La tension pariétale résulte de l'étirement de polymères pariétaux lorsqu'ils résistent à la pression de turgescence des cellules. Cette tension fournit l'énergie mécanique nécessaire pour agrandir la paroi cellulaire. La croissance des parois s'effectue par un mécanisme de glissement des polymères soigneusement contrôlé, dans lequel les liaisons entre les composants pariétaux sont sélectivement réarrangées **(Cosgrove *et al.,* 2005 ; Marga *et al.,* 2005)**. L'expansion de la paroi doit être simultanément compensée par la synthèse et l'intégration de nouveaux matériaux pariétaux. Ces polymères sont synthétisés au niveau de la membrane plasmique (microfibrilles de cellulose) ou dans l'appareil de Golgi (hémicellulose et pectines) **(Cosgrove et al., 2005).** Une fois que les molécules de la matrice sont sécrétées dans la paroi, elles s'associent entre elles pour former des réseaux à la fois solides et extensibles. L'ensemble des mécanismes mis en jeu lors de ces processus d'assemblage n'est pas connu en détail, mais fait intervenir des protéines enzymatiques **(Fry *et al.,* 2004 ; Frankova et Fry, 2013)**.

Les modifications des parois permettent également aux plantes de s'adapter aux changements environnementaux. Par exemple, la croissance accélérée des pousses lorsque les plantes sont immergées ou exposées à un ombrage permet à certaines plantes d'échapper à ces conditions défavorables **(Dandjlessa *et al.,* 2022)**. La croissance peut être modulée en période de sécheresse, notamment au niveau des racines pour une adaptation au déficit d'eau. Les plantes tolérantes au froid ajustent leurs propriétés pariétales pour empêcher la déshydratation

induite par la congélation et utilisent la paroi comme une barrière contre la propagation des cristaux de glace. Enfin, l'architecture de la paroi cellulaire est un déterminant important de la résistance des plantes aux stress biotiques. Une paroi cellulaire rigide peut résister à une attaque pathogène en formant une barrière physique impénétrable. Par ailleurs, des fragments de polysaccharides libérés lors de la modification de la paroi peuvent contribuer à la signalisation conduisant à la mise en place de réactions de défense des plantes **(Mansouri et Bousbia (2018)**.

I.5 Les couches périphériques du blé

I.5.1 Composition histologique des couches périphériques

Les couches périphériques de blé sont des enveloppes qui protègent les grains de céréales, ils sont éliminés lors de la mouture du grain. Les CP sont constitués de la partie extérieure à la partie intérieure successivement du péricarpe externe, forme d'une agglomération de cellules du parenchyme aplaties, recouvertes par l'hypoderme et l'épiderme, le péricarpe interne (cellules transversales et cellules tubulaires), le testa (ou tégument), la couche hyaline (ou épiderme nucellaire), et la couche d'aleurone cette couche est d'une épaisseur de 7 µm environ, est composée de cellules a parois fines et non lignifiées qui adhérent fortement aux couches voisines **(Bradbury, 1956; Evers et Bechtel 1988 ; Leslie,2012).**

Ils sont principalement composés de polysaccharides, ainsi d'une plus petite quantité de protéines, de lipides, et les composés phénoliques qui participent au métabolisme de la paroi cellulaire.

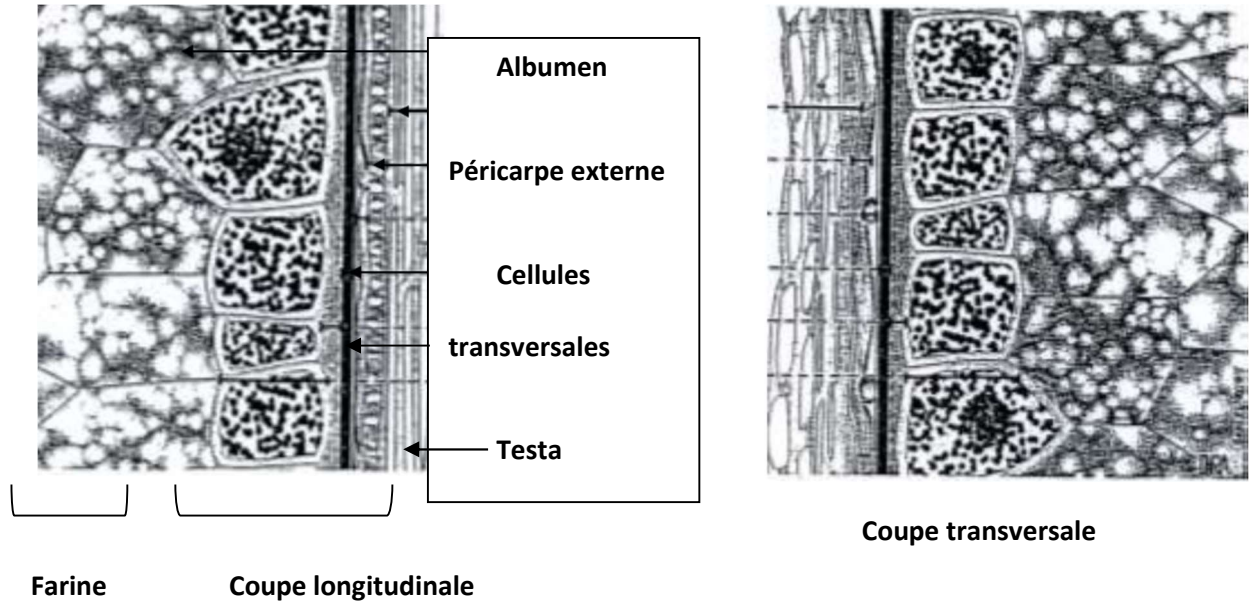


Figure 12: Histologie du grain de blé **(Surget et Barron., 2005)**

I.5.1.1 La Couche a aleurone

L'aleurone est la couche la plus interne attachée avec la couche hyaline et la couche testa au tissu péricarpe. Ces tissus sont tous éliminés sous forme de son lors de la mouture du grain, elle a une structure pariétale composée à 65% d'arabinoxylane (AX) et 29 % de β-(1,3) et β-(1,4) glucane **(Burton et Fincher, 2014)**, conservent leurs constituants lors du broyage conventionnel. Ces parois cellulaires sont rendues rigides par un dimère de l'acide férulique très abondant : l'acide diferulique à fort potentiel antioxydant **(Garcia-Conesa *et al.,* 1997)**. L'AL est bien connu comme étant le tissu vivant cellulaire riche en protéines représente 30 % de la masse sèche (ms) et en minéraux fournissant environ 40 % des minéraux du grain : le phosphore (principalement le phytate), le potassium, le magnésium, le zinc et fer en plus grande abondance par rapport au son de blé (tableau 1) et endosperme féculent **(Antoine *et al.,* 2002, Fardet., 2010, Brouns *et al.,* 2012, Moore *et al.,* 2012, Chalamacharla *et al.,* 2018)**. En utilisant la microscopie à rayons X synchrotron et la spectromicroscopie à fluorescence X, les éléments P, Mg , Zn, Fe, Na, Al étaient situés à l'intérieur du PSV et liés à l'acide phytique **(Regvar *et al.,* 2011)**.

La plupart de ces micronutriments susmentionnés se trouvent dans la couche d'aleurone (AL) qui est la couche d'endosperme la plus externe exclue avec le son dans le processus de mouture conventionnel **(Antoine *et al.,* 2002).** En conséquence, un procédé d'extraction de la fraction pure d'AL a été breveté **(Laux *et al.,* 2006)** qui a permis la fortification des aliments en AL. Les procédés utilisés pour isoler L'AL du blé ainsi que des aspects importants pour la santé et les utilisations alimentaires ont été rapportés par **Brouns *et al.*, 2012.** AL est également une source majeure de nombreuses vitamines. Les caroténoïdes sont les pigments les plus courants dans la nature avec un rôle important en tant que provitamines et en tant qu'antioxydants. L'acide phytique se trouve principalement dans la couche d'aleurone ou il est stocké sous forme de phytate **(Regvar *et al.,* 2011)**.

I.5.1.2 Testa

Le tégument (ou testa) de la graine est soudé au péricarpe, et c'est l'ensemble des deux que l'on appelle le son.

Les alkylrésorcinols (AR) sont des lipides phénoliques couramment présents dans le blé, cependant, ces composés sont principalement localisés dans le testa (**Brouns *et al.,* 2012).**

I.5.1.3 Péricarpe interne et externe

Le péricarpe est considéré comme la paroi protectrice qui enferme le fruit de nature très fibreuse. Deux parties sont distinguées au sein du péricarpe : le péricarpe externe et le péricarpe interne, Il est composé essentiellement de cellulose, hémicelluloses et de lignine.

Le blé contient des flavonoïdes en faible quantité, qui est principalement localisée dans le péricarpe tel que la 5,7,4'-trihydroxyflavone **(Hernández *et al.,* 2011).**

I.5.1.4 Couche hyaline

La bande hyaline ou couche nucellaire, elle est constituée de l'épiderme de la nucette recouvert d'une cuticule et du lysat nucellaire issu de la digestion du nucelle par l'albumen lors de la formation du grain.

I.5.2 Composition biochimique des couches périphériques

Le son est une source importante de micronutriments, où plusieurs travaux ont considéré ces couches comme le sous-produit de meunerie, après la découverte de ses avantages nutritionnels et de santé **(Liu *et al.*, 2007 ; Hemery *et al.*, 2007 ; Adom *et al.,* 2005 ; Martinez-Tome *et al.,* 2004).**Le protéome du son de blé est essentiellement une structure de défense par la présence de chitinases, d'alpha amylases et de serpines, qui a évolué pour fortifier les couches de son et protège l'embryon **(Laubin *et al.,* 2008; Jerkovik *et al.,* 2010).**

Elles sont composées principalement de polysaccharides, les hémicelluloses sont après l'amidon les constituants majoritaires des sons de blé. Elles sont principalement constituées d'arabinoxylanes, en sucres simples, mais aussi d'acides phénoliques, de lignine et de protéines (principalement albumines et globulines localisées dans la couche à aleurone).

Le son de blé est réputé pour sa richesse en fibres cellulosiques insolubles, qui va aider a la digestion (*25g* de fibres dans 100 grammes) **(Zeitoun, 2011).** Les principales sont des fibres insolubles idéales pour faciliter la digestion, ainsi que les antioxydants qui permettent de lutter contre le vieillissement et le développement de certains cancers. Il contient également des phytostérols qui aident à réguler le taux de cholestérol dans le sang et de nombreux minéraux qui participent à une bonne santé, comme le magnésium, fer, zinc, phosphore.

En effet, les arabinoxylanes sont les principales hémicelluloses rencontrées dans les sons de blé et représentent 40% de la matière sèche du son de blé désamidonné **(Beaugrand *et al.,* 2004).**

Les caractéristiques chimiques des tissus périphériques du grain de blé en grande partie des couches superficielles appauvries en enzymes résistantes et riches en lignine et cellulose hautement substituée **(Beaugrand *et al.,* 2004).** Le son de blé présente une valeur énergétique égale à 1750 kcal/kg et un coefficient de digestibilité des protéines de 76% **(Leslie, 2012).**

La plus grande concentration d'acides phénoliques se trouve dans le son de blé, cependant, la couche d'aleurone renferme le taux le plus élevé 70% suivi par le péricarpe externe et le péricarpe interne.

Arabinoxylanes (AX) et β-glucanes mixtes (MLG) sont les principaux polysaccharides du grain de blé, et plus largement des graminées. Le reste des polysaccharides sont constitués de cellulose, de mannose, de xyloglucanes et de pectines. Les AX sont détectés au début de la différenciation dans les cellules de l'endosperme **(Saulnier *et al.,* 2012).**

Bien qu'il soit abondant chez les plantes dicotylédones, la cellulose a été observée non seulement dans les couches externes, mais aussi dans les cellules de l'endosperme dans une proportion qui n'était pas prévue **(Gartaula *et al.,* 2018).** Des pectines ont été détectées dans l'endosperme et les couches externes du grain de blé **(Saulnier *et al.,* 2012).**

Les parois cellulaires des couches externes contiennent des quantités importantes de polymères hydrophobes et polyphénoliques qui composent la lignine et/ou les cutines **(Chateigner-Boutin *et al.,* 2014).**

Tableau 3: composition nutritive du son de blé **(Zeitoun., 2011)**

Matière sèche (%)	**Protéines brutes (%)**	**Cellulose brute (gr /Kg)**	**Calcium (gr /Kg)**	**Phosphore (gr /Kg)**	**Energie métabolisable (Kcal /Kg)**
91.44	16.65	10.32	0.16	1.49	1700

Tableau 4:composition chimique du grain d'orge **(Guiga, 2006).**

Composition biochimique	**Orge teneur en (% de poids sec)**
Glucides	**78-85**
Amidon	**63-65**
Saccharose	**1-2**
Sucres réducteurs	**0.1-0.2**
Polysaccharides solubles dans l'eau (gommes)	**1,1-5**
Polysaccharides solubles dans les solvants organiques (hémi-celluloses)	**8-10**
Cellulose	**4-5**
Autres	**1**
Lipides	**2-3**
Protéines	**8-11**
Albumine	**0.5**
Globuline	**3**
Hordéine	**3-4**
Glutéline	**3-4**
Acidesaminés et peptides	**0.5**
Acides nucléiques	**0.2-0.3**
Sels minéraux	**2**
Autres	**5-6**

Figure 13: structure anatomique du son de blé **(Leslie, 2012)**

I.6 Composition chimique des différentes parties du grain

Le blé est connu pour sa richesse en glucides complexes (amidon et fibres). Sa teneur en protéines est comprise entre 10 et 14 % du poids des grains, variable avec les variétés et les conditions de culture. Celle en lipides ou matières grasses, constituants majeurs des oléagineux, est composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Il contient également des minéraux (magnésium, potassium, sodium) et des vitamines (B1, B2, B6 et acide folique). Le cœur du grain ou albumen dont est issue la farine blanche est riche en amidon, les enveloppes en fibres et minéraux, le germe en lipides et en divers phytonutriments **(Feillet, 2000).**

I.6.1 Glucides

Les glucides sont les constituants majeurs du grain de blé. Ils représentent environ 80% de la matière sèche totale répartie en polysaccharides : amidon 65 à 75% se trouvent en grande quantité qui est présente dans l'amande farineuse sous forme de granules sphériques, enchâssées dans le réseau d'un corps azoté, le gluten **(Calvel, 1984),** hémicellulose et pentosanes 6 à 8%, cellulose 1,5 à 3% et petits glucides solubles représente 2 à 4 % du grain de blé il comprend le glucose, saccharose, raffinose et trifructosane **(Kiger et Kiger., 1967).**

I.6.2 Amidon

C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau **(Feillet *et al.*, 2000)**, il se présent sous forme d'une poudre composée de granulés de tailles différentes. L'amidon est le résultat du mélange de deux polymères d'alpha D-glucose : l'amylase et l'amylopectine **(Boudreau *et al*., 1992).**

Il représente 63-65% du poids sec du grain et se localise principalement dans l'endosperme. Depuis toujours, les amidons sont utilisés dans l'industrie alimentaire, non seulement comme ingrédient nutritif, mais également comme agent épaississant, liant stabilisant ou gélifiant. Synthétisé par voie biochimique, source de glucides, 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 **(Saulnier *et al*., 2012).**

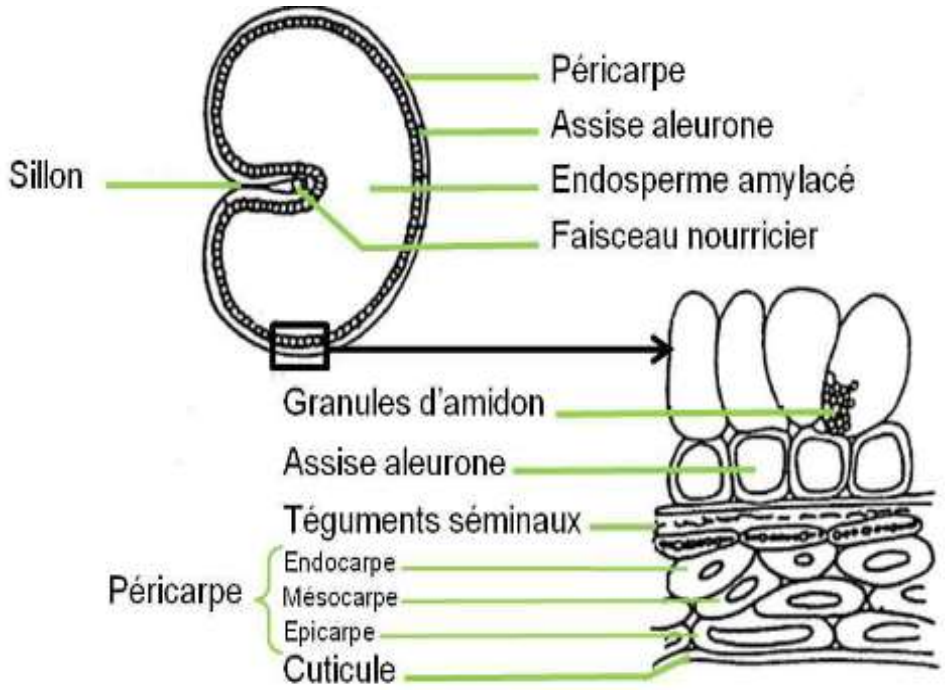


Tableau 5: Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé **(Godon, 1991).**

	grain en %	Constituant dans le tissue			
		Albumen en %	Aleurone en %	Péricarpe en %	Germe en %
Amidon	**68.9**	**82**	**0**	**0**	**0**
Protéines	**13.7**	**12**	**30**	**10**	**31**
Fibres	**10.2**	**2**	**49**	**83**	**9**
Lipides	**2.7**	**2**	**9**	**0**	**12**
Minéraux	**1.9**	**0.5**	**12**	**7**	**6**
Sucre réducteur	**2.4**	**1.8**	**0**	**0**	**30**

I.6.3 Lipides

Les lipides représentent 3% du poids sec du grain de blé (**Dacosta, 1986)**, il se concentre dans la fraction du germe 12.5% et les enveloppes 5.6% **(Guinet et Godon, 1994**). Ils sont constitués de lipides apolaires (triglycérides et des esters) et des lipides polaires (glycolipides et phospholipides) **(Godon et Willm, 1991).**

Tableau 6: Composition en acides gras (AG) des lipides des grains de céréales en pourcentage du total des AG, **(Berger, 1984)**

Espèces	Acide palmitique C16 (saturé)	Acide oléique C18: (insaturé à 1 double liaison)	Acide linoléique C18: (insaturé à 2 doubles liaisons)	Acide linolénique C18: (insaturé à 3 Doubles liaisons
Avoine	17	37	41	5
Blé	18	15	63	4
Mais	12	26	60	2
Orge	25	8	51	6
Seigle	21	7	64	8

I.6.4 Protéines

Les protéines sont les deuxièmes en importance nutritionnelle dans le blé, leurs teneurs varient selon l'espèce en moyenne de 43 % pour le soja, 12 % pour le blé, 10-17 % pour l'orge et seulement 10 % pour le maïs. Ces protéines se concentrent surtout dans le germe 35 à 41 % **(Godon *et al.*, 1991).**

La répartition des protéines dans le grain de céréales n'est pas uniforme : la couche à aleurones contient 30 à 35 % de protéines, le germe 35 à 40 %, mais le péricarpe et l'albumen amylacé contiennent respectivement 6 à 7 % et 6 à 9 % **(Popineau *et al.*, 1985)**.

Le grain de blé renferme 5 à 10 % d'albumines forment les protéines cytoplasmiques solubles dans l'eau, 5 à 10% de globulines, les gliadines solubles dans l'éthanol 70% ,40 à 50% de prolamines et 30 à 40% de glutélines protéines résiduelles solubles dans les acides et les bases diluées, sont regroupées sous le terme de protéines de **(Lookhart et Scott, 1995)** l'association des Prolamines et des glutélines forment un complexe protéique «le gluten » qui est un mélange de protéines, lipides et glucides **(Cheriet 2010).**Certains de ces acides aminés tels que la lysine, sont indispensables pour l'alimentation animale (substance nécessaire à la

croissance **(Feillet, 2000)**.la couche à aleurone est pauvre en protéines insolubles et en grain d'amidon tandis que les protéines solubles sont essentiellement synthétisées et accumulées dans le germe selon **Courvoisier (1987).**

Les protéines subissent des modifications lors d'un stress oxydatif qui peut agir sur la chaine carbonée principale ou la chaine latérale est être capable de causer un changement de structure est peuvent entrainer la perte de la fonction d'une protéine **(Berlett et Stadtman., 1997, Uchida *et al*., 1990).**

Tableau 7: les différences de 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 (ordéine)**	**35-45**
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**

I.6.5 Matières minérales

Les céréales sont une source particulièrement importante de minéraux, mais en général la plupart sont perdus lors de la transformation pour l'alimentation humaine ou animale **(Cheng et Hardy ; 2003)**, elle représente 2 à 3 % de la substance humide du grain. Le grain d'orge est une véritable source de minéraux comme le potassium, le phosphore, le magnésium, le calcium et spécialement le Sélénium, il est caractérisé par sa richesse en minéraux par rapport au blé. Les études de **Matweef (1946)**, qui consistent à doser les cendres du blé dans les parties constituantes du grain montrent que la teneur en cendres de l'amande est d'environ 10 fois plus faibles que celle des enveloppes.

Tableau 8: Composition en mg des minéraux existant dans 100 gr de grains de blé et l'orge **(Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010 ; Saulnier, 2012).**

Minéraux	Valeurs estimées (Orge)	Valeurs estimées (Blé)
Calcium, Ca	33	29
Fer, Fe	3.60	3.19
Magnésium, Mg	133	126
Phosphore, P	264	288
Potassium, K	452	363
Sodium, Na	12	2
Zinc, Zn	2.77	2.65
Cuivre, Cu	0.498	0.43
Manganèse, Mn	1.943	3.98
Sélénium, Se	0.066	0.043

I.6.6 Les fibres

Le son de blé est une source très importante de fibres alimentaires, qui constituent les parois des cellules végétales est ont un effet tés bénéfique pour la santé. Le son de blé est composé principalement de fibres insolubles (Hémicellulose, cellulose et lignine) **(Cheng *et al.*, 2003).**

Tableau 9:Composition moyenne en minéraux du grain de blé et des différents produits de mouture (en mg / 100g de matière sèche) **(Pilon et Mazerand., 1988).**

Composition moyenne en minéraux du grain de blé (en mg / 100g de matière sèche)					
	Potassium	**Calcium**	**Fer**	**Zinc**	**Magnésium**
Grain entier	500	50	5	6	150
Germe	400	100	16	4	500
Son	1300	130	20	20	550

Les couches périphériques des grains d'orge (PL) ont un potentiel nutritionnel et contiennent le plus grand pourcentage en fibres **(Morrison *et al.,* 1975**) qui peuvent grandement contribuer à l'augmentation de la qualité nutritionnelle **(Hemery *et al.,* 2007)** et réduit certaines maladies telles que le cancer du côlon, l'obésité et les maladies cardiovasculaires, le diabète une consommation accrue de fibres céréalières améliorait de manière significative l'élimination du glucose dans l'ensemble du corps, entraînant une amélioration de 8 % de la sensibilité à l'insuline **(Prinsen *et al.,* 2014, Sang *et al.,* 2014).**

Il a été à suggérer que les fibres alimentaires diminuent l'oxydation des lipides, ce qui à son tour est associé à une diminution de l'inflammation. Il a été également rapporté que la consommation de fibres alimentaires diminue les expressions protéiques de facteurs clés impliqués dans la lipogenèse, dont la régulation à la hausse a été liée aux besoins métaboliques des cellules cancéreuses **(Han *et al.*, 2015).**

I.6.7 Vitamines

Les vitamines sont des substances nécessaires pour l'organisme que l'homme ne peut synthétiser en quantité suffisante. Il est bien établi que les vitamines sont concentrées dans la couche d'aleurone du blé, avec deux groupes importants vitamines B et E, contrairement aux couches externes de son (péricarpe) des grains de blé qui ne contiennent que de petites quantités de thiamine, riboflavine, acide pantothénique, la pyridoxine et la niacine **(Vucelic-Radovic *et al.,* 2006).** Le grain d'orge est très riche en vitamines notamment les vitamines B1, B2, B3, B5,B6, B9 et la vitamine E (Tocotriénols) environ 80 % **(Panfili *et al.,* 2003)**.

Tableau 10: Composition des vitamines existant dans 100g de grains d'orge complets **(Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010).**

Vitamines	Unités	Valeurs estimées
Béta-carotène (Provitamine A)	µg	13
Folacine (Vitamine B9)	µg	19
Niacine (Vitamine B3)	Mg	4.604
Acidepantothénique (Vitamine B5)	Mg	0.282
Riboflavine (Vitamine B2)	Mg	0.285
Thiamine (Vitamine B1)	Mg	0.646
Vitamine B6	Mg	0.218
Vitamine K	µg	2.2
Tocophérol-alpha	Mg	0.57

I.6.8 Les enzymes

Bien qu'ils soient présents en quantité négligeable, ces substances jouent un rôle très important dans la vie de la graine de blé **(Kiger et Kiger, 1967)** dont leurs pouvoirs d'action se résument sur la transformation de différentes réactions par le phénomène de la catalyse par le biais de plusieurs enzymes telles que les protéases, les lipoxygénases, les amylases et les catalases **(Boudreau *et al*., 1992).**

Les enzymes se localisent dans le germe et la couche à aleurone où elles sont synthétisées pour la plupart au cours de la germination du grain, leurs rôles se résument donc la dégradation de l'amidon, dégradation des protéines et des lipides.

I.6.9 Les Composés phénoliques

Les espèces végétales ont une particularité majeure qui réside sur leurs capacités à produire des substances naturelles. Véritablement, à côté des métabolites primaires (glucide, protéine, lipide, acide nucléique) il existe des métabolites dits secondaires (vitamines et enzymes) qui représentent une source importante de molécule bioactive. Le rôle des composés phénoliques est reconnu dans différents domaines d'utilisation que l'homme à besoin (médicale, pharmaceutique, agroalimentaire…). Il existe quatre grandes familles de composés phénoliques : les acides phénoliques (l'acide caténule, l'acide gallique, acide protocatéchique), des coumarines, des flavonoïdes ainsi que des composés hautement polymérisés comme les tanins et la lignine **(wang *et al.,* 2008).**

I.6.9.1 Les polyphénols

Les polyphénols regroupent un vaste ensemble de substances chimiques qui se subdivise en groupe selon le nombre de noyaux aromatiques **(Bamforth, 2000)** ainsi qu'un ou plusieurs hydroxyles qui les relisent. Plus de 8000 structures de polyphénols sont connues d'après **Han *et al.* 2007 ;Tsao, 2010,** ils sont présents partout dans les racines, les tiges, les fleurs, les feuilles de tous les végétaux. Les principales sources alimentaires sont les fruits et légumes, les boissons (vin rouge, thé, café, jus de fruits), les céréales, les graines oléagineuses et les légumes secs **(wang *et al.,* 2008).** Les polyphénols sont des molécules hydrosolubles réputés dans leur propriété antioxydante, les plus connus sont l'acide cinnamique, l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide *p* coumarique et l'acide synaptique **(Bruneton, 2009)** qui leurs attributs des bienfaits sur la santé humaine comme la prévention des maladies cardiovasculaires ainsi que le cancer et diminue le risque des maladies inflammatoires.

I.6.9.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés de la famille des polyphénols de structure généralement de C15 (C6-C3-C6) (figure N°), ils se divisent en plusieurs sous-classes par une diversité fonctionnelle au niveau des 3 carbones en position 2, 3 et 4 **(Harborne, 1993)**, ils possèdent deux cycles benzéniques. L'extraction elle se fait généralement avec des solvants alcooliques méthanol pur ou solvant hydrométhanolique ou parfois acétonitryl-eau.

Les flavonoïdes sont des composés connus par leur caractère antioxydant, qui ont des effets bénéfiques pour l'organisme humain **(Raskin *et al.,* 2002).**

Les flavonoïdes se devisent en 06 groupes : Flavones, flavonols, flavonones, isoflavones, chalcones, aurones **(Martens *et al*., 2006),** ils sont présents sous plusieurs formes dans notre alimentation ce que leurs attribuent des métabolismes différents, les principaux sites sont le foie et l'intestin. La forme libre (aglicone) des flavonoïdes est absorbée directement au niveau de l'intestin grêle **(Hollman *et al.,* 1998)** tandis que la forme glycosylée nécessite une hydrolisation par des glycosidases au niveau du côlon avant d'être absorbée **(Walle, 2004).**

De nombreux travaux semblent indiquer que les flavonoïdes possèdent des propriétés anti-inflammatoires **(Galati *et al.,* 1994 ; De Medina *et al.,* 2009),** antibactériennes et antivirales sur différentes souches bactériennes **(Jassim, 2003; Sokmen, 2005; Takahashi, 2004).** Des études réalisées chez la souris ont mis en évidence les effets protecteurs des flavonoïdes vis-à-vis des promoteurs de tumeurs **(Kato *et al.,* 1983)**.

I.6.9.3 Les Tannins

Les tannins sont des substances d'origine végétale avec une structure chimique très variable, ils se divisent en deux groupes principaux **(Sarni-Manchado et Chynier, 2006)** :

Tannins hydrolysables qui donnent après hydrolyse deux acides (acide gallique ou bien acide éllagique) qui se lient aux molécules de glucoses.

Tannins non hydrolysables ou condensés qui donnent après oxydation du pyrocatéchol et des tannoïdes divers.

I.6.9.4 Les effets bénéfiques des polyphénols

Les bienfaits des polyphénols se résument en deux domaines la phytothérapie et l'hygiène alimentaire **(Leong et Shui, 2002).** Les polyphénols font partie des antioxydants dont les actions santé résident dans la protection des cellules contre les radicaux libres. En général, ils sont utilisés dans plusieurs médicaments. Ce sont des substances particulièrement intéressantes en raison de leurs activités pharmacologiques qui s'exercent dans les domaines les plus variés : au niveau du système nerveux central, comme antidépresseurs (morphine,

scopolamine), au niveau du système nerveux autonome comme antitumoral et sympathomimétique (éphédrine), comme stimulant central (caféine) et comme hypertensives (réserpine) **(Badiaga, 2011).** Ils jouent un rôle préventif majeur dans toutes les maladies qui mettent en cause une détérioration de la cellule.

I.6.9.5 Effets biologiques et antioxydants des polyphénols

Une très importante présence des radicaux libres dans le corps provoque un stress oxydatif endommagera les macromolécules intracellulaires, les lipides oxydants, l'ADN ou protéines. De nombreux dysfonctionnements cellulaires résultent de ces dommages biochimiques, variables selon le niveau de stress : excès de prolifération cellulaire, mort cellulaire par apoptose, dépôt de lipides, mutagenèse. La protection contre les effets délétères provoqués par les radicaux oxygénés s'effectue à l'aide d'antioxydant d'origine nutritionnelle comme la vitamine E (tocophérols), vitamine C (acide ascorbique) et certains minéraux comme les oligoéléments, les protéines non enzymatiques (albumine, haptoglobine et transferrine), les enzymes tels que les superoxydes disputassent et les glutathions-peroxydases ainsi que les polyphénols.

Les éventuels bénéfices des polyphénols sur la santé humaine se résument dans la diminution de risque survenue d'un certain nombre de pathologies, en particulier celles liées au vieillissement et aux lésions oxydatives (Cancer, maladies cardiovasculaires ou neurodégénératives **(Leong et Shui 2002).**

I.6.10 Différents domaines d'utilisation des couches périphériques (son de blé)

I.6.10.1 En boulangerie

Il existe de différents pains qui sont fabriqués à base de son de blé ajouté a la farine blanche ainsi que les galettes ; des gâteaux comme les cakes, les muffins, les biscuits et les gaufres, qui sont conseillés par les diététiciens pour les gens qui font un régime amaigrissant à cause de ces richesses en phosphore, manganèse, magnésium, fer et fibres insolubles qui facilite la digestion **(Veraverbeke *et al.,* 1999 et Zaddem, 2014).**

I.6.10.2 Dans l'Industrie

La production industrielle de la semoulerie, pâtes alimentaires, les couscous et d'autres spécialités à base de blé dur mélangée avec du son de blé, afin de former un repas sain et nutritif pour leurs richesses en fibres alimentaires **(Boudouma, 2009).**

I.6.10.3 Alimentation animale

Le son de blé est employé pour la fabrication des aliments concentrés pour les ruminants, porcs et volailles suite de sa valeur nutritive. Il est, du fait de sa haute teneur en fibres alimentaires, bénéfique pour la digestion des canidés **(Boudouma, 2008).**

I.7 Les exigences climatiques du blé

Chaque stade de développement exige des facteurs climatiques bien précis **(Clement et Prats, 1970)**, plus particulièrement la température. La germination nécessite une température de zéro degré, la température optimale pour une bonne croissance est comprise entre 20 et 22 °C d'après **Heller *et al.,* (1998)**, ainsi qu'une température élevée favorise la croissance des céréales **(Simon *et al.,* 1989)** mais défavorise l'allongement des racines d'après les recherches faites par **Baldy (1993).**

II. Etude Experimentale

II.1 Matériels et Méthodes

II.1.1 Présentation du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude comporte un large éventail d'espèces algériennes, le blé tendre *Triticcum aestivum* (Ziden et Boumerzoug), le blé dur *Triticum Durum* (Chen's), l'Orge *Hordum vulgare L* (Saida et Fouwara) et le triticale (Kser Sbahi et Beni Haroun). En premier lieu notre étude à été portée sur la différence intraspécifique et interspécifique entre les trois cultivars (Ziden, Chen's et Saïda), qui ont pour la plupart une origine géographique connue.

Ces quatre espèces ont été récoltées au stade mature, le prélèvement des échantillons est issu de récolte 2017 fournie gracieusement par ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) de Sidi Bel Abbes et de Constantine. Chaque espèce ainsi que chaque variété portent ces propres caractéristiques qui font la différence de manière à avoir des origines génétiques diversifiées **(tableau 11).** Certains caractères morphologiques d'ordre quantitatif, à savoir : la hauteur de la tige, la longueur d'épi, ainsi que qualificatif lié à la morphologie (Couleur,plante courte) sont choisis pour étudier les similarités entre les variétés.

Tableau 11: Les différentes espèces et variétés cultivées en Algérie

Variété	Caractéristiques	Origine
Ziden (blé tendre)	-Epi pyramidal -couleur blanche -plante courte	Cimmyt Mexique
Boumerzoug (blé tendre)	-Epi moyen -plante courte	Cimmyt Mexique
Chen's (blé dur)	- Épi compact -Couleur blanche à roux pale -Hauteur de plante mature 65 à 75 cm	Cimmyt Mexique
Saida (orge)	-Epi long 9.84cm -tige courte	Asie orientale et le proche orient
Fouara (orge)	-faible longueur d'épi -tige courte 76cm	Asie orientale et le proche orient
Beni haroun (triticale)	- longueur de tige 1.20 à 1.30m -epi grand et barbu	Allemagne, France et Pologne
Ksar sbahi (triticale)	- longueur de tige 1.20 à 1.30m -epi grand et barbu	Allemagne, France et Pologne

II.1.1.1 Isolement des couches périphériques des graines

La dissection ou l'isolement des couches périphériques des grains matures est la première partie expérimentale dans cette étude, qui permet d'avoir des échantillons bien propres **(Figure 14)**.

Un trempage des grains d'au moins 16h dans les tubes est nécessaire pour les humidifier et faciliter l'opération. Les couches périphériques (CP) ont été placées dans une boite de pétri en verre qui vont être séparées manuellement sous une loupe binoculaire avec une très grande précision et délicatesse, l'embryon et la partie brosse ont été éliminés à l'aide d'un scalpel. Une 1re incision légère est pratiquée au scalpel sur 1 mm de profondeur sur le dessus du grain et sur toute sa longueur, puis la partie dorsale a été incisée au bistouri tout le long du pli et les graines ont été ouvertes directement sur la partie ventrale.

L'albumen a été enlevé par grattage à l'aide du dos du scalpel en poussant son contenu amylacé vers l'extérieur du grain, ensuite ils ont été lavés plusieurs fois à l'eau distillée afin d'obtenir des couches périphériques pures et propres **(Meziani *et al.*, 2012)** , qui sont ensuite conservées jusqu'à l'analyse pour être réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique.

Au total, en moyen de 10g minimum de CP de chaque variété sont nécessaires pour réaliser les différentes analyses avec ces répétitions.

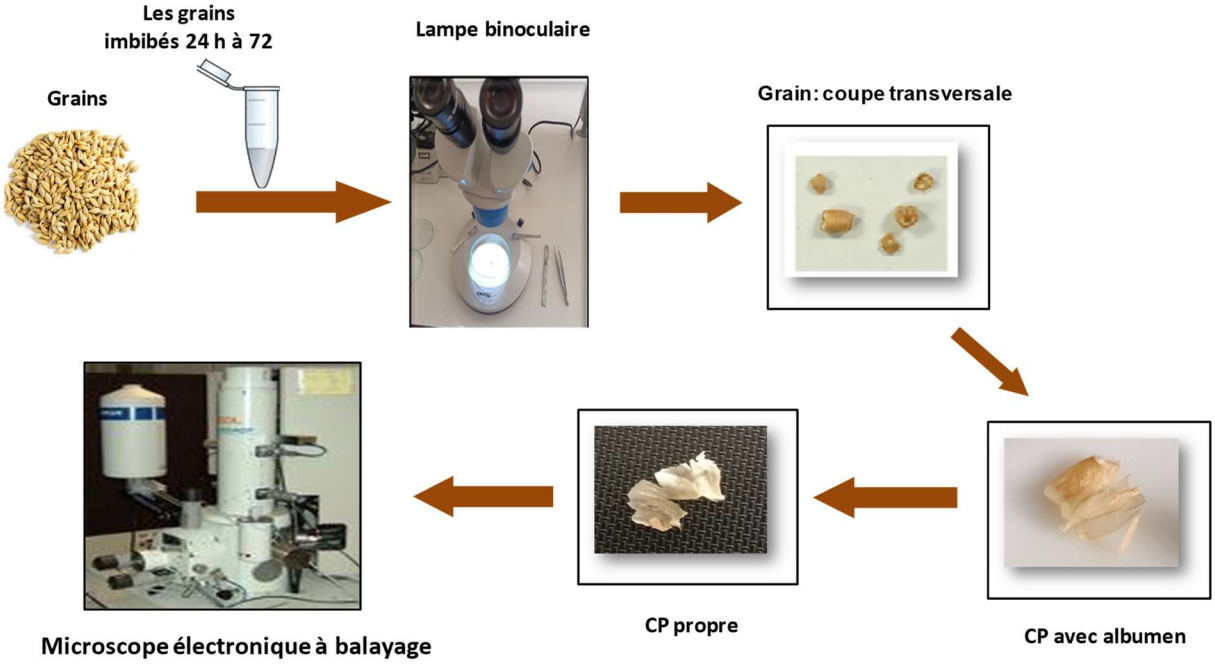


Figure 14: les étapes de la dissection des couches périphériques des grains de blé, l'orge et triticale.

II.1.2 Observation par le Microscope électronique à balayage des différentes couches périphériques (CP) des grains :

Le Microscope électronique à balayage (MEB) (*Scanning Electron Microscopy)* est un examen crucial pour évaluer la pureté des tissus récupérés et pour valider la procédure de dissection.

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique d'analyse, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet. Cette technique représente l'une des dernières avancées majeures dans ce domaine, sa grande commodité d'utilisation, sa souplesse pour visualiser des champs d'extension très variables sur des échantillons massifs, l'étendue de sa profondeur de champ fait du MEB un outil indispensable dans l'exploration du monde microscopique. Il permet en effet de travailler sur n'importe quel échantillon, à la pression atmosphérique, et avec une excellente résolution. Son utilisation est courante en biologie, chimie, médecine, géologie, métallurgie ainsi qu'en mécanique **(Crewe et Wall, 1971).**

Une dissection manuelle des couches périphériques (CP) de grain de blé mature (ziden, Chen's et Saïda) a été réalisée afin d'observer les différentes couches **(Thornley et Cartz, 1962).** Le fonctionnement du microscope est basé sur l'émission d'électrons produits par une cathode et la détection de signaux provenant de l'interaction de ces électrons avec l'échantillon. Le signal (d'électrons secondaires, d'électrons rétrodiffusés, de rayons X…) recueilli par le détecteur est utilisé pour moduler la brillance du moniteur permettant l'observation. **(Annexe N°1)**

II.1.3 Préparation des extraits des couches périphériques

Une quantité de 10g des CP ont été extraites deux fois avec 200 ml de méthanol par la méthode d'infusion pour Ziden et Chen's, ensuite un fractionnement a été réalisé a différents solvants de polarités croissantes chloroforme ($CHCl_3$), acétate d'éthyle (EA) et le N-butanol respectivement dans des ampoules à décanter afin d'extraire le maximum de molécules bioactives.

La technique de macération avec de l'éthanol à été utilisée sur toutes les variétés, le but est d'avoir une étude comparative entre les deux méthodes (infusion et macération) et les deux solvants (méthanol et éthanol). Les échantillons ont été mis à macérer dans 100ml d'Éthanol (70%) sous une agitation de 24 heures. Après refroidissement, les extraits ont été

filtrés à l'aide d'un papier Wattman, ensuite concentré dans un évaporateur rotatif sous pression réduite à 60°C pour éliminer le maximum. de solvant.

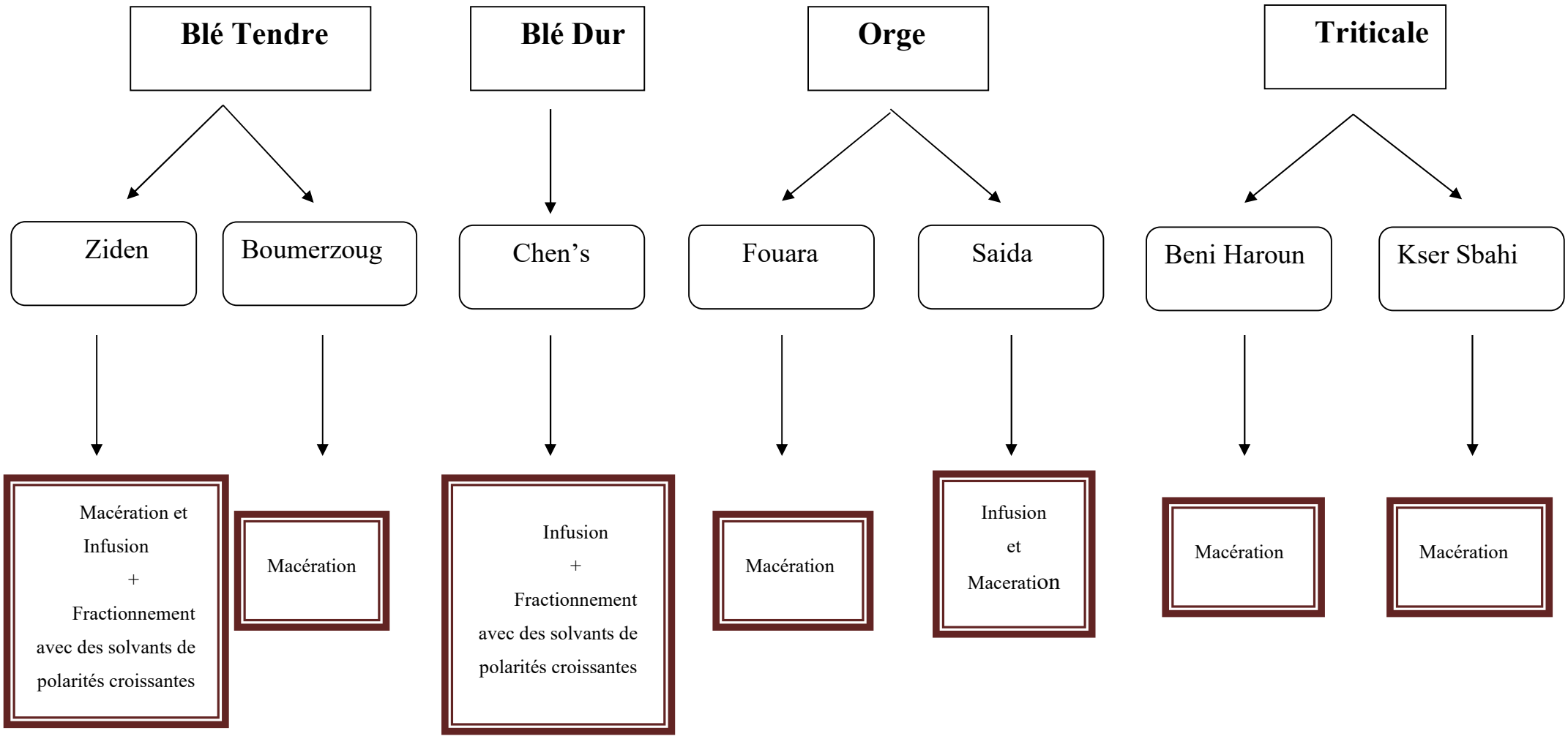

Blé Tendre
Blé Dur
Orge
Triticale
Ziden
Boumerzoug
Chen's
Fouara
Saida
Beni Haroun
Kser Sbahi
Macération et Infusion + Fractionnement avec des solvants de polarités croissantes
Macération
Infusion + Fractionnement avec des solvants de polarités croissantes
Macération
Infusion et Maceration
Macération
Macération

Figure 15: Schéma récapitulatif des procédés d’extractions utilisés.

II.1.4 Valeur nutritionnelle des couches périphériques des grains de blé et orge

II.1.4.1 Dosage des protéines par la méthode de Bradford

Il existe de nombreuses procédures pour quantifier la teneur en protéines d'un extrait qui donnerait probablement des résultats différents, car elles sont basées sur des principes différents. En fait, il n'existe pas de méthode absolue, tous en des avantages et des inconvénients.

Les méthodes les plus utilisées pour l'analyse des teneurs en protéines sont les dosages de Biuret, Bradford, Kjendahl, Lowry,Smith. Néanmoins, de nombreux auteurs recommandent essai spectrophotométrique de Bradford (1976) en raison de ces multiples avantages par rapport à d'autres méthodes (**Snyder et Desborough, 1978; Berges *et al.,* 1993**). Dans notre travail on s'est intéressé par la méthode Bradford pour quantifier les protéines présentes dans les CP de nos trois échantillons : blé (Ziden et Chen's) et orge Saïda.

❖ **Principe**

La méthode de Bradford (1976) est basée sur le principe du changement de l'absorbance d'une solution de bleu de Coomassie à 595 nm.

❖ **Mise en œuvre pratique**

2 ml une solution d'acide de colorant Coomassie brillant Blue G-250 a été ajoutée à chaque concentration de l'extrait préparé préalablement, après homogénéisation et incubation de 5 à 15 min à l'abri de la lumière, la mesure de l'absorbance du complexe protéine-colorant à 595 nm permet une quantification précise de la teneur en protéines d'un échantillon.

Les concentrations des échantillons ont été calculées à partir de la courbe linéaire de la gamme d'étalonnage du standard BSA à 1 g/L.

II.1.4.2 Dosage des minéraux

II.1.4.2.1 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 aux matières organiques et de réaliser en outre une concentration qui améliore la sensibilité des mesures. La digestion acide par voie humide est le processus le plus utilisé.

Les échantillons (1.5g) ont été mis en contact avec 0.6 mL d'acide nitrique HNO_3 à 65% et 2 mL de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 à 30% dans un bécher de 15 mL. Les échantillons ont

été posés sur une plaque chauffante à 90°C ensuite la température est augmentée progressivement jusqu'à 120°C. Après l'évaporation totale et refroidissement des béchers, les échantillons sont complétés à 15 mL avec de l'eau distillée et filtrés par la suite (**Peters *et al.*, 2003).**

Concernant le protocole de dosage des minéraux **(Mahood, 2021)**, nous avons utilisé un spectrophotomètre à absorption atomique de marque (SHIMADZU model AA7000).

❖ **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 caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnels au nombre d'atomes d'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments dosés. Dans le cas de l'absorption, on envoie donc sur les atomes à doser un faisceau monochromatique d'intensité connue, de longueur d'onde caractéristique à l'élément à doser. 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 :

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

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 à analyser sont d'abord définies sur l'appareil. La lecture se fait à une longueur d'onde spécifique à chaque élément chimique dont il y a des lampes spécifiques et les résultats ont été exprimés en mg/L (PPM). Notons qu'il faut obligatoirement faire passer le blanc entre le passage de deux solutions différentes **(Annexe N°2).**

II.1.4.2.2 Dosage des minéraux (Potassium et Sodium) par spectrophotomètre à flamme

❖ **Principe**

- aspiration de la solution
- pulvérisateur
- Mélange de la solution avec le gaz
- Atomisation au niveau de la flamme
- Captage de l'élément minéral par son filtre spécial
- Passage du spectre par la photocellule d'où déviation de l'aiguille du galvanomètre et cette déviation est proportionnelle à la concentration de l'échantillon en l'élément minéral correspondant.

Il permet le dosage monoélémentaire des cations majeurs de l'ordre de mg/L dans des échantillons liquides. L'échantillon aspiré par l'appareil est transformé en aérosol, la flamme atomise ensuite les éléments contenus dans l'aérosol qui passent à travers le faisceau de la lampe à cathode creuse. Comme dans plusieurs méthodes analytiques, il doit y avoir un système d'étalonnage pour quantifier la présence des ions Na+ et K+ dans l'échantillon **(Annexe N°3).** Nous avons utilisé le chlorure de sodium et le chlorure de potassium pour préparer la solution mère après, chaque élément mesuré plusieurs solutions étalons à différentes concentrations ont été préparées.

II.1.4.3 Dosage de fibres brutes (Weende)

La méthode est basée sur la solubilisation des composés non cellulosiques dans des solutions d'acide sulfurique et d'hydroxyde de potassium **(Kitcherside *et al.,* 2000)**. Prise d'essay de 1g de chaque échantillon, ajouté à 150 ml d'acide sulfurique à 1.25% puis 3-5 gouttes de l'agent anti-moussant le n-octanol ensuite les faire bouillir pendant 30 min. les puis ont été vidangés et les creusets ont été lavés 3 fois avec l'eau distillée chaude. Ensuite on reprend les mêmes étapes avec l'hydroxyde de potassium (KOH) à 1.25% sauf qu'au dernier lavage c'est avec de l'eau déionisée froide puis lavée 3 fois avec le contenu des creusets avec 25 d'acétone. Les creusets ont été retirés et pesés après séchage à 105° pendant 1h, ce poids représente les fibres brutes plus la teneur en cendre (F1), pour les éliminés les creusets ont été placés dans un four a moufle a 550° pendants 3h et en repése après refroidissement dans un dessiccateur F2, la différence de poids représente le contenu en fibres brut sans les cendres. Les résultats ont été exprimés en % :

$$\% \text{ en fibre brute} = (F1 - F2 / F0) \times 100$$

F1 : poids fibres brutes + cendre
F2 : poids de la cendre
F0 : poids après broyage.

II.1.5 Dosages des métabolites secondaires des couches périphériques

II.1.5.1 Dosage des polyphénols totaux

❖ **Principe**

L'oxydation des phénols réduit le Folin-Ciocalteu en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la quantité de polyphénols oxydés présents dans l'extrait dont l'absorbance est comprise entre 725 et 760 nm.

❖ **Mode opératoire**

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode spectrophotométrique de **Vermarius et Nicholson (2006)**. Un volume de 0,1 mL de chaque extrait a été mélangé avec 2 mL d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 2% fraichement préparée. Après 5min de repos, 0,1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu 1N a été ajouté au mélange, le tout a été incubé pendant 30 min. La lecture a été effectuée contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre à 725 nm (le taux des polyphénols a été exprimé en microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg E) **(Figure 16)**.

La concentration des polyphénols totaux a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage qui a été réalisée en utilisant l'acide gallique comme contrôle positif aux concentrations finales allant de 100 à 900 µg/mL.

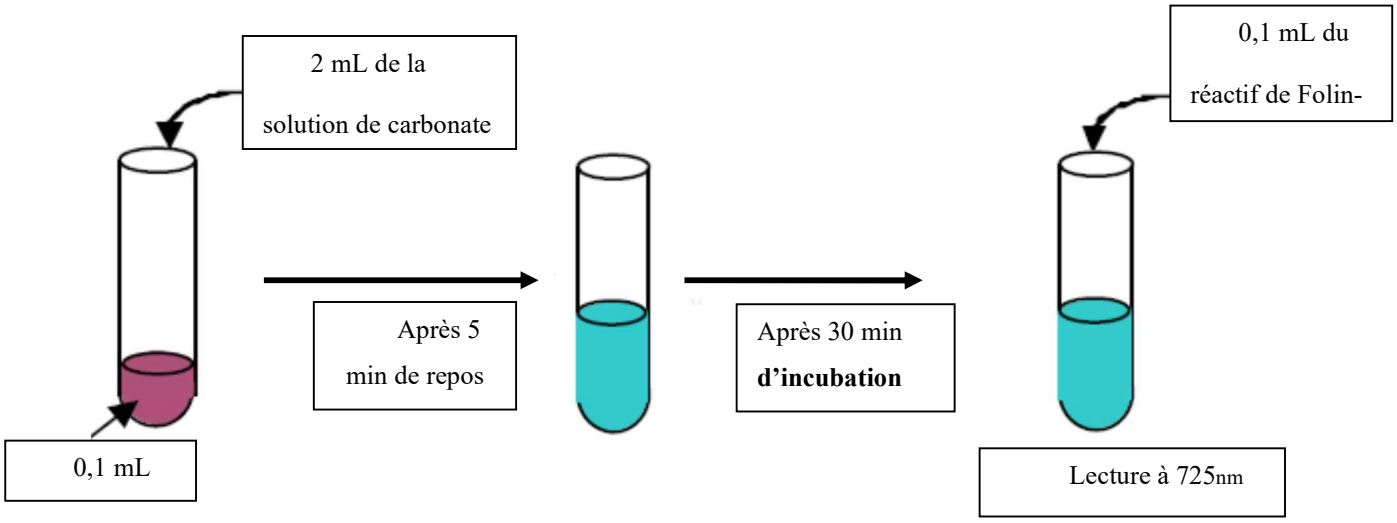


Figure 16: Protocole suivi pour le dosage des composés phénoliques selon **Vermarius et Nicholson (2006).**

II.1.5.2 Dosage des flavonoïdes totaux

❖ **Principe**

Le principe de la méthode colorimétrique est basé sur l'oxydation des flavonoïdes en utilisant les réactifs incolores de nitrite de sodium ($NaNO_2$) et le trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) ce qui entraine la formation d'un complexe rose flavonoïde- aluminium qui absorbe à 510 nm **(Djeridane A. et *al*., 2006).**

❖ **Mode opératoire**

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode colorimétrique de décrite par **Zhishen *et al*., (1999)**. 500 µL de chaque extrait a été mélangé avec 2 mL d'eau distillée et 150 µL d'une solution de nitrite de sodium ($NaNO_2$) à 15%. Après 6 min, 150 µL de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 10% ont été ajoutés au mélange, le tout a été laissé pendant 6 min. Ensuite, 2 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4% a été ajouté aux tubes et le volume final a été complété à 5 mL avec de l'eau distillée. Après agitation et incubation pendant 15 min la lecture a été faite à l'aide d'un spectrophotomètre à 510 nm contre un blanc.

Les résultats sont calculés à partir d'une courbe d'étalonnage qui a été réalisée en parallèle aux concentrations finales allant de 100 à 900 µg/mL, établis avec de la catéchine qui est considérée comme contrôle positif. Les taux en flavonoïdes ont été exprimés en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait (µg EC/mg E).

II.1.6 Caractérisation des composés phénoliques des couches périphériques des grains de blé et d'orge par la méthode RP-HPLC-LC-2030C 3D

L'analyse des composés phénoliques par RP-HPLC-LC-2030C3D pour les trois variétés Chen's, Ziden et Saïda a été réalisée à l'aide d'un appareil (Shimadzu Prominence-i ;LC-2030C 3D) de chromatographie en phase liquide à haute performance (hplc) couplée à un détecteur UV-vis multilongueur d'onde, qui est une méthode utilisée pour la séparation de toutes les classes de composés phénoliques **(Marston et Hostettmann, 2006).**

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

❖ **Mode opératoire**

Les données analytiques ont été évaluées à l'aide d'un système de traitement de données. La séparation a été réalisée sur une colonne C18 Supelco (25cm x4.6mm ,5µm) à température ambiante. La phase mobile était constituée d'eau / acide acétique (pH=3) solvant A, le solvant

B était constitué de Méthanol /acide acétique (pH=3). Le système d'élution par gradient était le suivant à 0,01 min la concentration du solvant B est de 5% jusqu'aux 2es minutes, à partir de la 2e minute jusqu'aux 40es minutes le gradient changera successivement de 5% pour atteindre 100% du solvant B, puis restera 100% jusqu'à la 45e. Le débit était 0.8 mL/min, et la longueur d'onde était de 280 nm. Les composés phytochimiques ont été identifiés à partir d'une combinaison de temps de rétention et d'adaptation spectrale **(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

II.1.7 Étude de l'Activité antioxydante des couches périphériques

Les aliments à base de céréales sont de loin la principale source de composés phénoliques qui ont un pouvoir antioxydant variable selon la quantité et le type du constituent phytochimiques existant dans la partie étudiée. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer cette capacité qui se diffère par leurs principes d'analyse et leurs conditions expérimentales **(Indu et Seenivasan, 2013).**

Du coup, l'activité antioxydante des couches périphériques des sept variétés a été évaluer par deux méthodes la méthode du piégeage du radical 1,1 diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) et le pouvoir réducteur du fer (FRAP).

II.1.7.1 Activité antiradicalaire du DPPH

❖ **Principe**

Il permet de mesurer le pouvoir anti-radicalaire des extraits dans un solvant organique par un changement de la couleur (violette) en jaune, avec une diminution de l'absorbance à 515nm, la réaction dépendra de la nature et la concentration de l'antioxydant. Cette méthode est plus utilisée en raison de la rapidité et la simplicité de la réaction **(Bozin *et al.*, 2008).**

❖ **Mise en œuvre pratique**

L'activité de piégeage des radicaux libres des extraits des variétés de blé utilisé a été mesurée par la méthode DPPH **(Popvici *et al.,* 2009)** 1950 µL de solution de radical DPPH qui a été préparé dans du méthanol a été ajouté à 50 µL de différentes concentrations de chaque extrait dilué dans du méthanol. Après incubation de 30 min dans l'obscurité à température ambiante, l'absorbance a été lue à 517 nm contre un blanc en utilisant un spectrophotomètre.

Le BHA (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole) a été utilisé comme antioxydant standard, un contrôle négatif a été préparé par l'ajout de 50 µL de méthanol à 1 950 µL de solution de DPPH, dont l'absorbance est mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons testés.

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est proportionnel au pouvoir anti-radicalaire de l'échantillon. Les pourcentages d'inhibition ont été calculés grâce à la formule suivante :

$$\boldsymbol{DPPH}\ \% = \frac{(\mathbf{Acontrol} - \mathbf{Asample})}{\mathbf{Acontrol}} * \mathbf{100}$$

DPPH (%) : est le pourcentage réducteur de DPPH,

A contrôle : est l'absorbance du contrôle négatif

A sample : est l'absorbance de l'échantillon.

Les résultats ont été exprimés par la moyenne de trois mesures obtenues pour chaque échantillon.

❖ **Calcul des concentrations 50 " IC50"**

IC50 (aussi appelée EC50 pour efficiente concentration 50), détermine la concentration qui réduit 50% du radical DPPH, elle a été révélée graphiquement pour chaque extrait de la courbe du pourcentage réducteur de DPPH en fonction de la concentration. **(Bertoncelj *et al.,* 2007); (Scherer et Godoy, 2009) ; (Fabri *et al.,* 2009).**

II.1.7.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

❖ **Principe**

L'analyse FRAP mesure la capacité des antioxydants des extraits testés à réduire le complexe ferrique de la tripyridyl-s-triazine 2,4,6 (Fe3+) intensément au complexe ferreux (Fe2+) **(Benzie et Strain, 1999)**. En effet, la quantité de fer réduit est calculée en mesurant l'augmentation de l'absorbance à 700 nm.

❖ **Mise en œuvre pratique**

Cette méthode été déterminée selon le protocole de (**Karagözler *et al.*, 2008)**. Après préparation des gammes des extraits à différente concentration. Un volume de 0.1mL de chaque concentration a été mélangé avec 0.25mL de la solution tampon phosphate (0.2M, pH=6,6) et 0,25mL de ferricyanure de potassium (K_3Fe $(CN)_6$) à 1%, après incubation 0,25mL de l'acide trichloracétique (TCA) à 10% ont été additionnés aux tubes afin de stopper la réaction.

Ensuite, un volume de 0,5 ml de chaque concentration à été introduit dans de nouveaux tubes, puis mélangé avec 0,5 ml d'eau distillée et 0,1mL de chlorure de fer ($FeCl_3$) à 0.1%. L'absorbance a été mesurée à 700 nm contre un blanc.

❖ **Expression des résultats**

La détermination de la concentration effective (EC_{50}) de chaque extrait a été calculée graphiquement à l'aide des courbes de régression linéaire représentant l'absorbance en fonction de la concentration. L'antioxydant standard utilisé est l'acide ascorbique.

II.1.8 Analyse statistique

L'analyse statistique de nos résultats a été faite par une procédure d'analyse de variance (ANOVA) à l'aide d'un logiciel statistique. La validation des résultats des différentes activités a été réalisée par trois analyses de chaque échantillon et chaque expérience a été réalisée en triple (n = 3). La valeur moyenne et l'écart type ont été calculés à partir des données obtenues.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats

III.1.1 Le choix de matériel végétal

Le blé, l'orge et le triticale sont des céréales les plus utilisées dans notre alimentation quotidienne, le choix de ces espèces est justifié par leur richesse en amidon et en protéines, en vitamines, en fibres, en minéraux et en composés phénoliques connus pour leurs potentiels biologiques divers.

En raison de manque des travaux sur l'étude de la valeur nutritionnelle qui nous réserve les couches périphériques des grains de blé et d'autres espèces, il a été choisi de faire des recherches sur cette partie avec différentes espèces disponibles cas de (blé tendre, blé dur, l'orge et triticale) pour but d'avoir une étude comparative sur le plan nutritionnel et biologique. Dans cette partie expérimentale, malheureusement, nous n'avons pas réalisé toutes les analyses sur l'ensemble des variétés et/ou des espèces choisies au début, certains dosages n'ont pas été réalisés, car la perte des échantillons prélevés au moment de l'analyse et aussi l'insuffisance des quantités importantes des couches isolées pour effectuer le dosage de certains paramètres expliquant les résultats décrits ci-après.

III.1.2 Résultats de l'observation microscopique électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique d'analyse, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet, baser sur les phénomènes d'interactions électron- matière avant tout c'est une technique d'observation à haute résolution. Cette nouvelle technologie a permis de valider la méthode de dissection manuelle effectuée et validé la pureté des tissus dont l'identité a été établie à partir de leurs compositions histologiques **(Antoine *et al.,* 2004; Surget et Barron, 2005, Meziani *et al.,* 2012 et 2021).**.

Les figures 17 et 18 ci-dessous montrent des images tissulaires des couches périphériques superficielles de deux espèces de céréales (blé et orge) et de trois exemples des grains de blé (blé tendre Ziden et Boumerzoug, blé dur (Chen's) décortiqué observé par le microscope électronique à balayage (MEB) avec des grossissements allant de (×400 - ×1600) afin d'obtenir des images de haute résolution.

Lors de la dissection, nous avons constaté qu'il y avait des différences prononcées dans la dureté entre les espèces de blé tendre et de blé dur. Sur le plan longitudinal des grains, on

distingue une structure de surface irrégulière caractérisée par un péricarpe mince plus allongé observé chez les deux espèces de blé (tendre et dur) avec une enveloppe discrète, qui est la première enveloppe protectrice des grains. Elle est de nature très fibreuse et était principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses (pentosanes) et de lignine **(Surget et Barron, 2005).** Que ce soit pour le blé tendre ou le blé dur, les images microscopiques observées nous montrent la superposition de différents tissus ; de l'extérieur vers la surface intérieure. Le mode de dissection diffère selon les caractéristiques variétales utilisées dans notre cas.

Les images (1A et 1B et 1C) montrent le péricarpe dans une bande continue, enroulée autour des caryopses qui commencent à se former sur la face interne des couches externes des caryopses de blé. Le tissu unicellulaire forme la couche d'aleurone (3A) entourant l'endosperme sont disposées sous forme d'une couche de forme polygonale. La séparation manuelle des couches périphériques de la variété blé tendre ainsi que la variété blé dur était relativement plus simple, puisqu'elles ont de larges cellules d'aleurone AL avec un péricarpe interne épais (hyaline et testa).

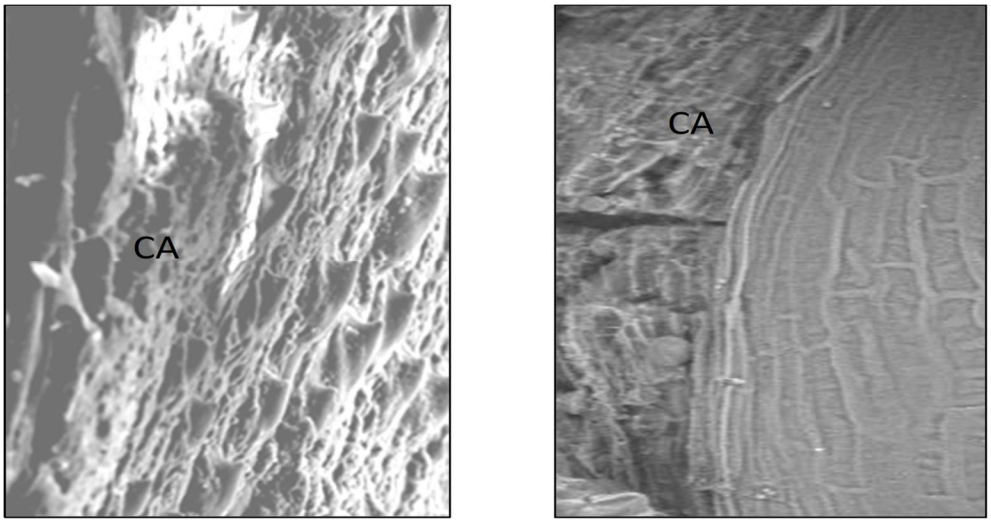


Figure 17 : Image microscopique des CP de deux espèces (blé et orge) à l'aide d'un Microscope électronique à balayage**.**

CA: couche d'aleurone (3A)

(×100 jusqu'à ×1600).

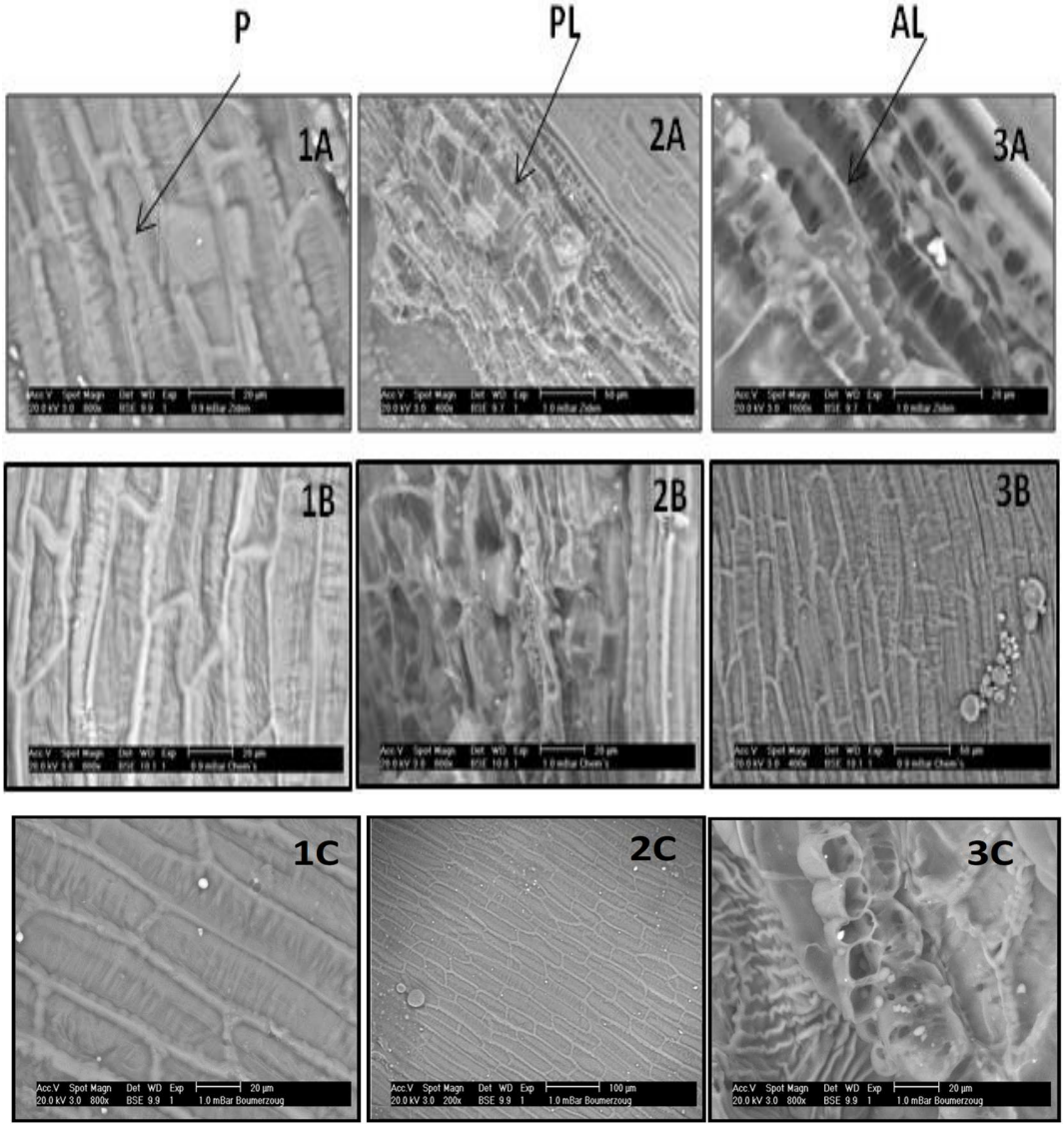


Figure 18 : Observation des couches périphériques de trois variétés de blé mûr A : Variété Chen's ; B : Varité Ziden et C : Variété Boumerzoug à l'aide d'un Microscope électronique à balayage **(×100 jusqu'à ×1600).**

P : péricarpe dans (1A, 1B, 3B , 1C),
PL : couche périphérique (2A, 2B),
AL : couche d'aleurone (3A, 3C)

III.1.3 Résultats de la valeur nutritionnelle des couches périphériques des grains de blé et orge

III.1.3.1 Résultat du Dosage des protéines

De nombreuses études épidémiologiques ont été lancées sur les avantages potentiels de consommer les aliments à grains entiers plus particulièrement les grains de céréales (blé, orge, triticale...), leurs richesses en composés nutritionnels intéressants et qui sont bénéfiques pour la santé tels que les protéines qui occupent 7 à 12 % du grain entier **(Pomeranzy *et al.*, 1973).** Le présent travail est basé sur une étude quantitative simple par la méthode de Bradford afin de donner un aperçu sur le taux des protéines présentes dans les couches périphériques des trois variétés Chen's, Ziden et Saïda.

La teneur en protéines des couches périphériques a été obtenue à partir de la courbe d'étalonnage du standard (BSA) par la méthode de Bradfort. Les résultats de nos extraits semble faible 0.005 mg/ml pour Chen's et Saïda et 0.001 mg/ml pour Ziden **(Tableau 12)**.

Tableau 12: Résultats du dosage des protéines par la méthode Bradford exprimé en mg/ml des deux variétés de blé tendre (Ziden) et blé dur (Chen's) et d'orge (Saida)

Variétés	Ziden	Chen's	Saida
Contenu en protéines "Bradford" (mg/ml)	0.001±0.002[a]	0.005±0.001[a]	0.0052±0.005[a]

[a] Valeurs exprimées en moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles

III.1.3.2 Résultats du dosage des minéraux

La distribution des minéraux dans les grains de blé est comme suit : les éléments mobiles du xylème (Mn, Si, Ca et Sr) dominaient dans les couches de son les plus externes, tandis que les éléments mobiles du phloème (K, Mg, P, Fe, Zn et Cu) étaient plus concentrés dans l'aleurone qui jouent un rôle important dans l'ensemble de la nutrition humaine **(Bock ; 2000)**.

III.1.3.2.1 Dosage des minéraux par spectrophotomètre a absorption atomique (SAA) ainsi que le dosage du Na+ et K+ par spectrophotométrie a flamme

Le dosage des minéraux (Ca, Cu, Mn, Mg et Fer) par la méthode SAA a été réalisée sur deux variétés de blé (Ziden, Chen's) ainsi que l'orge (Saïda), dans le but d'avoir une étude comparative interspécifique. Les résultats obtenus à partir des courbes d'étalonnages

(absorbances en fonction des concentrations) de chaque minéral ont été représentés dans le **tableau N° 13.**

la concentration la plus élevée de dosage du calcium est notée pour la variété Chen's avec 10.66 ppm, Ziden 8.08 ppm suivi par Saïda 2.79 ppm (particule par millions), tandis que la variété Ziden est plus riche en fer avec 1.825 ppm, suivies par Saïda 0.825 ppm enfin Chen's avec 0.715 ppm. Le cuivre est plus abondant dans la variété Ziden avec 0.115 ppm puis Chen's avec 0.0973 ppm et Saïda 0.0466 ppm. La concentration en Mn est de 0.4317 ppm avec la variété Ziden, 0.2387 ppm avec la variété Saïda et 0.1819 ppm pour Chen's, cette différence et sous l'influence des facteurs environnementaux qui caractérisent la culture du grain **(Peterson *et al.*, 1986. Bock ; 2000).**

En revanche la concentration en magnésium est presque similaire pour les trois 2.13 ppm variétés ($p<0.05$). Cette similarité et peut être due à l'engrais rajouté puisqu'ils sont cultivés dans la même région.

Le dosage des deux minéraux potassium (K^+) et sodium (Na^+) par la méthode de spectrophotomètre à flamme a été effectué sur les variétés Ziden et Saïda. La concentration des ions Na^+ et K^+ ont été calculés à partir de l'équation de régression des gammes d'étalonnages établie avec le sodium et le potassium **(tableau 13).**

Les résultats obtenus ont montré que les CP des deux espèces possèdent une faible teneur en potassium contrairement au sodium. Les concentrations maximales du sodium ainsi que du potassium à été obtenu avec la variété Ziden (329.33 mg/l) de Na et (190.4 mg/l) de K suivi par la variété orge Saïda (33.78 mg/l) de Na et (24.29 mg/l) de K.

Tableau 13 : Concentration de différents minéraux exprimés en ppm par la méthode SAA ainsi que le dosage (Na^+ e K^+) par spectrophotométrie a flemme des deux variétés de blé et orge (Chen's, Ziden et Saida)

Variétés	SAA (PPM)					spectrophotométrie à flamme (mg/l)	
	Fe	Cu	Mg	Mn	Ca	Na^+	K^+
Ziden	1.2473±0.017[a]	0.1150±0.05[a]	2.1422±0.03[a]	0.4317±0.014[a]	8.0793±0.07[a]	329.33	190.04
Chen's	0.7125±0.015[a]	0.0973±0.001[a]	2.1321±0.006[a]	0.1819±0.008[a]	10.6585±0.04[a]	/	/
Saida	0.8253±0.013[a]	0.0466±0.022[a]	2.0991±0.01[a]	0.2387±0.005[a]	2.7947±0.03[a]	33.78	24.29

ppm : partie par million
SAA : Spectrophotométrie d'Absorption atomique
[a] Valeurs exprimées en moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles

D'autre part d'autres analyses ont été effectuer sur l'orge (Saida et Fouara) et triticale (Kser sbahi et Beni haroun) sur le dosage du potassium et du sodium, afin de voir la différence entre ces deux epèces (**Annex N°3**). On remarque que l'orge et plus riche en sodium avec les valeurs de 15.28 mg/l et 33.78 mg/l pour fouara et saida respectivement, en revanche les meilleures concentrations en potassium ont été obtenues avec l'espèce de triticale avec des valeurs de 329.33 mg/l et 195.04 mg/l pour Beni haroun et Kser sbahi respectivement.

III.1.3.3 Résultats du dosage des Fibres brutes

Le blé comme l'orge sont des céréales considérés comme une source importante des fibres insolubles, qui constituent les parois des cellules végétales **(Menadi *et al.*, 2021).** Les fibres solubles et insolubles jouent un rôle important dans la santé humaine. Le son de blé est constitué principalement de cellulose, hémicellulose et de lignine **(Stone et Morell, 2016).**

Les résultats des fibres brutes obtenus mentionnés dans **le tableau 14** sont exprimés en %. On remarque que le pourcentage en fibres brutes le plus élevé a été obtenu avec la variété (blé dur) qui est de 1.5% suivie par Ziden (blé tendre) avec une légère différence de 0.3% qui est de 1.2%, puis la variété d'Orge (variété Saïda) présente une valeur de 0.8% ($P<0.05$).

Tableau 14: pourcentage des fibres brutes des trois variétés de blé (Chen's, Ziden et Saida)

Variétés	Ziden	Chen's	Saida
Fibres brutes %	1.2±0.07[a]	1.5±0.03[a]	0.8±0.05[a]

[a] Valeurs exprimées en moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles

III.1.4 Résultat du dosage des polyphénols totaux des extraits de couche périphérique de blé tendre, dur, l'orge et triticale

Le son de blé, d'orge et de triticale peut nous apporter des phytonutriments importants pour la santé **(Parry *et al.*, 1995; Dorais *et al.*, 2008),** tels que les polyphénols et les flavonoïdes qui possèdent des propriétés très intéressantes. Pour cela notre étude à été penchée sur la valorisation des couches périphériques des différentes espèces par le dosage du contenu phénolique en utilisant la méthode de Folin ciocalteu ainsi que le dosage des flavonoïdes par la méthode de trichlorure d'aluminium.

Les résultats relatifs au dosage des polyphénols et flavonoïdes des extraits des couches sont exprimés en microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg E) pour le polyphénol et en microgramme équivalent quercetine par milligramme d'extrait (µg EQ /mg E), ils ont été calculés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage du standard.

Le tableau N° 15 représente les teneurs en composés phénoliques des extraits des couches périphériques des six variétés (Ziden, Boumerzoug, Saïda, Feouara, Beni Haroun et Ksar Sbahi) par le mode de macération avec de l'éthanol, tandis que le **tableau N° 16** montre une étude comparative des composés phénoliques entre les deux variétés Chen's et Ziden par infusion comme mode d'extraction avec du méthanol et leurs fractions à différents solvants. Selon le **tableau 15**, les résultats montrent que la concentration la plus élevée des polyphénols à été obtenue avec la variété d'orge Saïda (58± 0.004 µg EAG /mg E), suivie par la variété TBH (45± 0.0029 µg EAG /mg E) et BTZ (30±0.001 µg EAG /mg E).

Tandis que la concentration la plus élevée en flavonoïdes à été obtenue avec la variété TBH (120± 0.004 µg EQ/mg E) suivie par OS (80± 0.005 µg EQ/mg E) et BTZ (40 ±0.0015µg EQ/mg E). On conclut que ces trois variétés sont les plus adaptées a ce type d'extraction avec de l'éthanol.

Le tableau suivant 16 met en évidence une étude comparative entre deux variétés Chen's et Ziden par infusion comme mode d'extraction avec du méthanol et leurs fractions à différents solvants. On constate que la variété blé dur chen's est la plus riche en composés phénoliques avec la valeur de (550 µg EAG /mg E) pour les polyphénols et (619 µg EQ /mg E) pour flavonoïde. En revanche la fraction qui possède les meilleures concentrations en polyphénols et en flavonoïdes a été obtenue avec le solvant butanolique pour les deux variétés.

En comparant entre les deux modes d'extractions ainsi que les deux solvants utilisés pour la variété Ziden que le mode d'infusion avec du méthanol est le plus efficace.

Tableau 15: Teneurs en composés phénoliques des extraits éthanoliques par la méthode de macération de différentes variétés de grain de blé.

Extraits	PT[a] (µg EAG/mg E)	FT[a] (µg EQ/mg E)
Blé tendre (Ziden)	30±0.001[b]	40 ±0.0015[b]

Blé tendre (Boumerzoug)	14± 0.009[b]	12± 0.006[b]
Orge (Fouara)	12± 0.0019[b]	19± 0.0016[b]
Orge (Saida)	58± 0.004[b]	80± 0.005[b]
Triticale (Ksarsbahi)	27± 0.0025[b]	19± 0.001[b]
Triticale (Beni Haroun)	45± 0.0029[b]	120± 0.004[b]

[a] Valeurs exprimées autant que moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles.
[b] p<0.05
***PT : Polyphénoles total exprimé en microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg E).**
***FT : Flavonoïdes totaux exprimés en microgramme équivalent quercitrine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg E).**

Tableau 16: Teneurs en composés phénoliques des extraits méthanoliques avec leurs fractions des deux variétés (Ziden et Chen's) par la méthode d'infusion.

Paramètres	**PT[a] (µg EAG/mg E)**		**FT[a] (µg EQ/mg E)**	
Extraits	***Blé tendre (Ziden)***	***Blé dur (Chen's)***	***Blé Tendre (Ziden)***	***Blé dur (Chen's)***
Extrait Brut	427± 1.2[b]	550± 0.34[b]	612± 0.5[b]	619± 1.2[b]
Extrait chloroformique	208 ± 0,7[b]	420± 0,48[b]	218 ±0,5[b]	454 ±1.8[b]
Extrait d'acétate d'éthyle	468± 1,02[b]	390± 0,8[b]	502 ±1,41[b]	490 ±0,9[b]
Extrait butanolique	590± 0,64[b]	510± 0,5[b]	543 ±0,7[b]	520 ±1[b]

[a] Valeurs exprimées en moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles
[b] p<0.05
***PT : Polyphénol total exprimé en microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg E).**
***FT : Flavonoïdes totaux exprimés en microgramme équivalent quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg E).**

III.1.5 Résultat de l'analyse par RP-HPLC-LC-2030C 3D des couches périphériques des trois variétés (Chen's, Ziden et Saida)

Afin d'analyser les polyphénols totaux des extraits bruts des variétés qui ont donné le taux le plus élevé en analyse des polyphénols totaux et de flavonoïdes (Chen's, Ziden et Saïda), on

a opté pour l'utilisation de la technique chromatographique liquide à haute performance (HPLC) des extraits bruts par le mode d'infusion avec du méthanol. Une méthode qui permet de séparer et identifier les composés phénoliques **(Tomás-Barberán *et al.*, 1990)**. Le principe de cette technique repose sur la disposition des analyses entre la phase stationnaire et la phase mobile en fonction de la polarité des composés.

Les trois chromatogrammes obtenus à 280 nm des extraits des couches périphériques des grains de blé tendre (Ziden), de blé dur (Chen's) et d'orge (Saïda) sont représentés dans **la figure 21, 22** et **la figure 23** respectivement.

Les figures montrent que l'extrait brut de la variété Chen's contient trois acides phénoliques (acide gallique, l'acide syringique et l'acide 4-hydroxybenzoïque), alors que l'extrait brut de la variété Ziden et Saida contient un pique de l'acide syringique avec une intensité plus élevée pour Ziden.

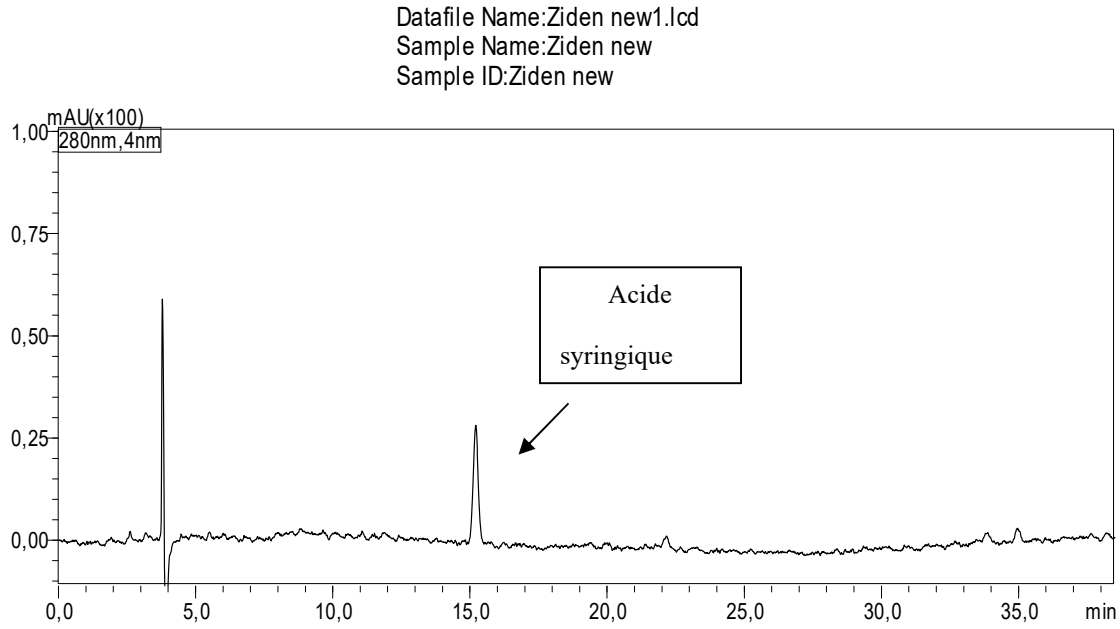


Figure 19: Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Ziden.

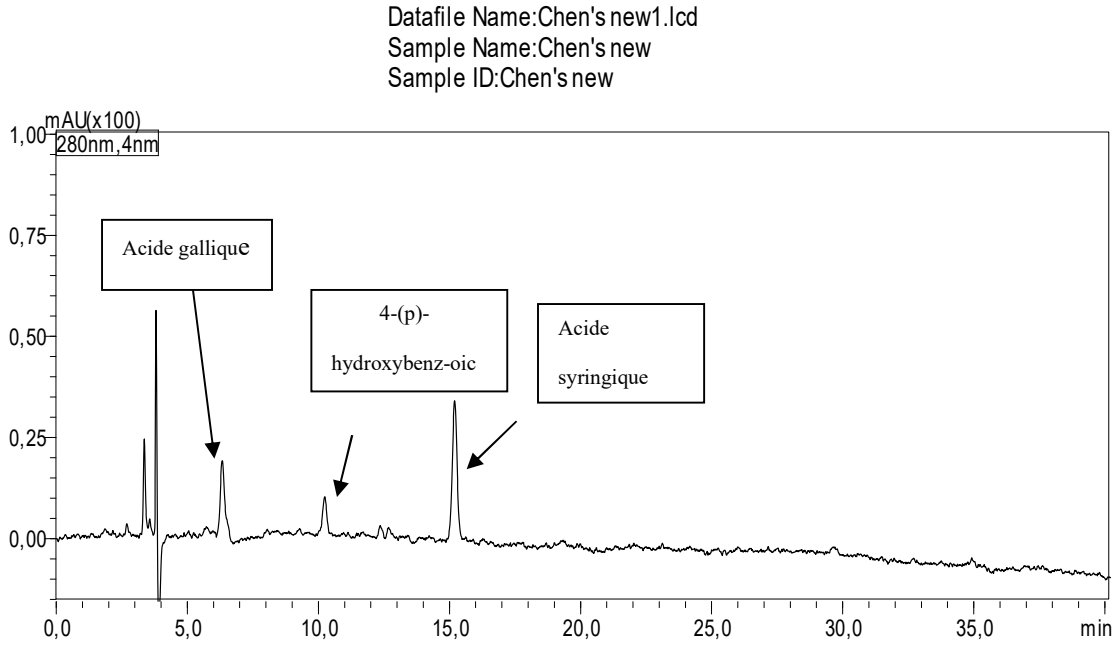


Figure 20 : Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Chen's.

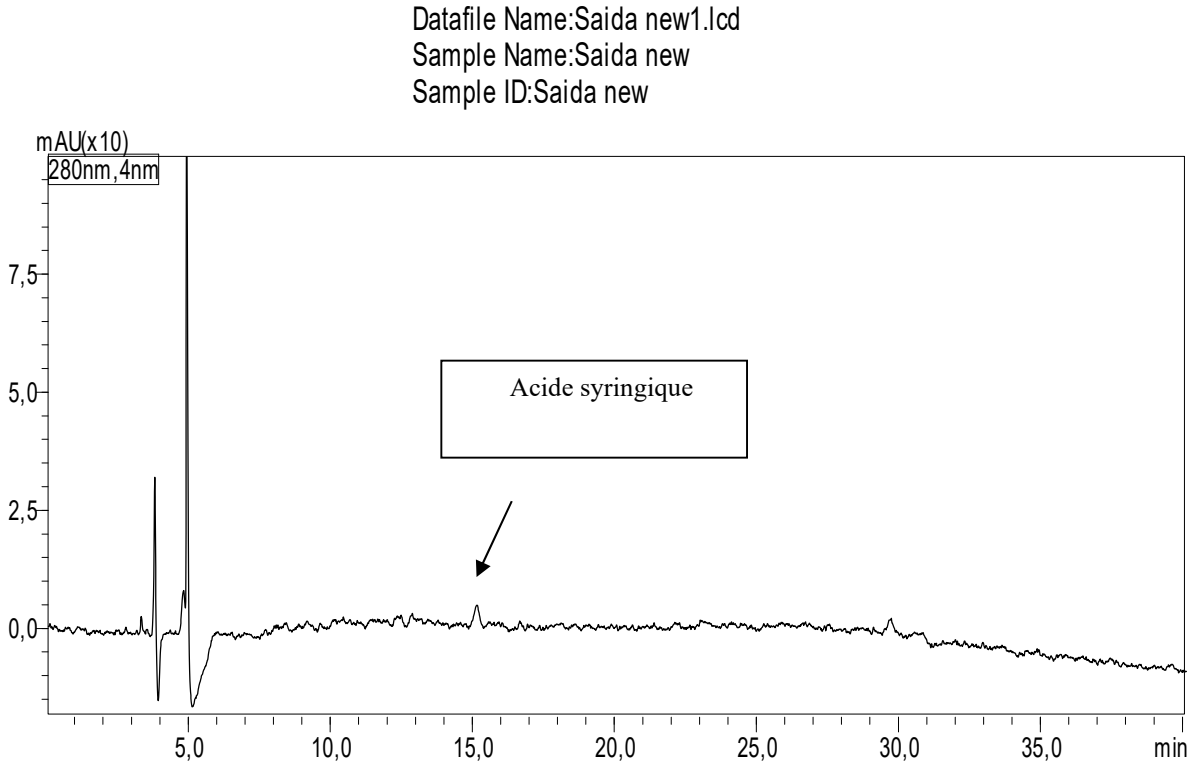


Figure 21: Chromatogramme HPLC de l'extrait brut de couche périphérique de la variété Saida

III.1.6 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante des couches périphériques

Les céréales alimentaires sont riches en composés bioactifs dont les composés phénoliques, qui peut être le majeur contributeur à l'activité antioxydante. L'Activité antiradicalaire des extraits bruts des différentes variétés a été évaluée par la méthode de piégeage de la radicale libre (DPPH), cette activité correspond à sa capacité de résister à l'oxydation **(Rice-Evans et all., 1995),** ainsi que la méthode de réduction de fer.

III.1.6.1 Piégeage de la radicale libre DPPH

La mesure de l'absorbance a été effectuée afin de calculer le pourcentage d'inhibition, les valeurs obtenues ont permis de tracer les courbes **(Annexe 5),** qui représentent le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations de chaque extrait.

Le IC_{50} représente la concentration correspondante à 50% d'inhibition du radical libre, elle a été déterminée à partir de l'équation de régressions logarithmiques obtenue, et les résultats sont représentés dans **les tableaux 17 et 18.** Les concentrations obtenues sont inversement proportionnelles à l'efficacité des extraits.

Les extraits des couches périphériques des deux variétés blé tendre (Ziden) et blé dur (Chen's) ont donné des pourcentages importants d'inhibition du radical libre DPPH (IC50= 1.7 ; IC50 = 0.74) respectivement par le mode d'infusion avec du méthanol par rapport aux autres variétés qui sont extraites par le mode de macération avec de l'éthanol qui sont moins efficace et la IC50 la plus élevée a été enregistrée pour l'extrait de triticale (Ksar sbahi 85.82±0.04 $mg.mL^{-1}$, Beni Haroun 28.05±0.02$mg.mL^{-1}$), ce qui signifie l'activité antioxydante la plus faible.

En revanche, **le tableau 18** montre que les différentes fractions possèdent une activité plus ou moins meilleure en comparant avec les extraits bruts des deux variétés (Ziden et Chen's) qui sont classées comme suit :extrait butanolique> chloroformique > extrait brut > acétate d'éthyle pour la variété Ziden, Acétate d'éthyle> extrait brut > chloroformique >butanolique pour Chen's. Cependant, en comparant avec les antioxydants du standard, les extraits testés s'avèrent moyennement actifs.

III.1.6.2 Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

Les résultats de la capacité des substances des couches périphériques de nos extraits à réduire le fer ferrique Fe^{+3} en fer ferreux Fe^{2+} sont représentés dans **(les tableaux 19-20)** les

longueurs d'onde obtenues nous ont permis de tracer les courbes détalonnages en fonction des différentes concentrations de chaque extrait, $A_{0.5}$ a été calculé à partir des équations des graphes correspondants. On remarque que la variété BTB (0.63±0.009 mg/ml) ainsi que TBH (0.66±0.06) mg/ml sont les plus efficaces pour la réduction du fer par le mode de macération avec du méthanol.

En revanche d'après la comparaison des EC_{50} des deux modes d'extraction utilisés pour la variété Ziden représentés dans le **tableau 19 et 20** que l'infusion avec du méthanol est le mode le plus optimal pour avoir une bonne activité avec la valeur de (0.670±0.06 mg/ml). Concernant les fractions on remarque que le solvant chloroformique est le plus efficace suivi par N-butanol et enfin l'acétate d'éthyle avec les valeurs 0.030±0.004 mg/ml, 0.09±0.01 mg/ml et 0.19±0.094 mg/ml respectivement avec la variété Chen's.

Tableau 17: Valeurs des IC50 des extraits des variétés de blé par la méthode de macération avec de l'éthanol.

Extraits	**Piégeage du radical libre DPPH**						
	Blé tendre Ziden[a]	***Blé tendre Boumerzoug[a]***	***Orge Fouara[a]***	***Orge Saida***	***Triticale Ksar Sbahi[a]***	***Triticale Beni Haroun[a]***	***BHA[b]***
IC_{50} ($mg.mL^{-1}$)	13.7±0.003	2.465±0.001	1.91±0.01	46.48±0.005	85.82±0.04	28.05±0.02	0.00614 ± 0,41

[a] Valeurs exprimées autant que moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles.
[b]BHA: composé de référence

Tableau 18: Valeurs des IC50 des extraits des deux variétés de blé (Chen's et Ziden) par la méthode d'infusion avec du méthanol

Extraits des variétés de blé	**Piégeage du radical libre DPPH IC_{50} (mg.mL^{-1})**	
	Blé tendre Ziden[a]	**Blé Dur Chen's[a]**
Extrait brut	1.7±0.48[a]	0.74±1.73[a]
Extrait chloroformique	0.71±0.26[a]	1.210±0.1[a]
Extrait acétated'éthyle	>4	0.19±0.094[a]
Extrait butanolique	0.47±0.8[a]	2.430±1.2[a]
BHA	0.00614 ± 0,41	0.00614 ± 0,41

[a] Valeurs exprimées autant que moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles.
[b]BHA: composé de référence

Tableau 19: Valeurs des EC50 des extraits des variétés par le mode de macération avec de l'éthanol.

Extraits de variétés de blé	**Pouvoir réducteur du fer (FRAP)**						
	Blé tendre Ziden[a]	***Blé tendre Boumerzoug***	***Orge Fouara[a]***	***Orge Saida[a]***	***Triticale Ksar Sbahi[a]***	***Triticale Beni Haroun***	***Acide Ascorbique[b]***
EC_{50} (mg.mL^{-1})	9.09±0.03	0.63±0.009	1.93±0.08	9.09±0.2	15.62±0.011	0.66±0.06	0,01533±0,08

[a] Valeurs exprimées autant que moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles
[b acides] ascorbiques : composé de référence

Tableau 20: Valeurs des EC50 des extraits des deux variétés par le mode d'infusion avec du méthanol

Extraits des variétés de blé	Pouvoir réducteur du fer (FRAP) (mg.mL^{-1})	
	Blé tendre Ziden[a]	**Blé Dur Chen's[a]**
Extrait brut	0.670±0.06[a]	0.720±0.009[a]
Extrait chloroformique	0.280±0.002[a]	0.030±0.004[a]
Extrait acétated'éthyle	0.240±0.001[a]	0.19±0.094[a]
Extrait butanolique	0.960±0.008[a]	0.09±0.01[a]
Acide ascorbique[b]	0,01533±0,08	0,01533±0,08

[a] Valeurs exprimées autant que moyenne ± S.D. de trois mesures parallèles
[b] Acide Ascorbique: composé de référence

III.2 Discussion

Sur les objectifs de notre étude

Les grains de céréales (Blé, orge et triticale) sont principalement constitués de l'amidon, de fibres et de protéines, mais contient aussi des micronutriments et des minéraux plus spécifiquement de magnésium **(Pomeranz, 1988).** Ils sont ainsi une bonne source de vitamines du groupe B, et contiennent des molécules ayant des activités d'intérêt (vitamine E, composés antioxydants).

De nombreux travaux sur les génotypes, surtout dans le cas de blé associant la génétique, la biochimie et la technologie ont mis en évidence des variabilités quantitatives et qualitatives sur les caractéristiques rhéologiques et leurs compositions structurales **(Branlard *et al.*, 2012).** Leurs compositions en minéraux et les micronutriments ont la particularité d'être assemblés dans les tissus externes, le germe et les couches périphériques, considérés comme sous produits, qui sont exclus et servent principalement à l'alimentation animale. Ces tissus pourraient contribuer grandement à l'augmentation de la qualité nutritionnelle de l'alimentation humaine.

Le travail de recherche entrepris dans cette thèse offre des avantages complémentaires qui devraient être utiles pour mieux comprendre les caractéristiques et les propriétés fonctionnelles des nutriments et des composés naturels actifs des principales espèces de céréales, plus particulièrement dans leurs rôles spécifiques dans la synthèse de nombreux métabolites secondaires présents dans ce tissu, ainsi que dans la régulation et la protection vis-à-vis des facteurs biotiques et abiotiques.

Sur la méthodologie mise en œuvre

L'isolement des couches périphériques suivi par le broyage est les premières étapes de notre étude expérimentale. Le broyage, la séparation et le rebroyage qui sont des étapes répétées pour extraire des parties particulières du grain telles que l'endosperme et les couches périphériques comme sous-produit obtenu manuellement.

Le microscope électronique à balayage est couramment utilisé dans l'étude des matériaux biologiques pour déterminer la morphologie et la structure des tissus **(Farber et Gallant, 1976; Pomeranzy, 1973).** Dans notre étude, l'histologie des couches périphériques est constituée du péricarpe ; la testa, la couche d'aleurone et le nucelle épidermique. La couche d'aleurone est la couche la plus interne attachée au tissu péricarpe avec la couche hyaline et la couche testa **(Meziani *et al.,* 2021).** Les couches périphériques (CP) sont prélevées sur des grains au stade mature, sur des variétés et espèces différentes de blé tendre, blé dur, orge et triticale. La méthode de dissection été mise en œuvre, nous a permis d'obtenir avec précision des couches pures et également d'observer des différences structurales des tissus dans le mode de dissection entre les différents génotypes. La dissection est plus facile lorsque les couches sont moins adhérentes, et plus épaisses.

Dans cette partie, tant pour le blé tendre que pour le blé dur, les images microscopiques observées ont révélé la superposition de différents tissus de l'extérieur vers la surface interne. L'histologie des couches périphériques comprend le péricarpe, la testa, la couche d'aleurone et le nucelle épidermique**. (Tasleem Tahir *et al.,* 2011 ; Meziani *et al.,* 2021**). Cette différenciation nous a montré une couche aleurone unicellulaire similaire pour le blé tendre et le blé dur, alors il a été noté que l'orge possède deux couches aleurone cellulaire. Cette couche contribue à la libération de plusieurs enzymes impliquées dans l'hydrolyse des polysaccharides, dans la signalisation et la défense contre le stress oxydative .

Une étude sur l'histologie de blé et l'Orge a montré que la couche à aleurone qui s'interrompt au niveau de l'embryon est composée de plusieurs couches cellulaires, cas de l'orge ; alors qu'elle n'en comprend qu'une seule couche unicellulaire dans le cas du blé, il a confirmé ainsi que les tissus périphériques des grains de blé et d'orge sont moins endommagés par les traitements technologiques et cela est un aspect non négligeable du point de vue nutritionnel, surtout du fait que les principaux acides aminés et les vitamines du grain sont localisés dans la couche à aleurone. (**Farber et Gallant, 1975 ; Andreas *et al.*, 2021).** Une image sur Orge en ce qui concerne la morphologie, l'orge présentait le péricarpe le plus épais, constituant une barrière solide à la digestion et à l'absorption des nutriments**.**

La technique spectrophotomètre d'absorption atomique classiquement utilisée pour le dosage et pour déterminer les éléments métalliques, elle est mise en œuvre pour offrir une possibilité optimale de séparer des éléments métalliques. La sensibilité de cette technique est plus importante que la flamme et permet de quantifier les éléments recherchés de l'ordre de la ppm.

Les micronutriments et les composés phénoliques étant essentiellement concentrés dans les CP. La méthode d'infusion avec du méthanol ainsi que les différents solvants organiques (chloroforme, acétate d'éthyle et N-butanol), nous a permis d'extraire le maximum de molécules bioactives. Une caractérisation des composés phénoliques et identification de ces composés sont réalisées par analyse 3D RP-HPLC-LC-2030C, qui est un outil mis en œuvre pour une excellente reproductibilité pour la mesure des variations qualitatives entre les espèces. Un système de traitement des données a été utilisé pour l'analyse. La séparation a été réalisée sur une colonne Supelco C18 (25 cm x 4,6 mm, 5 µm) à température ambiante. Les composés phytochimiques ont été identifiés à partir d'une combinaison de temps de rétention et de correspondance spectrale. Les composés identifiés pouvaient être statistiquement comparables qualitativement entre trois espèces de céréales (blé tendre, blé dur, orge).

Sur la valeur nutritionnelle

La consommation de grains entiers a été associée à un risque réduit de développer les maladies chroniques, y compris le diabète de type 2, l'obésité, les maladies cardiovasculaires et le cancer. Ces avantages pour la santé de la consommation de grains entiers peuvent être dû

à une teneur différente en composés nutritionnels en, vitamines, fibres, protéines et minéraux (**Viol, 2013 ; Martínez, 2018).**

Deux cultivars au maximum d'origine génétique très différente ont été comparés au sein de chacune des espèces ou bien entre les espèces pour la diversité interspécifique, en protéines, en minéraux et en fibres. La comparaison interspécifique et des différences constatées entre espèces permettent donc de suggérer une origine génomique dans les variations quantitatives observées; qui a en relation sans doute avec l'impact des facteurs environnementaux est proposé comme des facteurs clés pourraient affecter de manière significative les propriétés nutritionnelles.

Le blé, orge génétiquement différente ont été comparés en nutriments afin de rechercher la diversité interspécifique. Ce nombre est certes moins élevé, mais donne déjà une indication sur les potentialités nutritionnelles différentes des CP pour chacune des deux espèces. Les résultats montrent que les composés nutritionnels localisés dans les couches périphériques varient légèrement entre les espèces qui devront donc être confirmées par l'analyse d'un plus grand nombre de cultivars par espèce. D'une manière générale, la valeur en protéines semble faible entre les espèces pour le blé tendre, le blé dur et l'orge. Le taux en fibres se diffèrent légèrement entre les deux espèces blé tendre et blé dur et qui est faible pour l'orge. Les éléments métalliques par ordre de concentrations décroissantes en (Ca, Mg, Fe, Mn et Cu) sont variables légèrement entre ces trois espèces. Nous avons constaté que le blé tendre présent une teneur en sodium importante que le potassium, ce qui est le cas pour l'orge.

Pour argumenter plus nos résultats, une étude de **Pinckney, 1961,** montre que les CP de blé dur sont plus résistants à l'extraction que les autres variétés, ce qui confirme nos résultats constatés pour la variété Chen's. Les résultats de la teneur en protéines semblent faibles 0.1% pour ziden, 0.5% pour chen's et 0.52% pour saida, mais plus logique, car 9,60 % et 18,6 % de protéines sont contenues dans le son de blé selon **Curti *et al.,* 2013**. La majorité des protéines des couches périphériques des grains de blé sont présentes au stade de développement, car c'est le siège de l'activité métabolique, de la photosynthèse, de la défense contre le stress oxydatif. Ces protéines s'accumulent dans les premiers stades de développement et déclinent vers la maturité avec une diminution de la disponibilité en oxygène **(Mechin *et al.,* 2007 ; Tasleem-Tahir *et al.,* 2011 ; Meziani *et al.,* 2012).**

Des études chimiques sur la distribution des minéraux dans les grains de céréales montrent que la plupart des réserves minérales sont contenues dans les fractions de son et de germe des grains **(O'Dell *et al.,* 1972).** Il se présente sous forme de phytates, un sel mixte d'hexaphosphate de myo-inositol de potassium et de magnésium, qui représente 70 à 90 % de la réserve totale de phosphore du blé **(O'Dell *et al.,* 1972 ;Frolich et Nyman 1988).** Il a été révélé à travers la documentation spécialisée une importante variabilité des teneurs en matière minérale varie d'une espèce à l'autre, cette variation est sous l'influence de facteurs environnementaux qui caractérisent la culture du grain et de l'effet variétal du grain **(Pesterson *et al.,* 1986 ; Bock 2000)** ; le procédé de transformation du grain de blé constitue également une source de variation de la concentration en minéraux des CP **(Bartnik et Jakubczyk; 1989).**

Nos résultats sont en accord avec les travaux réalisés par **Labga *et al.,* 2021** sur les couches périphériques en développement d'orge Saïda, qui confirme nos valeurs des minéraux suivants Mn : 0.021 ± 0.001, Fe : 0.663 ± 0.002, Ca : 1.355 ± 0.007, Mg : 1.626 ± 0.017 trouvé au stade mature.

ceux de **Svetlana et Özcan, 2016,** sur les grains d'orge qui ont prouvé que Ca, Mg, K, P et S sont les principaux macro-éléments, avec des valeurs de 487 mg/kg Mg, 1724 mg/kg Cu, 6,7 mg/kg Fer, 57,7 mg/kg et Mn 18,8 mg/kg qui sont logiquement supérieurs à nos résultats, car nos recherches ont été faites sur les couches périphériques des grains uniquement. Ces valeurs sont plus importantes dans le blé, plus particulièrement pour la variété Ziden que dans l'orge, cependant, la biodisponibilité des minéraux divalents tels que le fer, le zinc, le calcium, le magnésium est faible, cela peut être due à la formation d'un complexe insoluble avec des composants tels que l'acide phytique. Selon des études menées par **(Coulibaly *et al.,* 2011 ; Lee *et al.,* 2015**), expliquent que l'acide phytique forme un complexe de phytate stable et parfois, peut également se lier aux protéines, ce qui entraîne une inhibition de l'α-amylase qui, à son tour, entraîne une diminution de la digestibilité de l'amidon.

La technique de la coloration histologique par la fluorescence des rayons X (XRF), a montré que l'accumulation de fer est dans le sillon, la couche d'aleurone et le scutellum de l'embryon dans le blé **(De Brier *et al.,* 2016).** Lors de la séparation physique entre les tissus de la plante mère et la graine (la génération filiale) signifie que le fer est sécrété puis repris par le zygote en développement **(Mari *et al.,* 2020).** Dans notre cas, la présence de fer fortement dans le blé tendre que le blé dur et l'orge, expliquent que le faite de passer d'un

génome AABB (blé dur) au génome AABBDD (blé tendre) pourrait être expliqué par les différences alléliques, gènes homologues ou de la régulation génétique responsable de l'expression de certains minéraux. Ces derniers sont des éléments importants pour l'activité enzymatique et la fonction des tissus humains.

En termes de santé, les fibres peuvent réduire le risque de certaines maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et certains cancers notamment les cancers colorectaux **(Fung *et al.,* 2002 ; Koh-Banerjee *et al.,* 2004 ; Sahyoun *et al.,* 2006 ; Seal 2006 ; De Munter *et al.,* 2007 ; Schatzkin *et al.,* 2007 ; Mellen *et al.,* 2009)**. Les résultats fournis par **Decosse *et al.,* 1989** ont montré que des suppléments de fibres de céréales à plus de 11 g/jour inhibent les néoplasies bénignes du gros intestin, ces résultats étaient cohérents avec **Natl, 1987** qui a confirmé que les fibres de céréales alimentaires jouent un rôle dans la genèse des néoplasies du gros intestin **(Mellen *et al.,* 2009).** Les petites quantités de mono-, di- et oligosaccharides (par exemple, le stachyose et les glucofructanes) se trouvent dans l'aleurone et les tissus de l'axe embryonnaire **(Ziegler *et al.,* 2016).** En plus, il a été constaté aussi que les fibres, les minéraux sont principalement concentrés dans les couches externes de son du grain, de sorte que la teneur finale en éléments nutritifs dépendra de la mesure dans laquelle ces couches ont été éliminées pendant le broyage. Lors de broyage et de tamisage des couches, retirées manuellement peuvent entrainer des variabilités considérables dans la composition chimique et même phytochimique.

La teneur totale en fibres alimentaires selon **Hemery *et al.,* 2011**, présente 0.44% dans le son de blé et 0.02 % dans le son d'orge qui est moyennement plus faible en comparant avec les pourcentages obtenus en fibres brut . Une différence de 0.3% a été observée en fibres dans les couches périphériques entre le blé tendre et le blé dur et 0.7% de différences observées entre le blé et l'orge. L'analyse statistique a révélé une légère différence, qui n'étaient pas significatives entre les variétés de deux espèces blé tendre et blé dur et une différence légèrement importante entre le blé et l'orge. Le blé contenait, en moyenne le niveau élevé de fibres et leurs présences considérables dans les couches périphériques pourrait être ingrédient potentiel pour les aliments fonctionnels.

Sur la valeur biologique en polyphénols totaux et en flavonoïdes

Les composés phénoliques présents dans le blé sont les acides phénoliques et les flavonoïdes situés dans la couche externe de grain. La plupart des composés phénoliques dans

le son sont liés aux glucides, et peuvent survivre la digestion gastro-intestinale atteignant le côlon intact. La différence entre les valeurs peut être liée au degré de polarité des composés présents dans les échantillons. Nos résultats sont totalement en accord avec **Lopez *et al.,* 2019** qui ont travaillé sur le son de blé et l'écorce d'orge, expliquant que la forte concentration en flavonoïdes est présente dans les extraits alcooliques (éthanol, méthanol) ; c'est-à-dire, peut-être associé à la structure aglycone des flavonoïdes, tandis que la plus faible concentration de flavonoïdes totaux a été observée dans l'échantillon avec du méthanol absolu.

Les études réalisées par **Abozed *et al.,* 2014** sur le son de blé ont montré que la concentration la plus élevée de flavonoïdes est de 22,39 mg/100 g dans la variété de blé tendre (Gemiza-9) et de 25,80 mg/100 g dans la variété de blé dur est rapporté avec 70% d'éthanol. **Vaher *et al.,* 2010,** ont confirmé que l'extrait de 80 % de méthanol de couches de son possède la teneur la plus élevée en composés phénoliques totaux qui sont éliminés lors de la mouture du blé en farine blanche. Nos résultats avec les valeurs de 0.42 mg GAE/mg pour ziden et 0.55 mg GAE/mg pour chen's sont inférieures à ceux de **Vaher *et al.,* 2010,** qui ont mesuré la teneur en polyphénols de 20 génotypes de blé différents qui variaient de 2,7 à 3,5 mg GAE/mg.

Les solvants à 50 % d'acétone et à 80 % de méthanol ont montré une efficacité élevée dans l'extraction (340,72 et 324,38 mg de GAE/100 g, respectivement), d'après **Othman *et al.,* 2005** qui sont dans la même longueur d'onde avec nos résultats concernant les couches périphériques des grains la variété Saïda d'orge, il a déduit aussi que la quantité élevée de phénols trouvée avec l'acétone peut être due par la façon dont ce type de solvant se diffuse facilement dans les pores des matériaux végétaux, ce qui lui permet de lixivier des composés bioactifs.

Une étude réalisée par **Wojdylo et Oszmainski, 2007**, montre qu'il était important que le procédé d'hydrolyse soit adopté afin d'obtenir un rendement maximal en acides phénoliques à partir des céréales. Les paramètres qui affectent la qualité et la quantité d'un extrait sont dus à la partie de la plante utilisée comme matière première, au procédé d'extraction adopté ; la température et le choix du solvant jouent un rôle important dans la détermination des composés biologiquement actifs **(Ncube *et al.,* 2008. Martini *et al.,* 2015).** Les changements de concentrations pour nos résultats et par rapport à d'autres recherches menées sur le son de blé puisqu'il n'y a presque pas d'études sur les couches pures périphériques peuvent être associés à la présence d'une petite quantité d'amidon. Une autre raison possible explique ce

changement concerne l'interaction entre les cultivars et le milieu ainsi que l'année de culture qui ont des effets considérables sur le contenu phénolique du grain. Une étude récente menée par **Dong-yun *et al.,* 2010**, indique que les classes de la plupart des acides phénoliques dans le grain plus particulièrement le blé ont diminué au cours de développement du grain, et les valeurs les plus élevées ont été détectées au stade précoce. Ces résultats montrent que le contenu en composés phénoliques est affecté par le cultivar et la partie du grain prélevé. Il existe de nombreuses études concernant l'influence des effets du génotype et de l'environnement sur la teneur et les profils d'acide phénolique dans le blé et les produits à base de blé. De nombreux facteurs différents influencent le contenu de ces composés, tels que les conditions de stress, à la fois biotiques et abiotiques **(Gotti *et al.,* 2018).**

Les flavonoïdes se trouvent principalement dans les formes attachées à la paroi cellulaire du grain. D'après les résultats obtenus par **Dinelli *et al., 2011*** les flavonoïdes solubles (fractions conjuguées libres) étaient faibles, soit 56,37 mg CE /kg en grains de blé, et selon les résultats de **Žilić *et al.,* 2014** les flavonoïdes totaux enregistrés dans le son de blé dur est de 259,31 mg / kg, ces résultats sont plus importante par rapport a nos résultats, cela est peut être due au type de variété ou bien le climat et le type de sol. Le taux le plus élevé est enregistré pour l'orge 149.38 µg/g suivis par les blés durs par 107.76 µg/g d'après les résultats obtenus par **Bellebcir 2008** qui est en accord avec nos résultats avec l'orge saida et le blé dur chen's**.**

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

Les acides phénoliques sont des dérivés de l'acide hydroxybenzoïque qui comprennent les acides p -hydroxybenzoïque , protocatéchuique, gallique, syringique et vanillique. Ces acides sont généralement présents sous des formes liées insolubles et sont généralement des composants de tanins et de lignines plus complexes. Dans les céréales complètes, les acides phénoliques les plus abondants sont les acides féruliques, p-coumarique et syringique **(Sosulski *et al.,* 1982).**

Une étude récente par **Pitchaporn *et al.,* 2016,** ont pu identifier dans le son de blé et le riz quatre acides hydroxybenzoïques (HBA) : acide gallique, acide protocatéchique, acide p-hydroxybenzoïque, acide vanilique et 6 acides hydrocinnamiques (HCA : chorogène, acide caféique, acide syringique, acide p-coumarique, acide férulique et acide synaptique). L'acide férulique était principalement concentré dans le péricarpe externe du son de blé, tandis que l'acide p-coumarique était principalement présent dans la couche d'aleurone **(Antoine *et al.,***

2004). Les résultats d'identification des acides phénoliques montrent des différences entre les espèces de céréales (blé tendre, dur et orge) observées dans les contenus phénoliques. L'acide syringique domine dans les trois espèces étudiées et qui est le principal acide phénolique présent, cet acide joue un rôle comme étant un antioxydant, antimicrobien, anti-inflammatoire, hépatoprotecteur, neuroprotecteur et prévenir du diabète, des maladies cardiovasculaires, du cancer, des accidents cérébrovasculaires selon une étude réalisée par **Srinivasulu *et al.,* 2018.** Les composés obtenus dans le blé sont présents sous forme liée insoluble et sont impliqués dans la réticulation des polymères, en particulier les arabinoxylanes dans les parois cellulaires du grain **(Saulnier *et al.,* 2007)** et concentrés dans les fractions de son **(Zielinski et Kozlowska 2000 ; Adom *et al.,* 2005).**

Deux autres pics : acide gallique et acide 4-(p)-hydroxybenzoïque obtenus avec du méthanol comme solvant d'extraction, la variation des pics peut être associée à la différence variétale (blé tendre, blé dur et orge), à des différences de temps de croissance ainsi qu'à la partie de la plante étudiée (couche périphérique). Ces résultats sont en accord avec les données rapportées par **Vaher *et al.,* 2010 ; López-Perea *et al.,* 2019**, indiquent que la quantification des acides phénoliques dans l'orge ont montré que l'acide benzoïque présente une concentration élevée avec 50 % d'acétone ; cependant, l'acide benzoïque a été observé à une concentration plus élevée avec 80 % de méthanol dans le blé. Le mode d'extraction et le solvant jouent aussi un rôle très important sur la teneur en composés phénoliques. Les mélanges éthanol-eau ont été utilisés comme solvant d'extraction qui a amélioré l'efficacité d'extraction, c'est-à-dire lorsque la concentration en éthanol augmente la teneur totale en phénols présentent dans les extraits de son diminuent **(Wang *et al.,* 2008).** Tandis que l'extraction avec du méthanol semble plus efficace pour extraire les composés phénoliques du blé dur (le cas de chen's) et cela a été prouvé dans notre cas.

En revanche, la présence des deux autres acides phénoliques (acide gallique et acide 4-(p)-hydroxybenzoicque) trouvés dans le blé dur et sont absents dans le blé tendre et l'orge peut être expliqué aussi par l'expression des gènes codant pour la biosynthèse et l'accumulation de ces deux acides phénoliques sont fortement exprimés au stade mature pour le génome AABB, leurs diminutions ou leurs absences dans le blé tendre (genome AABBDD), sont probablement expliqués par leurs biosynthèses aux stades précoces et ultérieurs du développement du grain **(Saulnier *et al.,* 2007).**

Activités antioxydantes

Les antioxydants ont des effets bénéfiques sur la santé par différents mécanismes, tels que la réaction directe avec les radicaux libres atténuant leurs effets, la chélation des métaux de transition, la réduction des peroxydes et la promotion du système enzymatique de défense antioxydante. D'après **Ciudad-Mulero, 2020** l'activité antioxydante des extraits obtenus à partir de la fraction de son de blé révèlent un potentiel plus fort que les autres fractions, associées principalement à la teneur en aleurone, qui peut être liée à des quantités importantes d'acides hydroxycinnamiques, principalement l'acide férulique.

Une étude réalisée par **Abozed, 2014**, a observé que le pourcentage d'inhibition des radicaux libres était plus élevé avec 70% d'éthanol dans deux variétés différentes de son de blé, ce qui a montré que les composés phénoliques et les flavonoïdes en particulier sont les principaux contributeurs à l'activité antioxydante de différents extraits de céréales vivrières **(Donkor *et al.,* 2012 ; Vaher *et al.,* 2010 ; Beta *et al.,* 2005 ; Verma *et al.,* 2009)**. Il a été démontré aussi que la teneur en polyphénols totaux est significativement associée à l'activité antioxydante **(Ehala *et al.,* 2005).** Il ressort que l'extrait qui a la teneur la plus élevée en acide phénolique renferme l'activité antioxydante la plus remarquable (IC50 la plus faible). Nos résultats sont en accord avec ceux de **Vaher *et al.,* 2010** puisque les extraits qui nous a donné le taux le plus élevé en composés phénoliques possèdent la meilleure activité**.**

Il est à noter qu'un intérêt croissant aux antioxydants naturels d'origine végétale protège le corps humain contre les effets néfastes des radicaux libres en raison de leurs capacités biologiques prometteuses, pour retarder la progression de plusieurs maladies chroniques et éviter le rancissement des aliments par l'oxydation des lipides.

D'après les travaux réalisés par **(Khelfallah *et al.,* 2017)** les antioxydants des extraits de céréales alimentaires, tous semblent agir en tant qu'agents scavenger (agent nettoyant) du radical du DPPH, le son d'orge est classé en premier suivi par les extraits de son et germe de blé. L'extrait acétate d'éthyle du son d'orge est le plus actif avec un EC50 la plus basse et est égale à 1,77 mg/ml qui sont corrélés à nos résultats avec la variété s'orge fouara qui est de 1.93mg/ml et elle a déduit que les extraits de plantes médicinales paraissent plus puissants que les extraits de céréales alimentaires.

Les évaluations des propriétés antioxydantes des composés naturels sont très importantes grâce à leurs utilisations en médecine, dans les secteurs alimentaires et en cosmétiques **(Mishra *et al.,* 2012)**. Plusieurs méthodes ont été développées qui sont généralement basées sur les réactions d'oxydoréduction et la capacité des composés phénoliques d'agir comme agents réducteurs ou donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électron **(Stratil *et al.,* 2007).** Les

résultats des travaux réalisés par **Amessis-Ouchemoukh 2017** montrent que le pouvoir réducteur le plus élevé est enregistré pour le blé tendre 82,137 % suivi de ce de blé dur 63,812% à une concentration d'extrait de 0,08 g /ml ,qui sont supérieure a nos extraits.

La comparaison du pouvoir antioxydant de nos extraits entre eux révèle que celui d'orge après blé tendre boumerzoug est le plus actif. Ceci est en accord avec les résultats de plusieurs chercheurs **(Ivanisova *et al.,* 2012; Ragaee *et al.,* 2006 ; Sharma *et al.,* 2012)** dans lequel, l'orge présente un pouvoir antioxydant plus élevé que celui du blé. Ce résultat est en accord avec les teneurs obtenu en composés phénoliques les plus élevés ont été constatées dans les extraits des CP d'orge par rapport aux autres extraits de blé. Selon **Dvorakova (2008),** ce sont les proanthocyanidines (dimères et trimères de tanins) qui contribuent majoritairement à l'activité antioxydante de l'orge. Tous nos extraits testés sont moins actifs, que les antioxydants standardisent ; l'acide gallique et la quercétine.

IV. CONCLUSION GÉNÉRALE

Le grain de blé, orge et triticale comporte plusieurs parties, de nature différente dont l'amande, le germe et les enveloppes (le son). Les couches périphériques (enveloppes) présentent à la fois une membrane souple et dure à briser qui protège l'amande farineuse, elles représentent 12 à 16% du poids total du grain pour le blé et qui sont éliminés lors de la mouture. Le son est une source importante de micronutriments qui possèdent de nombreux avantages sur la santé humaine.

La diversité des composants de ces espèces tels que les protéines, les minéraux, les fibres alimentaires, les composés polyphénoliques, les alkylrésorcinols, en plus des différents cultivars, pourrait être un facteur clé des activités biologiques et pharmacologiques de ces espèces. Les couches périphériques utilisées comme sous produit sont généralement sous-valorisées et utilisés dans l'alimentation animale. Une alimentation riche en enveloppes présente un avantage diététique puisqu'ils sont fortunés en fibres qui facilitent la digestion et protège le système digestif, en protéines et en minéraux qui sont nécessaires pour la santé.

Cette étude à été conduite dans le but de mettre en évidence la composition morphologique, chimique et biologique des couches périphériques de deux variétés au maximum pour chacune des quatre espèces étudiées (Blé tendre, blé dur, orge et triticale), révélées la différence interspécifique dans leurs compositions en micronutriments tout en montrant ses richesses en composés phénoliques et leurs activités antioxydantes.

- En conclusion, la présente recherche souligne les principales différences entre la composition hitologique des céréales. Le blé, l'orge et triticale partagent des similitudes structurelles et se composent d'un embryon et un endosperme. La première différence provient du nombre des couches externes, plus particulièrement la couche à aleurone qui se compose d'une seule couche dans le blé tendre et le blé dur et deux couches aleurone pour l'orge. La deuxième différence constatée lors de la dissection des couches par rapport à l'épaisseur du péricarpe, qui est beaucoup plus facile pour le blé que pour l'orge.

- Sur le plan nutritionnel, la valeur en protéines par la méthode de bradford semble faible entre les espèces (le blé tendre, le blé dur et l'orge). Les éléments minéraux par ordre de concentrations décroissantes (Ca, Mg, Fe, Mn et Cu) varie légèrement entre ces trois espèces, la variété de blé tendre (Ziden) est la plus riche en minéraux, en revanche la concentration en magnésium est presque similaire pour les trois variétés chen's, Ziden et Saïda. L'orge

présente une teneur en sodium importante que le potassium, ce qui n'est pas le cas pour le triticale. Le taux en fibres brutes se diffèrent légèrement entre les deux espèces blé tendre et blé dur et qui est faible pour l'orge. Ces résultats confirment indirectement que le génome DD servir de donateur potentiel pour le développement de certains nutriments dans les CP pour la formation du génome AABBDD.

- Sur le plan phytochimique, les résultats de différences interspécifiques obtenus par une extraction avec de l'éthanol par la macération montrent que:

la concentration la plus élevée des polyphénols à été obtenue avec la variété d'orge Saïda (58± 0.004 µg EAG /mg E) suivi par le triticale et le blé tendre Ziden, la teneur la plus élevée en flavonoïdes est de (120± 0.004 µg EQ/mg E) pour le triticale (80± 0.005 µg EQ/mg E) pour l'orge et (40 ±0.0015µg EQ/mg E) pour le blé tendre. Alors que les résultats intraspécifiques obtenus par une extraction méthanolique par infusion montrent que : la variété chen's de (blé dur) est la plus riche en phénolyphenol est de (550 µg EAG /mg E) et (619 µg EQ /mg E) pour flavonoïde. L'identification de trois acides phénoliques (acide gallique, l'acide syringique et l'acide 4-hydroxybenzoïque) pour la variété Chen's par la technique de chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).

- Le pouvoir antioxydant indique que les extraits méthanolique des couches périphériques des deux variétés de blé Chen's et Ziden possèdent une bonne activité antioxydante, cela signifie la présence des molécules bioactives qui ont un effet préventif de certaines maladies.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que, bien que cultivées dans la même région et la même période, la variété Chen's (blé dur) et Ziden (blé tendre) possèdent une valeur nutritionnelle supérieure aux autres variétés. Cette étude pouvait être observée entre d'autres cultivars ayant la même structure génomique, en développement des grains, en réponse à des facteurs biotiques et abiotiques doivent également être étudiés en ce qui concerne sa composition nutritionnelle et métabolomique.

En raison de leur composition phytochimique et leur effet bénéfique pour la santé, la consommation de farines complètes doit être encouragée ; il est recommandé d'enrichir l'alimentation quotidienne par des produits à base de son de blé qui présente beaucoup d'intérêts nutritif, thérapeutique et économique..

V. Références bibliographiques

- Abozed S. S., El-Kalyoubi M., Abdelrashid A., & Salama M. F. (2014). Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*(1), 63-67.
- Adom K. K., Sorrells M. E., & Liu R. H. (2005). Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(6), 2297-2306.
- Amessis-Ouchemoukh N., Ouchemoukh S., Benchibane T., Hernanz D., Stinco C. M., Rodríguez-Pulido F. J., ... & Luis J. (2017). Valorization of the whole grains of Triticum aestivum L. and Triticum vulgare L. through the investigation of their biochemical composition and in vitro antioxidant, anti-inflammatory, anticancer and anticalpain activities. *Journal of Cereal Science*, *75*, 278-285.
- Andreas G. H., Véronique M., Nicolas M., Margaux T. et Camille N. (2021). Contributions to the history of Roman bakeries: a study of "breads and flatbreads" discovered in Gaul p. 261-296 https://doi.org/10.4000/gallia.6298.
- Anna Malinowska M., Billet K., Drouet S., Munsch T., Unlubayir M., Tungmunnithum D., ... & Lanoue A. (2020). Grape cane extracts as multifunctional rejuvenating cosmetic ingredient: Evaluation of sirtuin activity, tyrosinase inhibition and bioavailability potential. *Molecules*, *25*(9), 2203.
- 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.
- Antoine C., Lullien-Pellerin V., Abecassis J., & Rouau X. (2002). Intérêt nutritionnel de la couche à aleurone du grain de blé. *Sciences des aliments*, *22*(5), 545-556.
- Ayaġan T., Ülger Ġ., Kalġber M., Baylan M., &Mizrak C. (2017). Determination of the nutritive value of some durum wheat varieties developed using in vitro gas production technique. In *Congress Chairman* (p. 6).
- Badiaga M. (2011). Étude ethnobotanique, phytochimique, et activités biologiques de *Nauclea latifolia Smith*, une plante médicinale africaine récoltée au Mali (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Baldy C., & Stigter C. J. (1993). *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. Editions Quae.
- Bamforth C. W. (2000). Beer: an ancient yet modern biotechnology. *The Chemical Educator*, *5*(3), 102-112.

- Beaugrand J., Croˆnier D., Debeire P., Chabbert B. (2004). Arabi-noxylan and hydroxycinnamate content of wheat bran in relation to endoxylanase susceptibility. J CerealSci..doi:10.1021/ jf049529w.
- Bellebcir L. (2008). Etude des composés phénoliques en tant que marqueurs de biodiversité chez les céréales. *Mémoire de Magiste, Université Mentouri de Constantine*, *119*.
- Benbelkacem S., Belhocine M., Bellarbi, A., Zenati-Henda N., & Tadjine M. (2013). Augmented reality for photovoltaic pumping systems maintenance tasks. *Renewable energy*, *55*, 428-437.
- Benmahammed A. (2005). Heterosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (Hordeum vulgare L.). Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mentouri. Constantine. 125 p.
- Benzie I. F., & Strain J. J. (1999). [2] 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). Academic press.
- Berger M. A., & Field G. B. (1984). The topological properties of magnetic helicity. *Journal of Fluid Mechanics*, *147*, 133-148.
- Berges J. A., Fisher A. E. & Harrison P. J. (1993). A comparison of Lowry, Bradford and Smith protein assays using different protein standards and protein isolated from the marine diatom Thalassiosirapseudonana. *Marine Biology*, *115*(2), 187-193.
- Berlett B. S. & E. R. (1997). Protein oxidation in aging, disease, and oxidative.
- Bernard S., & Bernard M. (1987). Creating new forms of 4x, 6x and 8x primary triticale associating both complete R and D genomes. *Theoretical and Applied Genetics*, *74*(1), 55-59.
- Bertoncelj J., Doberšek U., Jamnik M., & Golob T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, *105*(2), 822-828.
- Beta T., Nam S., Dexter J. E., & Sapirstein H. D. (2005). Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal chemistry*, *82*(4), 390-393.

- Biel W., &Jacyno E. (2013). Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *19*(4), 721-727.
- Biel W., Bobko K., &Maciorowski R. (2009). Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of céréale science*, *49*(3), 413-418.
- Bock M. J. & Mayer L. M. (2000). Mesodensity organo–clay associations in a near-shore sediment. *Marine Geology*, *163*(1-4), 65-75.
- Bolot S., Abrouk M., Masood-Quraishi U., Stein N., Messing J., Feuillet C., & Salse J. (2009). The 'inner circle'of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology*, *12*(2), 119-125.
- Bonjean A. P. (2016). The saga of wheat–the successful story of wheat and human interaction. *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding; Bonjean, A., Angus, W., van Ginkel, M., Eds*, 1-90.
- Boudouma D. (2009). Composition chimique du son de blé dur produit par les moulins industriels algériens. *Cellulose*, *2*(90), 6-48.
- Boudreau A., & Ménard G. (1992). *Le Blé: éléments fondamentaux et transformation*. Presses Université Laval.
- Boufenar-Zaghouane F., &Zaghouane O. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). *Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Algérie*.
- Bozin B., Mimica-Dukic N., Samojlik I., Goran A., Igic R. (2008). Phenolics as antioxydants in garlic (*Allium sativum* L., *Alliaceae*). *Food Chemistry*, 111: 925-929.
- Bradbury J. H. (1956). An improvement of the hydrazine method for determination of C-terminal amino-acids. *Nature*, *178*(4539), 912-913.
- Brancourt-Humel M., Lecomte C., Leleu M., Bérard P. A., Galic B., & Sausseau C. (1994). Sélection et stabilité du rendement chez le blé tendre d'hiver. *Agronomie*, *14*(9), 611-625.
- Branlard G. (2012). La qualité du gluten: variations de sa composition et de ses propriétés. *Médecine & nutrition*, *48*(4), 19-23.
- 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.

- Bruneton D., Walter T., Hervieu V., Cassier P. A., Pilleul F., Ardisson P., ... & Bohas C. L. (2009). P. 244 Efficacité de l'association 5-fluorouracile, épiadriamycine et dacarbazine (FED) dans les carcinomes (neuro) endocrines bien différenciés localement avancés ou métastatiques. *Gastroentérologie Clinique et Biologique*, *33*(3), A170.
- Burton R. A. & Fincher G. B. (2014). Evolution and development of cell walls in cereal grains. *Frontiers in plant science*, *5*, 456.
- Calvel R. (1984). La boulangerie moderne.Édition: Eyrolles. Paris. P 459.
- Carpita N. C., & Gibeaut D. M. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant Journal*, *3*(1), 1-30.
- Chalamacharla R. B., Harsha K., Sheik K. B., & Viswanatha C. K. (2018). Wheat bran-composition and nutritional quality: a review. Adv Biotech Microbiol 9 (1): 555754.
- Chapman E. J., & Estelle M. (2009). Mechanism of auxin-regulated gene expression in plants. *Annual review of genetics*, *43*(1), 265-285.
- Chateigner-Boutin A.-L., Bouche B., Alvarado C., Bakan B., Guillon F. (2014). The wheat grain contains pectic domains exhibiting specific spatial and development-associated distribution. PLoSONE , 9, e89620.
- Chen C. C., Kasha K. J., & Marsolais A. (1984). Segmentation patterns and mechanisms of genome multiplication in cultured microspores of barley. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, *26*(4), 475-483.
- Cheng Z.J., Hardy R.W. (2003). Effect of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficient of nutrients for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture Nutr. 9:77-83.
- Cheriet F. (2010). Modèle d'Uppsala et implantation des firmes multinationales agroalimentaires. *Revue française de gestion*, (2), 45-64.
- Chiboub O., Ktari L., Sifaoui I., López-Arencibia A., Reyes-Batlle M., Mejri M., ... & Lorenzo-Morales J. (2017). In vitro amoebicidal and antioxidant activities of some Tunisian seaweeds. *Experimental parasitology*, *183*, 76-80.
- Ciudad-Mulero M., Fernández-Ruiz V., Cuadrado C., Arribas C., Pedrosa M. M., Berrios J. D. J., ... & Morales P. (2020). Novel gluten-free formulations from lentil

flours and nutritional yeast: Evaluation of extrusion effect on phytochemicals and non-nutritional factors. *Food chemistry*, *315*, 126175.

- Clement G., & Prats J. (1970). Les céréales. *Collection d'enseignement agricole*, *2*.
- Commission canadienne des Grains (CCG), (2009). Le pain à l'orge, un pain pour la santé. Version électronique disponible sur : http://www.grainscanada.gc. ca/research recherche/izydorczyk/hbwb.
- Cosgrove D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. *Nature reviews molecular cell biology*, *6*(11), 850-861.
- Coulibaly, A., Kouakou, B., & Chen, J. (2011). Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality. *American Journal of Plant Nutrition and fertilization technology*, *1*(1), 1-22.
- Courvoisier T. L., Turner M. J. L., Robson E. I., Gear W. K., Staubert R., Blecha R., ... & Terasranta H. (1987). The radio to X-ray continuum emission of the quasar 3C273 and its temporal variations. *Astronomy and Astrophysics*, *176*, 197-209.
- Crewe A. V. et Wall J. (1971) Construction of a STEM with a field emission source.
- cultivars. Plant Foods Hum. Nutr. 66, 408–415.
- Curti E., Carini E., Bonacini G., Tribuzio G. &Vittadini E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. Journal of Cereal Science, 57, 325–332.
- Dacosta Y., (1986). Le gluten de blé et ses applications. Ed. APIA. Paris. France. P. 129.
- Dandjlessa J., Zossou N., Bénoît E. Z. I. N., DJENONTIN A., & Ahanchede A. (2022). Facteurs de développement des plantes invasives dans les systèmes agricoles au Bénin et implications pour une gestion durable. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, *10*(1).
- De Brier N., Gomand S. V., Donner E., Paterson D., Smolders E., Delcour J. A., & Lombi E. (2016). Element distribution and iron speciation in mature wheat grains (Triticum aestivum L.) using synchrotron X-ray fluorescence microscopy mapping and X-ray absorption near-edge structure (XANES) imaging. *Plant, cell & environment*, *39*(8), 1835-1847.
- De Medina F.S., Posadas R.L., Romero-Calvo I., Molina C.M., Daddaoua A., Perez R.G., (2009). The intestinal antiinflammatory activity of the flavonoid rutinrequisoral

administration may involve effects on mucosal lymphocytes Clinical Nutrition Supplements. 4:49.

- De Munter J. S. L., Hu, F. B., Spiegelman D., Franz M., & van Dam R. M. (2007). Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes: a prospective cohort study and systematic review. *PLoS medicine*, *4*(8), e261.
- Debiton C. (2010). *Identification des critères du grain de blé (Triticum aestivum L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy* (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Dinelli G., Segura-Carretero A., Di Silvestro R., Marotti I., Arráez-Román D., Benedettelli S., ... & Fernadez-Gutierrez A. (2011). Profiles of phenolic compounds in modern and old common wheat varieties determined by liquid chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, *1218*(42), 7670-7681.
- Dixon R. A., Achnine L., Kota P., Liu C. J., Reddy M. S., & Wang L. (2002). The phenylpropanoid pathway and plant defence—a genomics perspective. *Molecular plant pathology*, *3*(5), 371-390.
- Djeridane A., Yousfi M., Najemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry* 97: 654-660.
- Donkor O. N., Stojanovska L., Ginn P., Ashton J., & Vasiljevic T. (2012). Germinated grains–Sources of bioactive compounds. *Food chemistry*, *135*(3), 950-959.
- Dong yun M., Yaoguang L., Jian Z., Chenyang W., Haixia Q., Huina D., Yingxin X., and Tiancai G. 2016. Accumulation of Phenolic Compounds and Expression Profiles of Phenolic Acid Biosynthesis-Related Genes in Developing Grains of White, Purple, and Red Wheat. Front. Plant Sci., Sec. Plant Breeding https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00528.

- 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.
- Dvořáková M., Guido L. F., Dostálek P., Skulilová Z., Moreira M. M., & Barros A. A. (2008). Antioxidant properties of free, soluble ester and insoluble-bound phenolic

compounds in different barley varieties and corresponding malts. *Journal of the Institute of Brewing*, *114*(1), 27-33.

- Eberhart J. P.; Dunod (1989). Analyse structurale et chimique des matériaux.
- Ehala S., Vaher M., & Kaljurand M. (2005). Characterization of phenolic profiles of Northern European berries by capillary electrophoresis and determination of their antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, *53*(16), 6484-6490.
- EUFIC (2009). Fiche d'information : les céréales complètes Version électronique disponible sur : http://www.eufic.org/article/fr/expid/cereales-completes/.
- 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).
- Farber B., & Gallant D. (1975). Efficiency of various treatments of cereals, histological and cytochemical, studies of maize and barley caryopsis. Effects of popping and flakingtreatment.
- Farber B., & Gallant D. (1976). Évaluation de divers traitements technologiques des céréales ii.--études histologiques et cytochimiques des caryopses du maïs et de l'orge. Effets des traitements d'expansion et de floconnage. in *annales de zootechnie,* vol. 25, no. 1, pp. 13-30.
- Fardet A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutrition research reviews*, *23*(1), 65-134.
- Feillet P. (2000). *Le grain de blé : composition et utilisation*. Editions Quae.
- Fellahi Z. E. A., Hannachi A., & Bouzerzour H. (2018). Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (Triticum aestivum L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy*.
- Franková L., & Fry S. C. (2013). Biochemistry and physiological roles of enzymes that 'cut and paste'plant cell-wall polysaccharides. *Journal of experimental botany*, *64*(12), 3519-3550.
- Fry R. (2004). Latino Youth Finishing College: The Role of Selective Pathways. *Pew Hispanic Center*.

- Fung T. T., Hu F. B., Pereira M. A., Liu S., Stampfer M. J., Colditz G. A., & Willett W. C. (2002). Whole-grain intake and the risk of type 2 diabetes: a prospective study in men. *The American journal of clinical nutrition*, *76*(3), 535-540.
- Garcia-Conesa M. T., Plumb G. W., Waldron K. W., Ralph J., & Williamson G. (1997). Ferulic acid dehydrodimers from wheat bran: isolation, purification and antioxidant properties of 8-0-4-diferulic acid. *Redox Report*, *3*(5-6), 319-323.
- Galati E. M., Monforte M. T., Kirjavainen S., Forestieri A. M., Trovato A., et Tripodo M. M. (1994). "Biological effects of hesperidin, a citrus flavonoid. (Note I): antiinflammatory and analgesic activity." Farmaco Prat 40(11): 709-712.
- Gallais A., & Bannerot H. (1992). *Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection*. Editions Quae.
- Gartaula G., Dhital S., Netzel G., Flanagan B.M., Yakubov G.E., Beahan C.T., Collins H.M., Burton R.A., Bacic A., Gidley M.J. (2018). Quantitative structural organisation model for wheat endosperm cell walls: Celluloseas an important constituent. Carbohydr. Polym. 196, 199–208.
- Gasper J., Bunatru G. (1985): Triticale Onovacereale. Édition Académie Romania Bucaresti pp 11-120.
- Gill B. S., & Friebe B. (2002). Cytogenetics, phylogeny and evolution of cultivated wheats. *Bread wheat: improvement and production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, 71-88.
- Godon G., Willm C. (1991). Les industries de première transformation des céréales. Ed : Techniques et documentation. Lavoisier. Paris. 679 p.
- Gotti R., Amadesi E., Fiori J., Bosi S., Bregola V., Marotti I., & Dinelli G. (2018). Differentiation of modern and ancient varieties of common wheat by quantitative capillary electrophoretic profile of phenolic acids. *Journal of Chromatography A*, *1532*, 208-215.
- Grignac P. (1965). *Contribution à l'étude de Triticum durum Desf* (Doctoral dissertation, Toulouse).
- Guiga W. (2006). *Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempe en malterie en vue leur recyclage* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- Guinet R., & Godon B. (1994). *La panification française* (pp. 521-p). Lavoisier.

- Habash D. Z., Kehel Z., & Nachit M. (2009). Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *Journal of experimental botany*, *60*(10), 2805-2815.
- 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. PP157 - 166.
- Han B., Wang Y., Dong S., Zhang, L., Ding, S., Yu, X., & Ou, J. (2015). Smart concretes and structures: A review. *Journal of intelligent material systems and structures*, *26*(11), 1303-1345.
- Harborne J. B. (1993). The Flavonoids: Advances in Research Since 1986. The Flavonoids: Advances in Research Since 1986. C. P. Inc: 241-245.
- 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.
- Heller M. A. (1998). The tragedy of the anticommons: property in the transition from Marx to markets. *Harvard law review*, 621-688.
- Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C., & Abecassis J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of cereal science*, *46*(3), 327-347.
- Hemery, Y., Chaurand, M., Holopainen, U., Lampi, A. M., Lehtinen, P., Piironen, V., ... & Rouau, X. (2011). Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding. *Journal of Cereal Science*, *53*(1), 1-8.
- Henry R. J. (2001). Exploiting cereal genetic resources 23-57.
- Hernández L., Afonso D., Rodríguez E.M. (2011). Phenolic compounds in wheat grain.
-
- Hollman P.C.H., & Katan M.B. (1998). "Bioavailability and health effects of dietary flavonols in man." Archives of Toxicology supplement 25: 237-239.

- Indu H., Seenivasan R. (2013). *In vitro* antioxidant activity of selected seaweeds from southeast coast of India. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5: 474-484.
- Ivanišová E., Ondrejovič M., & Šilhár S. (2012). Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals. *Nova Biotechnologica et Chimica*, *11*(1), 45-56.
- Jassim S.A., Naji M.A. (2003). Novel antiviral agents: a medicinal plant perspective. ApplMicrobiol 95 (3): 412-27.
- Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P., & Brulé G. (2007). *Les produits laitiers* (pp. 184-p). Editions Tec & Doc Lavoisier.
- Jerkovic A., Kriegel, A. M., Bradner, J. R., Atwell, B. J., Roberts, T. H., & Willows, R. D. (2010). Strategic distribution of protective proteins within bran layers of wheat protects the nutrient-rich endosperm. *Plant physiology*, *152*(3), 1459-1470.
- Karagözler A. A., Erdağ B., Emek Y. Ç., & Uygun D. A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from Dorystoechas hastata. *Food Chemistry*, *111*(2), 400-407.
- Kato R., Nakadate T., Yamamoto S., et Sugimura T. (1983). "Inhibition of 12-Otetradecanoylphorbol-13-acetate-induced tumor promotion and ornithine decarboxylase activity by quercetin: possible involvement of lipoxygenase inhibition." Carcinogenesis 4(10): 1301-1305.
- Keegstra K. (2010). Plant cell walls. *Plant physiology*, *154*(2), 483-486.
- Kellogg E. A. (2001). Evolutionary history of the grasses. Plant Physiol. 125:1198-1205.
- Kerby K., &Kuspira J. (1987). The phylogeny of the polyploid wheats Triticum aestivum (bread wheat) and Triticum turgidum (macaroni wheat). *Genome*, *29*(5), 722-737.
- Khalfallah Y., Bouktila D., Habachi-Houimli Y., & Makni H. (2017). Regulation of NBS-LRR genes by MicroRNAs in wheat: Computational identification of candidate MIR-2118 genes and evidence of flexibility. *Cereal Research Communications*, *45*(1), 83-92.
- Kiger J.L., Kiger J.G. (1967). Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime.Ed . DUNOD. Paris. France. pp 676.

- Kim H. J., & Triplett B. A. (2001). Cotton fiber growth in planta and in vitro. Models for plant cell elongation and cell wall biogenesis. *Plant physiology*, *127*(4), 1361-1366.
- Kitcherside M.A., Glen E.F., & Webster A.J.F. (2000). Fibrecap: an improved method for the rapid analysis of fibre in feeding stuffs. *Animal Feed Science and Technology*, *86*(1-2), 125-132.
- Knox J. P. (2008). Revealing the structural and functional diversity of plant cell walls. *Current opinion in plant biology*, *11*(3), 308-313.
- Koh-Banerjee P., Franz M., Sampson L., Liu S., Jacobs Jr D. R., Spiegelman D., ... & Rimm E. (2004). Changes in whole-grain, bran, and cereal fiber consumption in relation to 8-y weight gain among men. *The American journal of clinical nutrition*, *80*(5), 1237-1245.
- Labga L., Meziani S., Khadidja H., Souad S., & Aysha T. T. (2021). Isolation and Study of the Nutritional Variability of Peripheral Layers of Barley Grains During Development. *Advanced Research in Life Sciences*, *6*(1), 1-11.
- Laroche G., Grosjean F., Gate P., et Bernicot M.H. (1994): Le triticale Du débouché à la culture In revue Perspective Agricole N° 188 pp 1-24.
- Laubin B., Lullien-Pellerin V., Nadaud I., Gaillard-Martinie B., Chambon C., & Branlard G. (2008). Isolation of the wheat aleurone layer for 2D electrophoresis and proteomics analysis. *Journal of Cereal Science*, *48*(3), 709-714.
- Laux D. L., Tambasco A. J., & Benzinger E. A. (2006). Forensic Detection of Semen II. Comparison of the Abacus Diagnostics OneStep ABAcard p30 Test and the Seratec PSA Semiquant Kit for the Determination of the Presence of Semen in Forensic Cases.
- Lee, H., Peirsman, Y., Chang, A., Chambers, N., Surdeanu, M., & Jurafsky, D. (2011, June). Stanford's multi-pass sieve coreference resolution system at the conll-2011 shared task. In *Proceedings of the fifteenth conference on computational natural language learning: Shared task* (pp. 28-34).
- Lee, W. S., Rudd, J. J., & Kanyuka, K. (2015). Virus induced gene silencing (VIGS) for functional analysis of wheat genes involved in Zymoseptoria tritici susceptibility and resistance. *Fungal Genetics and Biology*, *79*, 84-88.
- Leong L. P., & Shui G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food chemistry*, *76*(1), 69-75.

- Lersten N. R. (1987). Morphology and anatomy of the wheat plant. *Wheat and wheat improvement*, *13*, 33-75.
- Leslie J. (2012). Production d'hémicellulose de pailles et de son de blé à une échelle pilote, étude de performance technique et évaluation environnementale d'un agro-procédé.
- Levitt T. (1980). *Marketing success through differentiation-of anything* (pp. 83-91). Boston: Graduate School of Business Administration, Harvard University.
- Lev-Yadun S., Inbar M., Izhaki I., & Dafni A. (2002). Colour patterns in vegetative parts of plants deserve more research attention. *Trends in Plant Science*, *7*(2), 59-60.
- Liu L. C., Fan Y., Wu G., & Wei Y. M. (2007). Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO2 emissions from final fuel use: An empirical analysis. *Energy Policy*, *35*(11), 5892-5900.
- Livre Blanc « céréales » (2011). Production et commerce mondial en céréales en 2010- 2011. ULg Gembloux. Agro-Bio Tech et CRA-W Gembloux, février 2011. 12 p.
- Liyana-Pathirana, C., Dexter, J., & Shahidi, F. (2006). Antioxidant properties of wheat as affected by pearling. *Journal of agricultural and food chemistry*, *54*(17), 6177-6184.
- Lookhart G. E. O. R., & Bean S. (1995). Separation and characterization of wheat protein fractions by high-performance capillary electrophoresis. *Cereal Chemistry*, *72*(6), 527-532.
- López-Perea P., Guzmán-Ortiz F. A., Román-Gutiérrez A. D., Castro-Rosas J., Gómez-Aldapa C. A., Rodríguez-Marín M. L., ... & Torruco-Uco J. G. (2019). Bioactive compounds and antioxidant activity of wheat bran and barley husk in the extracts with different polarity. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 646-658.
- 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.
- Mansouri I., &Bousbia Salah M. (2018). Contribution à l'étude anatomiques des paramétrés d'adaptation des plantes spontanées du Sahara septentrional Algériennes.

- Marga F., Grandbois M., Cosgrove D. J., & Baskin T. I. (2005). Cell wall extension results in the coordinate separation of parallel microfibrils: evidence from scanning electron microscopy and atomic force microscopy. *The Plant Journal*, *43*(2), 181-190.
- Mari E., Tsai P. C., Eswaran M., & Ponnusamy V. K. (2020). Efficient electro-catalytic oxidation of ethylene glycol using flower-like graphitic carbon nitride/iron oxide/palladium nanocomposite for fuel cell application. *Fuel*, *280*, 118646.
- Martini, D., Taddei, F., Ciccoritti, R., Pasquini, M., Nicoletti, I., Corradini, D., et al. (2015). Variation de l'activité antioxydante totale et de l'acide phénolique, des composés phénoliques totaux et des pigments de couleur jaune chez le blé dur (Triticum turgidum L. var. durum) en fonction du génotype, de l'année de culture et de la zone de culture. J. Cereal Sci. 65, 175–185. doi : 10.1016/j.jcs.2015.06.012
- 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.
- Martens S., &Mithöfer A. (2006). "Corrigendum to "Flavones and flavone synthases". Phytochemistry 67(5): 521.
- Martini D., Del Bo C., Porrini M., Ciappellano S., & Riso P. (2017). Role of polyphenols and polyphenol-rich foods in the modulation of PON1 activity and expression. *The Journal of nutritional biochemistry*, *48*, 1-8.
- Matweef M. (1946). Valeur industrielle des blés durs Tunisiens et méthodes utilisées pour appréciation. Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie. Vol, 19.pp. 4 -23.
- Méchin V., Damerval C., & Zivy M. (2007). Total protein extraction with TCA-acetone. In *Plant proteomics* (pp. 1-8). Humana Press.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Sahraoui A. H., & Harkati N. (2006). Adaptation des variétés de blé dur (Triticum durum Desf.) au climat semi-aride. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, *17*(4), 507-513.
- Mellén M. A., De la Rosa E. J., & Boya P. (2009). Autophagy is not universally required for phosphatidyl-serine exposure and apoptotic cell engulfment during neural development. *Autophagy*, *5*(7), 964-972.

- 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. (2014). Proteomic comparison of the aleurone layer in Triticum aestivum and Triticum monococcum wheat varieties. *Current Proteomics*, *11*(1), 71-77.
- Meziani S., Nadaud I., Gaillard-Martinie B., Chambon C., Benali M., & Branlard G. (2019). Proteomic analysis of mature kernel aleurone layer of Triticum spelta and three wheat related species. *Nutrition & Santé*, *8*(1), 27-35.
- 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.
- Mishra A., & Bäuerle P. (2012). Small molecule organic semiconductors on the move: promises for future solar energy technology. *Angewandte Chemie International Edition*, *51*(9), 2020-2067.
- Moore R. A., Derry S., Aldington D., Cole P. & Wiffen P. J. (2012). Amitriptyline for neuropathic pain and fibromyalgia in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (12).
- Morison W. L. (1975). Viral warts, herpes simplex and herpes zoster in patients with secondary immune deficiencies and neoplasms. *British Journal of Dermatology*, *92*(6), 625-630.
- Ncube L. (2008). *Evaluation of effective micro-organisms (EM) on soil chemical properties and yield of selected vegetables in the Eastern Cape, South Africa* (Doctoral dissertation, University of Fort Hare).
- Operating instructions et Manual operating. Documentations PHILIPS. 2000
- Othman Y. (2005). *Evaluation of barley cultivars grown in Jordan for salt tolerance* (Doctoral dissertation, Thesis, Jordan University of Science and Technology, Jordan).
- Panfili G., Fratianni A., & 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*, *51*(14), 3940-3944.

- Parry D. W., Jenkinson P., & McLeod L. (1995). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant pathology*, *44*(2), 207-238.
- Paux E., Sourdille P., Salse J., Saintenac C., Choulet F., Leroy P., ... & Feuillet C. (2008). A physical map of the 1-gigabase bread wheat chromosome 3B. *science*, *322*(5898), 101-104.
- Peters M., Kumpfert J., Ward C. H., & Leyens C. (2003). Titanium alloys for aerospace applications. *Advanced engineering materials*, *5*(6), 419-427.
- Peterson C. J., Johnson V. A., & Mattern P. J. (1986). of Wheat Flour, Bran, and Grain. *Cereal Chem*, *63*(3), 183-186.
- Peterson C. J., Johnson V. A., & Mattern P. J. (1986). of Wheat Flour, Bran, and Grain. *Cereal Chem*, *63*(3), 183-186.
- Picard D., Salser S. J., & Yamamoto K. R. (1988). A movable and regulable inactivation function within the steroid binding domain of the glucocorticoid receptor. *Cell*, *54*(7), 1073-1080.
- Pinckney A. J. (1961). The biuret test as applied to the estimation of wheat protein. *Cereal Chemistry*, *38*, 501-506.
- Pitchaporn W., Niwat K., Naret M., & Sirithon S. (2016). Bioactive compounds and antioxidant properties of different solvent extracts derived from Thai rice by-products. *Applied Biological Chemistry*, *59*(3), 373-384.
- Pomeranz Y. (1988). Chemical composition of kernel structures. *Wheat: chemistry and technology. Volume I.*, (Ed. 3), 97-158.
- Pomeranzy S. (1973). igScannin! electron microscopy of the oat keme. (er. Chem., 49, 20-22). 1. 13.
- Popineau Y., & Pineau F. (1985). Fractionation and characterisation of γ-gliadins from bread wheat. *Journal of cereal science*, *3*(4), 363-378.
- Popovici C., Saykova I., & Tylkowski B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, *4*(8).
- Prat R. (1966). Spectrométrie des fréquences spatiales et cohérence. *Optica Acta: International Journal of Optics*, *13*(2), 73-95.
- Prinsen C. A., Vohra S., Rose M. R., King-Jones S., Ishaque S., Bhaloo Z., ... & Terwee C. B. (2014). Core Outcome Measures in Effectiveness Trials (COMET) initiative: protocol for an international Delphi study to achieve consensus on how to

select outcome measurement instruments for outcomes included in a ‘core outcome set’. *Trials*, *15*(1), 1-7.

- Qiu Y., Yu Y., Zhang L., Qian Y., & Ouyang Z. (2016). An investigation of reverse flotation separation of sericite from graphite by using a surfactant: MF. *Minerals*, *6*(3), 57.
- Rachedi F., & Mourid T. (2003). Estimateur crible de l'opérateur d'un processus ARB (1). *Comptes Rendus Mathematique*, *336*(7), 605-610.
- Ragaee S., Abdel-Aal E. S. M., & Noaman M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food chemistry*, *98*(1), 32-38.
- Ranieri R. (2015). Geography of the durum wheat crop. *Pastaria Int*, *6*, 24-36.
- Raskin I., Ribnicky D. M., Komarnytsky S., Ilic N., Poulev A., Borisjuk N., Brinker A., Moreno D. A., Ripoll C., Yakoby N., O'Neal J. M., Cornwell T., Pastor I., et Fridlender B. (2002). "Plants and human health in the twenty-first century." Trends in Biotechnology 20(12): 522-531.
- Regvar M., Eichert D., Kaulich B., Gianoncelli A., Pongrac P., Vogel-Mikuš K., & Kreft I. (2011). New insights into globoids of protein storage vacuoles in wheat aleurone using synchrotron soft X-ray microscopy. *Journal of Experimental Botany*, *62*(11), 3929-3939.
- Rice-Evans C.A., Miller N.J., Bolwell P.G., Bramley P.M., Pridham J.B. (1995). The relative antioxidant activities of plant derived polyphenolic flavonoids. Free Radical Research 22, 375 383.
- Roppolo D., & Geldner N. (2012). Membrane and walls: who is master, who is servant? *Current opinion in plant biology*, *15*(6), 608-617.
- Roujol D., Hoffmann L., San Clemente H., Ritzenthaler C., Burlat V., Jamet E. (2018). Plant cell wall proteomes : bioinformatics and cell biology tools to assess the *bona fide* cell wall localization of proteins. Methods Mol Biol (sous presse).
- Sahyoun N. R., Jacques P. F., Zhang X. L., Juan W., & McKeown N. M. (2006). Whole-grain intake is inversely associated with the metabolic syndrome and mortality in older adults. *The American journal of clinical nutrition*, *83*(1), 124-131.
- Salse J., Bolot S., Throude M., Jouffe V., Piegu B., Quraishi U. M., ... & Feuillet C. (2008). Identification and characterization of shared duplications between rice and wheat provide new insight into grass genome evolution. *The Plant Cell*, *20*(1), 11-24.

- Samuels A. L., Giddings Jr T. H., & Staehelin L. A. (1995). Cytokinesis in tobacco BY-2 and root tip cells: a new model of cell plate formation in higher plants. *The Journal of cell biology*, *130*(6), 1345-1357.
- Sang X., Li, J., Zhang L., Wang Z., Chen W., Zhu Z., ... & Wang E. (2014). A novel carboxyethyltin functionalized sandwich-type germanotungstate: synthesis, crystal structure, photosensitivity, and application in dye-sensitized solar cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *6*(10), 7876-7884.
- Sarni-Manchado P., & Cheynier V. (Eds.). (2006). *Les polyphénols en agroalimentaire*. Techniques & documentation.
- Saulnier L., Guillon F., Chateigner-Boutin A.L. (2012). Cell wall deposition and metabolism in wheat grain. J. Cereal Sci. 56, 91–108.
- Schatzkin A., Mouw T., Park Y., Subar A. F., Kipnis V., Hollenbeck A., ... & Thompson F. E. (2007). Dietary fiber and whole-grain consumption in relation to colorectal cancer in the NIH-AARP Diet and Health Study. *The American journal of clinical nutrition*, *85*(5), 1353-1360.
- Scherer R., & Godoy H. T. (2009). Antioxidant activity index (AAI) by the 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. *Food chemistry*, *112*(3), 654-658.
- Seal R. R. (2006). Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, *61*(1), 633-677.
- Sharma P., Jha A. B., Dubey R. S., & Pessarakli M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, *2012*.
- Simon A. (1989). The discharge of sediment in channelized alluvial streams 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *25*(6), 1177-1188.
- Snyder J. C. &Desborough S. L. (1978). Rapid estimation of potato tuber total protein content with coomassie brilliant blue G-250. *Theoretical and Applied Genetics*, *52*(3), 135-139.
- Sokmen M., Angelova M., Krumova E. (2005). In vitro antioxidant activity of polyphenol extracts with antiviral properties from Geranium sanguineum L. Life Sci 76 (25): 2981-93.
- 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.

- Saulnier L., Sado P.-E., Branlard G., Charmet G. et Guillon F. (2007) Les arabinoxylanes du blé : exploiter la variation de quantité et de composition pour développer des variétés amélioréesJ. Céréale Sci. **46** 261281
- Somerville C., Bauer S., Brininstool G., Facette M., Hamann T., Milne J., ... & Youngs H. (2004). Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science*, *306*(5705), 2206-2211.
- Srinivasulu C, Ramgopal M, Ramanjaneyulu G, Anuradha CM. 2018. Suresh Kumar C. Syringic acid (SA) – A Review of Its Occurrence, Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. Biomed Pharmacother. Dec;108:547-557. doi: 10.1016/j.biopha.2018.09.069.
- Stone B, Morell MK (2016) Carbohydrates. In: Khan K, Shewry R (eds) Wheat: chemistry and technology. AACC International, Inc., St. Paul, pp 299–362.
- Surget A., & Barron C. (2005). Histologie du grain de blé. *Industries des céréales*, (145), 3-7.
- Takahashi T., Kokubo R., Sakaino M. (2004). Antimicrobialactivities of eucalyptus leafextracts and flavonoidsfrom Eucalyptus maculata. Lett Appl Microbiol 39 (1): 60-4.
- 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.
- Tasleem-Tahir A., Nadaud I., Girousse C., Martre P., Marion D., & Branlard G. (2011). Proteomic analysis of peripheral layers during wheat (Triticum aestivum L.) grain development. *Proteomics*, *11*(3), 371-379.
- Tayyem R. F., Bawadi H. A., Shehadah I., Agraib L. M., Al-Awwad N. J., Heath D. D., & Bani-Hani K. E. (2016). Consumption of whole grains, refined cereals, and legumes and its association with colorectal cancer among Jordanians. *Integrative cancer therapies*, *15*(3), 318-325.
- Thornley R. F. M., & Cartz L. (1962). Direct examination of ceramic surfaces with the scanning electron microscope. *Journal of the American Ceramic Society*, *45*(9), 425-428.
- 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.

- Tsao R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, *2*(12), 1231-1246.
- Uchida K., Kato Y., et Kawakishi S. (1990). A novel mechanism for oxidative cleavage of prolyl peptides induced by the hydroxyl radical, Biochemical and biophysical research communications 169 : 265- 271.
- Vaher M., Matso K., Levandi T., Helmja K., & Kaljurand M. (2010). Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. *Procedia Chemistry*, *2*(1), 76-82.
- Veraverbeke W. S., Courtin C. M., Verbruggen I. M., & Delcour J. A. (1999). Factors governing levels and composition of the sodium dodecyl sulphate-unextractable glutenin polymers during straight dough breadmaking. *Journal of Cereal Science*, *29*(2), 129-138.
- Verma A. R., Vijayakumar M., Mathela C. S., & Rao C. V. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of Moringa oleifera leaves. *Food and Chemical Toxicology*, *47*(9), 2196-2201.
- Vermerius W, Nicholson R. 2006. Isolation and identification of phenolic compounds biochemistry, published by Springer, Dordrecht, pp. 35-62-151-191.
- Viol D. I., Chagonda L. S., Moyo S. R., & Mericli A. H. (2013). Antibacterial, antifungal and phytochemical activities of some medicinal plants from Zimbabwe. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, *3*(4), 273-284.
- Voragen A. G., Coenen G. J., Verhoef R. P., & Schols H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, *20*(2), 263-275.
- Vucelic-Radovic Biljana V., Nesic Vjaceslav M., Demin Mirjana A., Milovanovic Mirjana M. (2006). *Les vitamines du groupe B et les éléments minéraux dans l'élimination sélective des couches de grains de blé. Communications de produitsnaturels, 1(11), 1934578X0600101–.* doi:10.1177/1934578x0600101115.
- Walle T. (2004). "Absorption and metabolism of flavonoids." Free Radical Biology and Medicine 36(7): 829-837.
- 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.

- Wojdyło A., & Oszmainski J. (2007). Comparison of the content phenolic acid, a-tochopherol and the antioxidant activity in oat naked and weeded. *Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, *4*, 1980-1988.
- Wojtaszek P. (2000). Nitric oxide in plants: to NO or not to NO. *Phytochemistry*, *54*(1), 1-4.
- Zaddem M. (2014). Application de la méthode des surfaces de réponse pour l'optimisation du blanchiment du son de blé par du peroxyde d'hydrogène et son incorporation dans une farine de pain.
- Zeitoun M. (2011). The global web of national water security. *Global Policy*, *2*(3), 286-296.
- Zemerline F. (1990): Substitution partielle et totale du, mais par le triticale chez le poulet de chair .mémoire Ing Agro .Inst. Agro. Blida 33p.
- Zhishen J., Mengcheng T., & Jianming W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry*, *64*(4), 555-559.
- Zhong R., & Ye Z. H. (2015). Secondary cell walls: biosynthesis, patterned deposition and transcriptional regulation. *Plant and cell physiology*, *56*(2), 195-214.
- Ziegler, J. U., Steiner, D., Longin, C. F. H., Würschum, T., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2016). Wheat and the irritable bowel syndrome–FODMAP levels of modern and ancient species and their retention during bread making. *Journal of Functional Foods*, *25*, 257-266.
- Zielinski H. et Kozlowska H. 2000.Activité antioxydante et composés phénoliques totaux dans des grains de céréales sélectionnés et leurs différentes fractions morphologiquesJ. Agric. Chimie alimentaire. **48** 20082016
- Žilić S., Basić Z., Hadži-Tašković Šukalović V., Maksimović V., Janković M., & Filipović M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour?. *International Journal of Food Science & Technology*, *49*(4), 1040-1047.

VI. Annexes

Annexe N°1 : Microscope électronique à balayage

Matériels utilisés

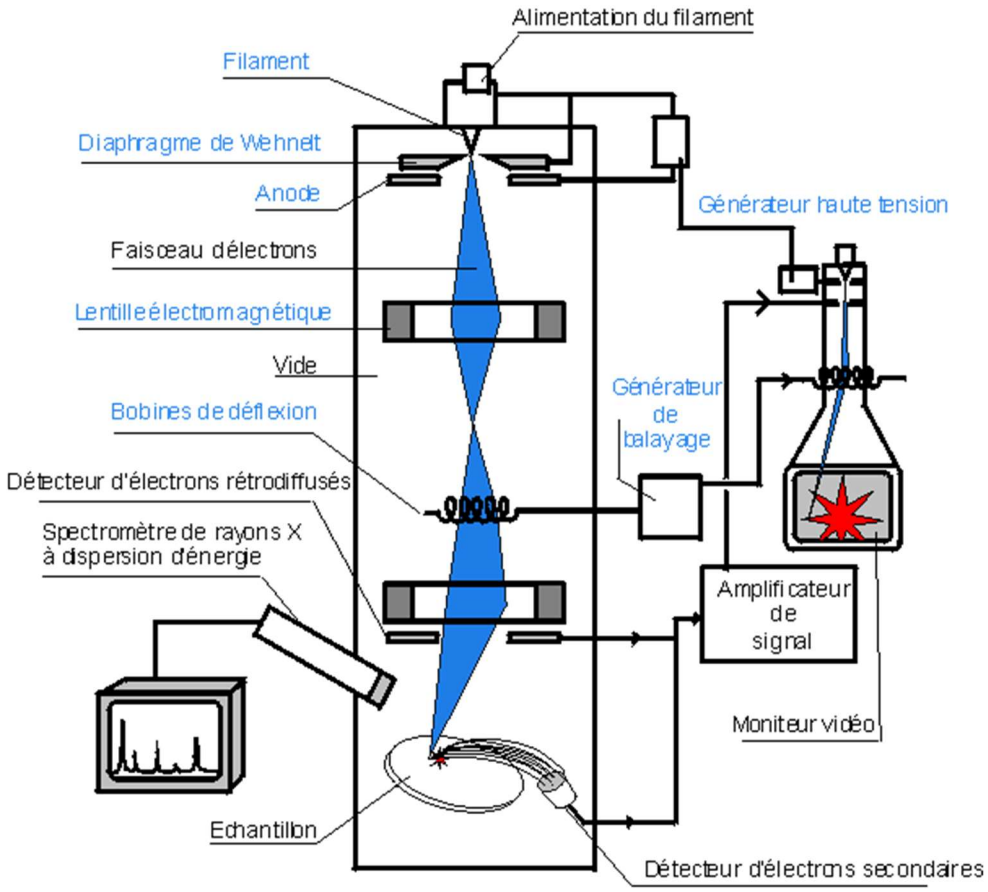


Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB)

(Operating instructions et Manual operating. Documentations PHILIPS. 2000)

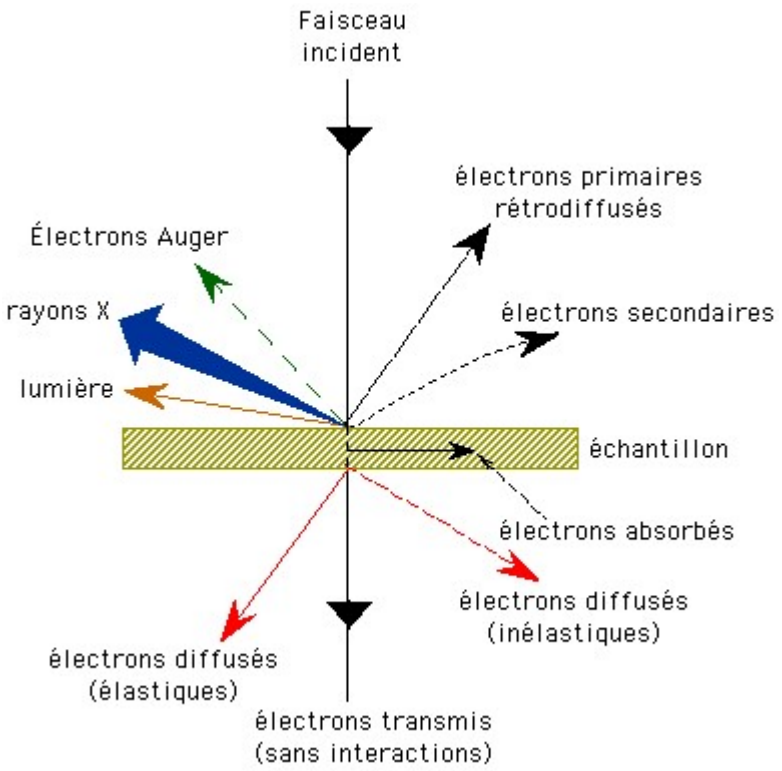
Principe

Un MEB utilise un faisceau d'électron à la place des photons utilisés dans un microscope optique. L'utilisation de particules accélérées de plus courte longueur d'onde permet de résoudre les deux inconvénients de la source lumineuse. La longueur d'onde du faisceau électronique est 100000 fois plus faible que celle de la lumière, et d'autre part l'ouverture de

ce faisceau est très faible. Il en résulte que les appareils modernes permettent des grandissements jusqu'à 100 000 fois sur la plupart des matériaux solides tout en conservant une profondeur de champ compatible avec l'observation de surfaces tourmentées.

Le fonctionnement du microscope est basé sur l'émission d'électrons produits par une cathode et la détection de signaux provenant de l'interaction de ces électrons avec l'échantillon. Ces électrons qui irradient la surface de l'échantillon pénètrent profondément dans le matériau et affectent un volume appelé « poire d'interaction », Le volume de cette poire dépend du numéro atomique moyen de l'échantillon et de l'énergie des électrons incidents. Dans ce volume d'interaction.

La figure ci-dessous illustre l'ensemble des radiations pouvant être émises lors de l'interaction entre le faisceau d'électrons et l'échantillon. Toutes ces radiations sont produites simultanément et rendent possibles à la fois l'observation et l'analyse d'un objet choisi.



Différents sortes de signaux émis par les interactions

entre les électrons incidents et l'échantillon **(Eberhart et Dunod. 1989)**

Annexe N°2 : Dosage des minéraux

spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) pour le dosage des minéraux



Spectrophotomètre d'absorption atomique

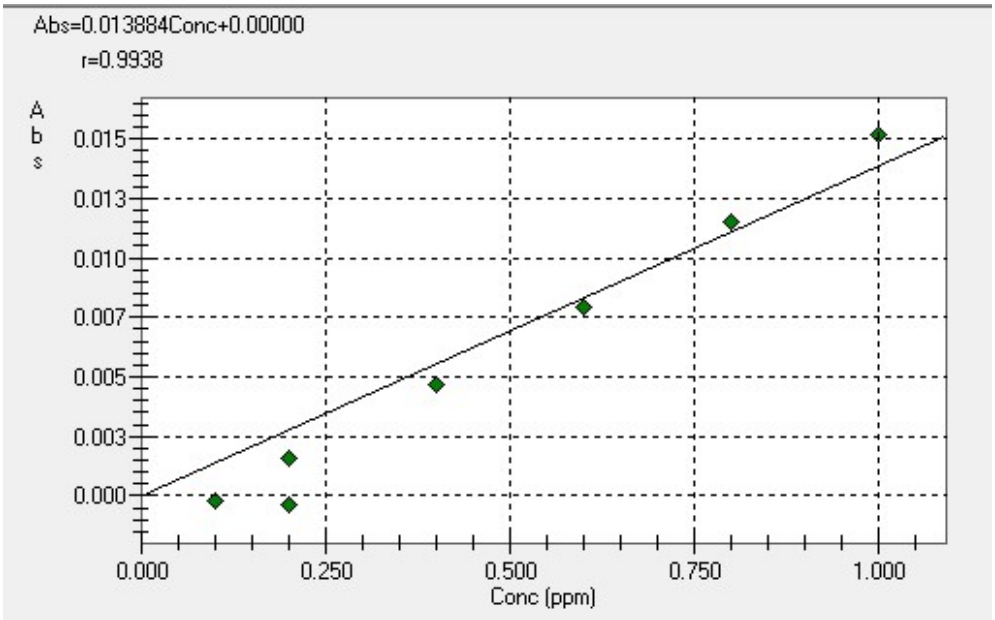
Principe

$La spectroscopie d'absorption atomique (SAA) est une technique basée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière émis d'une certaine longueur d'ondes.

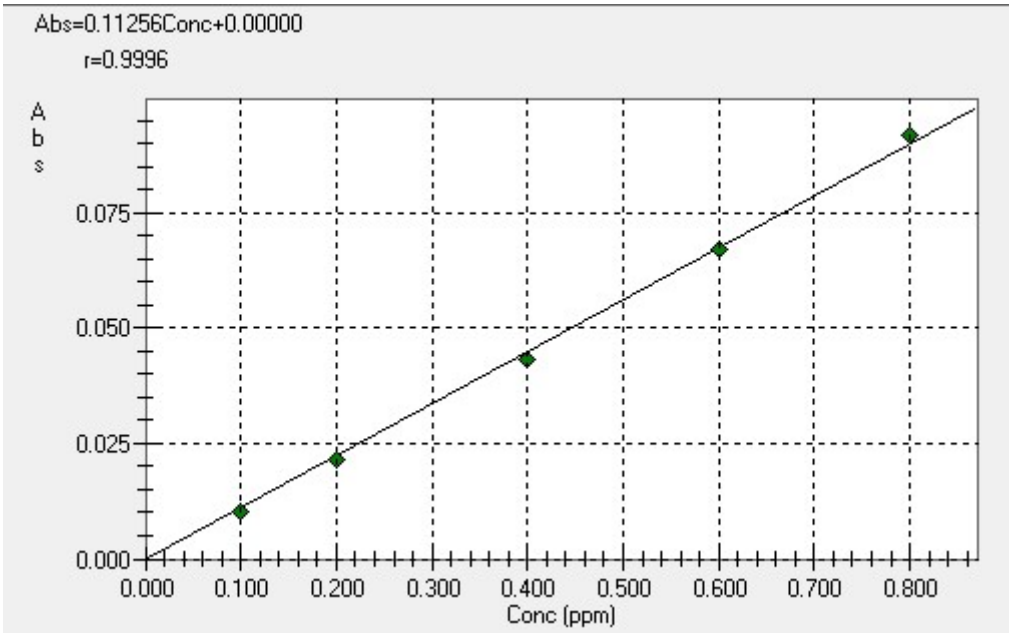
Elle est utilisée pour quantifier des métaux d'échantillons biologiques, métallurgiques, pharmaceutiques et atmosphériques par exemple en solution.

Lors du procédé d'absorption atomique l'énergie fournie à l'atome provient d'une source lumineuse appelée lampe à cathode creuse. L'atome dans son état de base absorbe l'énergie

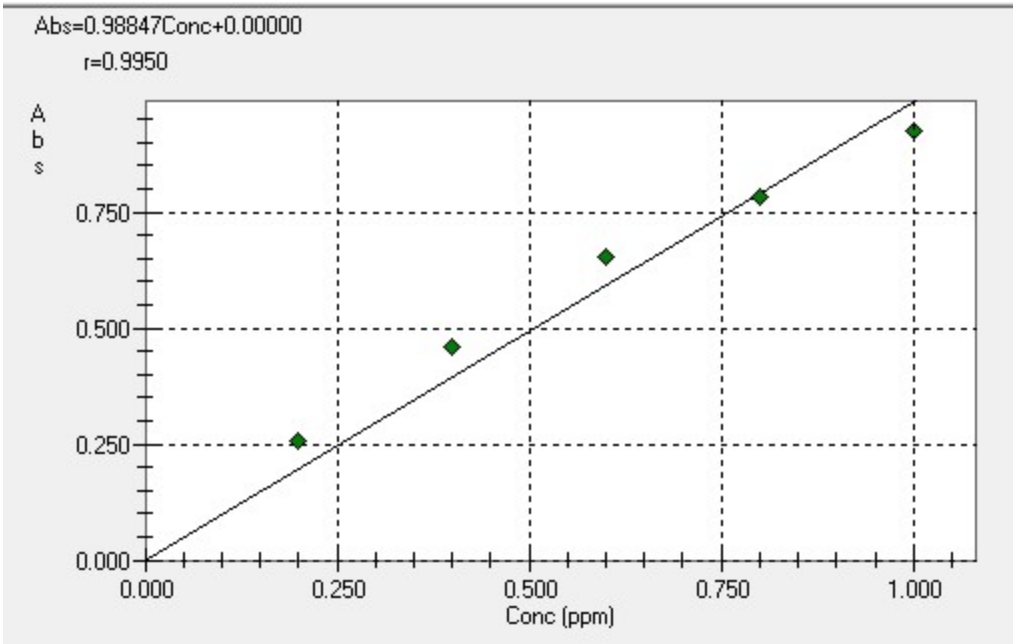
lumineuse à une longueur d'onde spécifique et passe à un état d'excitation. Un détecteur mesure la quantité de lumière absorbée et un signal électronique est produit en fonction de l'intensité lumineuse. Ce signal est traité et la quantité d'analyte dans l'échantillon est déterminée en fonction de l'absorbance mesurée.



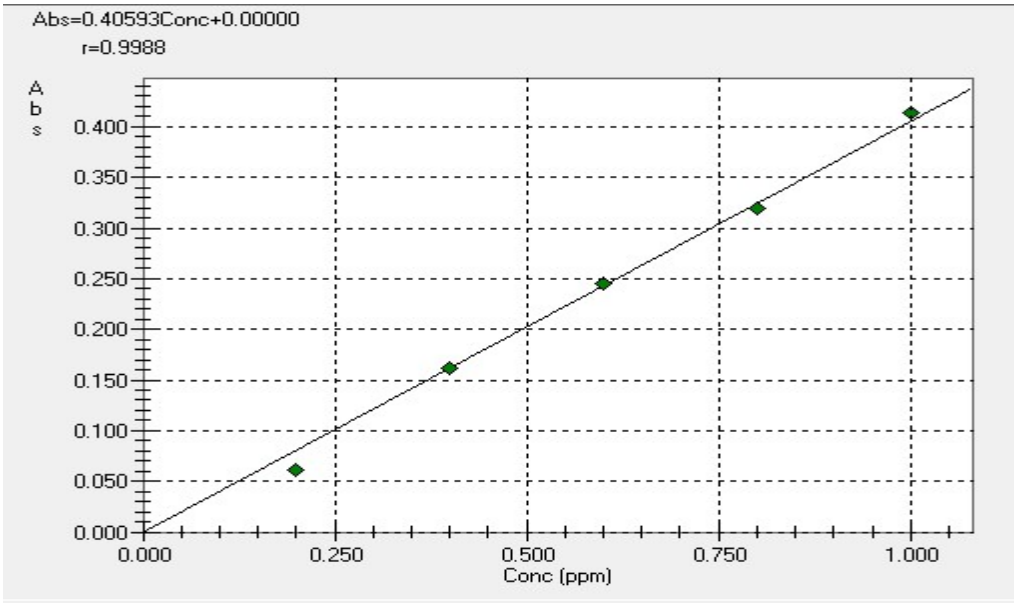
Courbe d'étalonnage (absorbance en fonction des concentration) pour le dosage du Ca par la méthode SAA



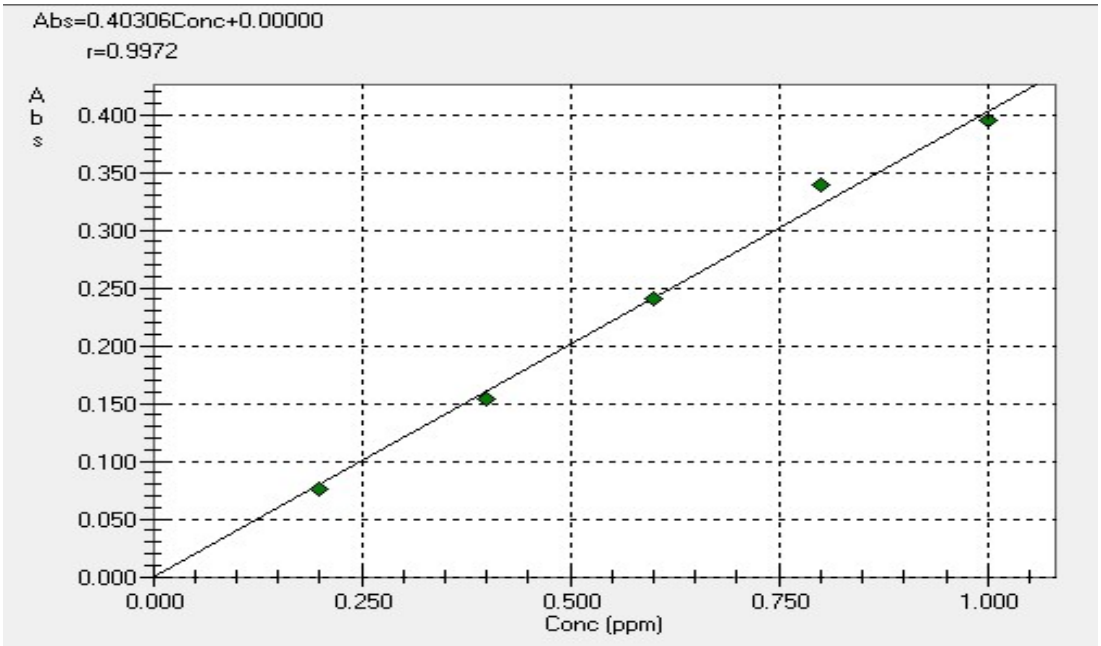
Courbe d'étalonnage (absorbance en fonction des concentration) pour le dosage du Fe par la méthode SAA



Courbe d'étalonnage (absorbance en fonction des concentration) pour le dosage du Mg par la méthode SAA



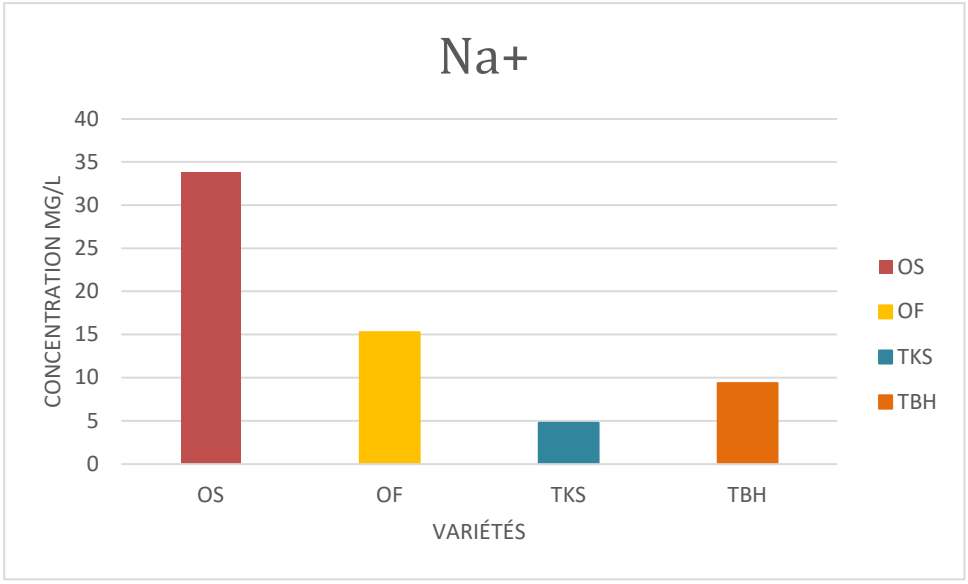
Courbe d'étalonnage (absorbance en fonction des concentrations) pour le dosage du Cu par la méthode SAA



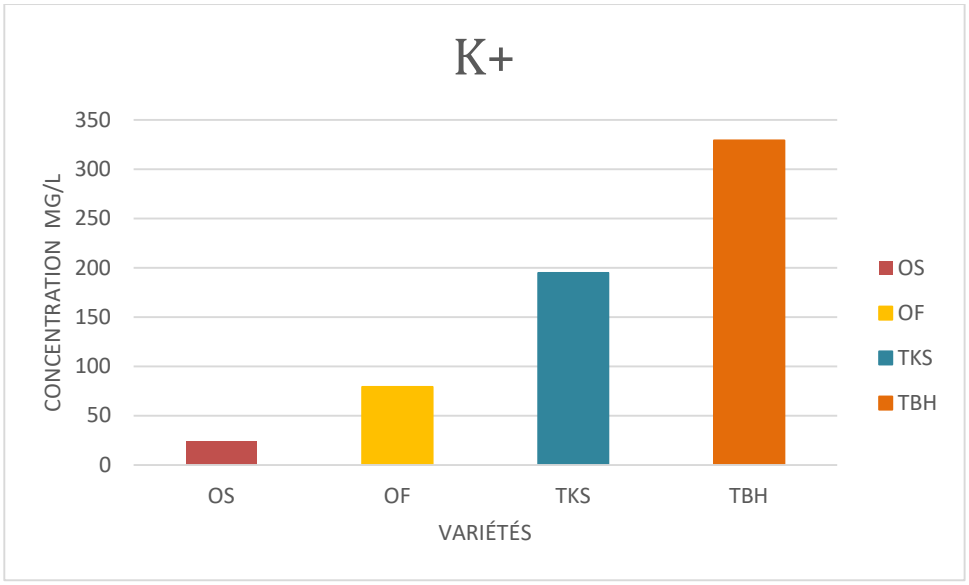
Courbe d'étalonnage (absorbance en fonction des concentration) pour le dosage du Mn par la méthode SAA

Annexe N°3 :

Dosage des minéraux par la méthode spectrophotométrique a flemme des deux espèces Triticale et Orge



Concentration mg/l du sodium dans les variétés de CP de triticale et d'orge.



Concentration en mg/l du potassium dans les variétés de CP de triticale et d'orge.

Annexe N°4 : dosage de fibres brutes **(WEEND)**



Analyseur des fibres alimentaire

Annexe N°5 : matériels utilisés



Lampe binoculaire



Spectrophotomètre a flamme

Tableau récapitulatif des résultats

Valeurs nutritionnelles des trois variétés Chen's, Ziden et Saida

variétés	Chen's	Ziden	Saida	
Contenu en protéines « Bradford » mg/ml	0.001±0.002[a]	0.005±0.001[a]	0.0052±0.005 [a]	
Contenu en minéraux « SAA » PPM				
Fe Cu Mg Mn Ca	0.7125±0.015[a] 0.0973±0.001[a] 2.1321±0.006[a] 0.1819±0.008[a] 10.6585±0.04[a]	1.2473±0.017[a] 0.1150±0.05[a] 2.1422±0.03[a] 0.4317±0.014[a] 8.0793±0.07[a]	0.8253±0.013[a] 0.0466±0.022[a] 2.0991±0.01[a] 0.2387±0.005[a] 2.7947±0.03[a]	
Contenu en fibres brutes « % »	1.5±0.03[a]	1.2±0.07[a]	0.8±0.05[a]	
	PT[a] (µg EAG/mg E)		**FT[a] (µg EQ/mg E)**	
Extraits	***Blé tendre (Ziden)***	***Blé dur (Chen's)***	***Blé Tendre (Ziden)***	***Blé dur (Chen's)***
Extrait Brut	427± 1.2[b]	550± 0.34[b]	612± 0.5[b]	619± 1.2[b]
Extrait chloroformique	208 ± 0,7[b]	420± 0,48[b]	218 ±0,5[b]	454 ±1.8[b]
Extrait d'acétate d'éthyle	468± 1,02[b]	390± 0,8[b]	502 ±1,41[b]	490 ±0,9[b]
Extrait butanolique	590± 0,64[b]	510± 0,5[b]	543 ±0,7[b]	520 ±1[b]

Résultats de l'étude biologique

Extraits	PT[a] (µg EAG/mg E)	FT[a] (µg EQ/mg E)
Blé tendre (Ziden)	30±0.001[b]	40 ±0.0015[b]
Blé tendre (Boumerzoug)	14± 0.009[b]	12± 0.006[b]
Orge (Fouara)	12± 0.0019[b]	19± 0.0016[b]
Orge (Saida)	58± 0.004[b]	80± 0.005[b]
Triticale (Ksarsbahi)	27± 0.0025[b]	19± 0.001[b]
Triticale (Beni Haroun)	45± 0.0029[b]	120± 0.004[b]
Extraits	**Piégeage du radical libre DPPH (mg/ml)**	**Pouvoir réducteur du Fer (FRAP) (mg/ml)**
Blé tendre Ziden	**13.7±0.003**	**9.09±0.03**
Blé tendre Boumerzoug	**2.465±0.001**	**0.63±0.009**
Orge Fouara	**1.91±0.01**	**1.93±0.08**
Orge Saida	**46.48±0.005**	**9.09±0.2**
Triticale Ksar Sbahi	**85.82±0.04**	**15.62±0.011**
Tritikale Beni Haroun	**28.05±0.02**	**0.66±0.06**