

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE LA BIOLOGIE

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences De La Nature Et De La Vie (S.N.V.)

Filière : Science Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Intitulé du thème :

***ISOLEMENT ET ÉTUDE COMPARATIVE DES
COMPOSÉS PHÉNOLIQUES DU GERME DE BLÉ
TENDRE PUR ET TRAITÉ ET DE LEUR POUVOIR
ANTIOXYDANT***

Présenté par : M^{elle} DJEBBOURI Dounia.

M^{elle} OUAFI Nadjat.

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury	: M ^{me} ZEMRI K	MCA. UDL Sidi Bel Abbés
Examineur	: M ^{me} MEHIDA H	MCA. UDL Sidi Bel Abbés
Promoteur	: M ^{me} MEZIANI S	MCA. UDL Sidi Bel Abbés
Co-Promoteur	: M ^{me} LEBGA L	UDL Sidi Bel Abbés

Année universitaire 2019 - 2020

Session : « 1 »

Remerciements

Avant tout, louange à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'études.

Ensuite nous tenons à exprimer notre très profonde gratitude à **D^R MEZIANI SAMIRA** et **M^{me} LEBGA LAHOUARIA** qui nous 'ont dirigé dans ce travail, soutenu par leur disponibilité, leurs prodigieux conseils et leurs implication très active.

Nous tenons à remercier **D^R ZEMRI KHALIDA** et **D^R MEHIDA HAYET** pour avoir accepté de siéger notre soutenance.

Nous remercierons également tous les membres du laboratoire immunologie surtout **M^{me} AICHA** et de **M^{me} FATIMA** pour son aide précieuse tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons notre sincère remerciement à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail dans une ambiance de fraternité et d'amitié.

Nous remercierons toutes les personnes qui ont contribué à la publication des articles de recherche afin de faciliter les processus de recherche pour les étudiants.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants de la faculté des Sciences de la Nature et de la vie, en l'occurrence ceux du département de Biologie pour avoir assuré notre formation.

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'études :

A mes très chers parents, qu'ils m'ont toujours motivé, soutenu, leurs encouragements durant mes études.

A ma chère sœur et frère pour leur soutien.

A mes chères amies OUAFI NADJET et OUGED SOUHEILA.

A toute la promotion de biochimie Appliquée 2019-2020.

Je vous exprime à travers ce travail mon sentiment de fraternité et d'amour.

Vos aides, vos conseils et vos encouragements m'ont vraiment été utiles. Je vous dédie ce modeste travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

DJEBBOURI DOUNIA

Dédicace

Je dédie ce travail tout d'abord et spécialement à ma chère mère pour ses encouragements tendresse, sa disponibilité et ses sacrifices durant toutes mes années d'étude.

A mon cher père, pour son soutien durant toutes mes années d'études

A mes amies : DJEBBOURI DOUNIA, NAAR NABAWIYA, REFREF DOUNIA, OUGED SOUHEILA.

A toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser mon projet

Enfin, je dédie cette humble oeuvre à tous ceux qui précieux à mon cœur que ce soit de loin ou de près.

OUAFI NADJET

Résumé

Le blé est la deuxième céréale la plus consommée pour l'alimentation humaine après le riz en raison de la présence de calories élevées. Le germe de blé (2-3% du grain) peut être séparé en tant que sous-produit lors de la mouture du blé. Il est considéré comme un sous-produit important et peut être utilisé dans les différentes applications telles que alimentaires, pharmaceutiques et à d'autres fins biologiques. C'est un élément nutritif riche en nutriment en vitamine et d'antioxydant inclus la vitamine E, vitamine B, les minéraux, les sucres et les lipides, les fibres solubles et insolubles, les polyphénols et les flavonoïdes. L'objectif de notre travail consiste à estimer la composition en polyphénols totaux et l'évaluation de potentiel anti-oxydante présent dans le germe de blé tendre pur et traité. La dissection manuelle a été réalisée pour produire le germe de blé pur et en s'appuyant sur la coproduit de la minoterie pour le germe de blé traité.

Les résultats obtenus montrent que les polyphénols totaux représentent respectivement des valeurs de $0.074 \pm 0.001 \text{ mg(EAG)/g}$ et $0.062 \pm 0.001 \text{ mg(EAG)/g}$ pour le germe de blé pur et le germe de blé traité. Une similarité en flavonoïdes a été constatée pour les deux variétés de blé tendre (pur et traité) avec une valeur de $0.022 \pm 0.002 \text{ mg d'EC/g MS}$. L'évaluation de l'activité antioxydante, montrent que le germe de blé traité a la meilleure activité contre le radicale DPPH avec un $EC_{50} = 0.051 \text{ mg/ml}$ par rapport au germe de blé pur avec $EC_{50} = 0.361 \text{ mg/ml}$. En conclusion, le germe de blé peut être utilisé comme un agent protecteur, comme une source riche de composés bioactifs présentant des effets bénéfiques sur la santé.

Mots clés : blé tendre, germe de blé, polyphénols, activité antioxydante, DPPH.

ملخص

يعد القمح ثاني أكثر الحبوب استهلاكاً بعد الأرز نظراً لارتفاع السرعات الحرارية. يمكن فصل جنين القمح (2-3 % من الحبوب) كمنتج ثانوي عند طحن القمح يعتبر منتجاً ثانوياً مهماً ويمكن استخدامه في تطبيقات مختلفة مثل الأغذية والأدوية والأغراض البيولوجية الأخرى. يعتبر من العناصر الغذائية الغنية بفيتامين المغذيات ومضادات الأكسدة التي تشمل فيتامين E و فيتامين B و المعادن و السكريات و الدهون و الألياف القابلة للذوبان و غير القابلة للذوبان و البوليفينول و الفلافونويد. الهدف من عملنا هو تقدير تركيبة البوليفينول الكلية و تقييم الإمكانيات المضادة للأكسدة الموجودة في جنين القمح النقي و المعالج. تم إجراء التشريح اليدوي لإنتاج جنين القمح النقي و بناء على المنتج المشترك لمطحنة الدقيق لجنين القمح المعالج.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن إجمالي البوليفينول على التوالي يمثل قيم $mg\ 0.001 \pm 0.074EA)G/g$ و $mg\ 0.001 \pm 0.062EA) Gg/$ و لجنين القمح النقي و جنين القمح المعالج. و لوحظ وجود تشابه في نوعين القمح الشائع (النقي و المعالج) بقيمة $d\ mg\ 0.022 \pm 0.002E'g /C$. يوضح تقييم نشاط مضادات أن جنين القمح المعالج لها أفضل نشاط DPPH مع $mg\ 0.051 = C$ مقارنة مع جنين القمح النقي مع $EC=0.36\ ml/mg$. في الختام، يمكن استخدام جنين القمح كعامل وقائي، كمصدر غني للمركبات النشطة بيولوجياً مع تأثيرات صحية مفيدة.

الكلمات المفتاح : القمح الشائع , جنين القمح , البوليفينول , النشاط المضاد للأكسدة , DPPH.

Abstract

Wheat is the second most consumed cereal for human consumption after rice due to the presence of high calories. Wheat germ (2-3% of the grain) can be separated as a by-product when milling wheat. It is considered an important by-product and can be used in various applications such as food, pharmaceutical and other biological purposes. It is considered a nutrient rich in nutrient vitamin and antioxidant included vitamin E, vitamin B, minerals, sugars and lipids, soluble and insoluble fiber, polyphenols and flavonoids. The goal of our work is to estimate the total polyphenol composition and the evaluation of antioxidant potential present in pure and treated common wheat germ. The manual dissection was carried out to produce pure wheat germ and based on the co-product of the flour mill for the treated wheat germ.

The results obtained show that the total polyphenols respectively represent values of 0.074 ± 0.001 mg (EAG) / g and 0.062 ± 0.001 mg (EAG) / g for the pure wheat germ and the treated wheat germ. A similarity in flavonoids was noted for the two varieties of common wheat (pure and treated) with a value of 0.022 ± 0.002 mg of EC / g DM. The evaluation of the antioxidant activity, show that the treated wheat germ has the best activity against the radical DPPH with an $EC_{50} = 0.051$ mg / ml compared to the pure wheat germ with $EC_{50} = 0.361$ mg / ml. In conclusion, wheat germ can be used as a protective agent, as a rich source of bioactive compounds with beneficial health effects.

Keywords: common wheat, wheat germ, polyphenols, antioxidant activity, DPPH.

Sommaire

<i>Introduction</i>	1
---------------------------	---

Première Partie : Étude bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur le blé.

1.1	Généralités sur le blé tendre	2
1.1.1	Description	2
1.1.2	Taxonomie	2
1.1.3	Perspective historique	2
1.1.4	Origine de blé	3
1.2	Types et classification biologique de blé	3
1.3	Différences entre blé dur et blé tendre	5
1.4	Structure du Le grain de blé	5
1.5	Germination et croissance.....	8
1.6	Consommation de blé et utilisations générale	9
1.7	Importance économique de graine de blé	11
1.7.1	Le blé dans le contexte national.....	12
1.7.2	L'importation de blé en Algérie:.....	12

Chapitre 2 : Germe de Blé.

2.1.	Définition	13
2.2.	Composition biochimique de germe de blé.....	13
2.3.	L'importance et la valeur nutritionnelle de germe de blé.....	14
2.3.1.	Raisons d'éliminer le germe de blé pendant la mouture.....	16
2.3.2.	Des progrès dans la séparation des germes de blé	16
2.4.	Les techniques de stabilisation et de conservation de germe de blé	18
2.5.	Importance de germe de blé à l'échelle de l'industrie alimentaire et pharmaceutique	20
2.6.	Les effets thérapeutiques de germe de blé	20
2.7.	Effets secondaires du germe de blé.....	22

Deuxième Partie : Etude Expérimentale

1	MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	24
1.1	Objectif et déroulement de l'expérimentation	24
1.2	Matériel végétal.....	24
1.3	Matériels et produits chimique	25
1.4	Méthode (Préparation des échantillons)	25
1.4.1	Isolement et séparation de germe de blé tendre pur	25
1.4.2	Stabilisation thermique de germe de blé traité	26
1.4.3	La préparation de l'extrait	26
1.5	Méthodes d'analyse.....	28
1.5.1	Dosage des composés phénoliques.....	28
1.5.2	Test de piégeage du radical libre DPPH.....	30
1.6.	Analyse statistique	31
2.	Résultats et Discussion.....	32
2.1.	Rendement en extrait sec	32
2.2.	Teneur en polyphénols totaux.....	32
2.3.	Teneur en flavonoïdes.....	34
2.4.	L'activité antioxydante	35
2.5.	Discussion	38
2.5.1.	Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes.....	39
2.5.2	Évaluations du pouvoir antioxydant.....	40
	<i>Conclusion Générale.....</i>	42
	<i>Références Bibliographiques.....</i>	44

Liste des Figure

Figure 1: Phylogénie du blé tendre (Sellami, 2017).	4
Figure 2 : Diagramme schématique du grain de blé, illustrant les principales parties anatomiques. (Avec la permission du Wheat Food Council) (William et Finnie, 2017).	6
Figure 3: Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus du grain (adapté de Surget et Barron, 2005).....	7
Figure 4 : Les étapes de croissances de blé tendre.	9
Figure 5: Utilisations finales de la farine de blé par type de blé et protéines contenu.	10
Figure 6: Les tops dix contrée producteurs du blé en 2018.	11
Figure 7: Structure macroscopique de germe de blé tendre pur (ARZ) et (traité).....	24
Figure 8 : Les étapes d'isolement de germe de blé tendre pur.	25
Figure 9 : Les différentes étapes de la préparation de l'extrait.	27
Figure 10 : Dosage des composés phénoliques totaux (Ali-Rachedi et al, 2018)	28
Figure 11 : Dosage des flavonoïdes totaux (Zhishen et al ; 1999).....	29
Figure 12 : Dosage du radical libre DPPH.	31
Figure 13 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.	33
Figure 14 : Teneur en polyphénols de germe de blé de différente variété de blé tendre.	34
Figure 15 : Teneur en flavonoïdes de germe de blé de différentes variétés de blé tendre.	35
Figure 16 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de L'acide ascorbique.....	36
Figure 17 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de germe de blé traité.	36
Figure 18 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de germe de blé pur.....	37
Figure 19 : Histogramme de pouvoir d'antioxydant des différents extraits de germe de blé tendre. .	38

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification botanique du blé tendre (Feuillet, 2000).	2
Tableau 2 : Différences entre un blé tendre et un blé dur (Aidani, 2015).	5
Tableau 3: Représentation schématique de la distribution des composés d'intérêt nutritionnel dans le grain de blé (adapté de Hemery et al, 2007).....	7
Tableau 4 : Classes de blé et leurs caractéristiques générales et utilisations principales.	10
Tableau 5 : teneur en minéraux du germe de blé (base de poids sec).	13
Tableau 6: Composition chimique du germe de blé.	14
Tableau 7 : le blé tendre pur et traité.	25
Tableau 8 : tableau représentatif regroupant le rendement, la couleur, et l'aspect physique en extrait sec.....	32
Tableau 9 : Teneur en poly phénols exprimée en mg EAG/g d'extrait sec.....	33
Tableau 10 : Teneur en flavonoïdes exprimée en mg d'EC/g d'extrait sec.	34
Tableau 11 : Le pouvoir antioxydant (IC ₅₀ exprimé en mg /ml) des différents extraits de germe de blé.	37

Abbreviation

- SWW:** Soft White Winter (hiver Blanc doux).
- SRW:** Soft Red Winter (hiver rouge doux).
- HRS:** Hard Red Spring (printemps rouge dur).
- HRW:** Hard Red Winter (hiver rouge dur).
- HW:** Hard White (Blanc dur).
- SW:** Soft White (Blanc doux).
- FAO :** Fondation Alimentaire Organisation.
- GB :** Germe de blé.
- HGB :** L'huile de germe de blé.
- CNK :** Cell Natural killer (Cellules tueuses naturelles).
- DWG :** Le germe de blé dégraissé.
- GBP:** Germe de blé tendre pur.
- AAR :** L'activité anti-radicalaire.
- ABS:** Absorbance.
- GB :** Germe de blé.
- TNF :** Tumor necrosis factor (les facteurs de nécrose tumorale).
- ITGC :** Institute technique de grande culture céréalière.
- NaNO₂ :** Nitrite de sodium.
- ALCL₃ :** Trichlorure d'aluminium.
- NaOH :** Hydroxyde de sodium.
- DPPH :** Diphényle Picryl Hydrazyl.
- IC₅₀ :** concentration inhibitrice médiane.
- GBT :** germe de blé tendre traité.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Les céréales jouent un rôle important dans la nutrition humaine, soit pour la cuisson, soit comme matière première pour obtenir de la farine à cuire. Botaniquement, ils appartiennent à la famille des Graminées, qui comprennent le blé, le maïs, le riz, l'avoine, l'orge, le millet, le sorgho et le seigle. Le blé est l'un des principales céréales et ingrédients alimentaires dans le monde en raison de sa capacité à être moulu en farine. Le blé est une céréale omniprésente dans le régime alimentaire méditerranéen vue son intérêt énergétique et nutritionnel. De nos jours, les pays occidentaux s'intéressent de plus en plus à l'ajout d'un ingrédient fonctionnel naturellement enrichi en molécules bioactives, intéressant à incorporer dans des formules alimentaires. **(Jribi et al, 2018).**

Le germe de blé (GB) est largement reconnu comme matière première nutritive à incorporer dans les formulations de produits alimentaires ou comme un aliment à part entière.

Le germe de blé, un sous-produit nutritif de la minoterie constituant 2,5 - 3,0 g / 100g de la boîte de céréales être séparés sous une forme assez pure en utilisant un séparateur de germes ou par des ajustements appropriés dans les techniques de mouture.**(De Vasconcelos et al, 2013).**Le germe de blé (axe embryonnaire et *scutellum*) représente environ 2,5 à 3,8% du poids total des semences et est un sous-produit important de l'industrie de la minoterie **(Brandolini and Hidalgo, 2011)**. Est une partie du grain de blé (*Triticum vulgaris*) qui renferme l'embryon de la future plante. Il pourrait donc servir de source bon marché de matière première pour la nourriture et les industries oléochimiques, et donnerait également un pétrole stable pour diverses utilisations et applications, notamment shampoings, savons et sous-produits, margarine et salades et huiles de cuisson. Par conséquent, le germe de blé, avec son inhérent nutritionnelle, pourrait constituer une bonne alternative aux huiles végétales traitées dans les produits alimentaires. **(Awad et al, 2015).**

C'est un sous-produit principal de l'industrie de la mouture du blé, est considéré comme une source naturelle de nutriments hautement concentrés **(Ge et al, 2001)**. Ce produit est largement reconnu comme matière première nutritive à incorporer dans les formulations de produits alimentaires ou comme aliment à part entière. Les applications typiques sont dans le pain enrichi en germes, les grignotines et les suppléments aux céréales pour petit déjeuner et pour la production d'huile de germe de blé. Ce dernier, contenant environ 8% à 14% d'huile (en moyenne 10%), est principalement utilisé dans les industries alimentaires, médicales et cosmétiques comme source d'huile. **(Awad et al, 2015)**. Le germe est riche en graisses

polyinsaturées (qui ont tendance à s'oxyder et à devenir rances au stockage) et ainsi l'élimination des germes améliore les qualités de stockage de la farine (**McGee and Harols, 2004**).

Le germe de blé contient environ, 30% de protéines, 53% de glucides, 12% d'eau et 4% de cendres selon (**Shao-Tong and LiYa, 2011**). Ainsi, une source concentrée de plusieurs nutriments essentiels , dont la vitamine E , le folate (acide folique), le phosphore , la thiamine , le zinc et le magnésium , ainsi que les acides gras essentiels et les alcools gras, c'est une bonne source de fibre(**Cohen and Carson, 2003**). D'autres éléments importants de composés bioactifs, tels que tocophérols (300 - 740 mg / kg MS), phytostérols (24 - 50 mg / kg), policosanols (10 mg / kg), caroténoïdes (4 - 18 mg / kg), thiamine (15 - 23 mg / kg) et riboflavine (6 à 10 mg / kg). (**Shuda et al, 2007 ; Brandolini et Hidalgo, 2012**).

En fait, en raison de la nature complexe des composés photochimiques de germe de blé, son activité antioxydant doit être évaluée à l'aide de plusieurs tests couramment acceptés. Le domaine de la recherche en technologie alimentaire est toujours confronté à de grands défis pour trouver des moyens alternatifs d'ajouter de la valeur aux denrées alimentaires produites et, en outre, pour maintenir leur qualité et leur sécurité.

Notre mémoire est composé on deux parties : la première partie est consacré à une étude bibliographique comporte deux chapitres dont le premier est consacré à la généralité sur le blé tendre, et le second présente la qualité nutritionnelle du germe du blé. La deuxième partie présente une étude expérimentale suivie par les résultats et leur interprétation. Une conclusion et des perspectives sont enfin données. L'objectif de cette étude est d'évaluer par une étude comparative quelques paramètres phyto-chimiques en polyphénols et en flavonoïdes pour le germe de blé tendre pur et le germe de blé traité. Le potentiel antioxydant a été évalué aussi dans cette étude.

PARTIE
Étude BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur le blé tendre

1.1.1 Description

Le blé est une plante herbacée monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. Les deux espèces dominantes sont le blé tendre «*Triticum aestivum*» et le blé dur «*Triticum durum*». Ce fruit sec est constitué d'une graine unique intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient. Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui n'adhèrent pas à la graine et qui sont éliminées au moment du battage (Surget et Barron, 2005).

1.1.2 Taxonomie

La classification botanique du blé tendre est mentionnée dans le tableau suivant (Feuillet, 2000).

Tableau 1:Classification botanique du blé tendre (Feuillet, 2000).

Famille	<i>Gramineae</i>
Sous-famille	<i>Festucoideae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Sous-tribu	<i>Triticineas</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Nom commun	Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i> L.) Blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.)

1.1.3 Perspective historique

De toute évidence, le blé était l'une des premières et des plus cultures cultivées par l'homme. Il est généralement admis que le blé est originaire de la vallée du Tigre et de l'Euphrate et que la culture du blé comme culture vivrière a probablement commencé entre 10 000 et 8000 avant notre ère. Des tombes égyptiennes de 5000 ans ont été mises au jour qui contiennent des hiéroglyphes illustrant la récolte et le traitement de blé. Les records chinois de blé remontent à 2700 av. La rusticité de blé et la variété des formes alimentaires qu'il peut prendre ont en fait une partie véritablement universelle de l'alimentation humaine. (William et Finnie, 2017)

La diffusion des blés vers l'Afrique par la route la plus ancienne gagna l'Égypte vers 4 000 avant JC et se poursuivit vers le Soudan et l'Éthiopie, au sud, et vers la Libye à l'est.

D'autres voies d'introduction furent maritimes : à partir de la Grèce et de la Crète, certains blés sont arrivés également en Libye, d'autres, en provenance du Sud de la péninsule italienne et de la Sicile, parvinrent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie (Zettal, 2017).

1.1.4 Origine de blé

Le blé tendre est constitué de trois génomes possédant chacun 7 paires de chromosomes homologues, soit 42 chromosomes au total. Il possède une structure génomique hexaploïde (AA BB DD) et le blé dur une structure tétraploïde (AA BB). Le blé tendre d'un point de vue phylogénétique est issu de deux hybridations interspécifiques suivi d'un doublement chromosomique (Figure 1). Le croisement entre *Triticum monococcum* (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes. Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* (AA BB), ancêtre du blé dur. Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* et *Aegilops tauschii* (D) ce qui a donné un individu (ABD) possédant 21 chromosomes. Ce dernier a lui aussi subi un doublement chromosomique (AA BB DD) et c'est l'ancêtre de *Triticum aestivum*.

Le blé dur, qui est utilisé aujourd'hui pour faire des pâtes est également tétraploïde. Le blé tendre utilisé pour fabriquer la grande variété de produits à base de pâte et de pâtes aujourd'hui, est hexaploïde, ayant trois paires de chacun des sept chromosomes de base. (Sellami, 2017).

1.2 Types et classification biologique de blé

Trois espèces de blé sont cultivées le plus souvent aujourd'hui. Le premier, *T.aestivum*, forme les classes hiver rouge dur, printemps rouge dur, hiver rouge doux, blanc dur et Blanc doux. *T.compactum* comprend les blés massifs. La troisième espèce est *T.durum*, qui comprend les classes de blé dur et de blé dur rouge. Trois termes ensemble sont utilisés pour décrire les plus modernes *T.aestivum* types de blé. Le premier terme (c'est-à-dire «dur» ou «mou») se rapporte à la dureté du noyau. Le blé dur nécessite plus d'énergie pour être moulu que le blé tendre, car chaque noyau individuel nécessite plus de force pour l'écraser. Le deuxième terme (c'est-à-dire «rouge» ou «blanc») se rapporte à la présence ou absence de pigment rougeâtre dans les couches externes du noyau de blé

Un examen visuel suffit pour différencier ces deux types de blé. Le troisième terme (c.-à-d. «Hiver» ou «printemps») décrit généralement l'«habitude» de croissance du blé.

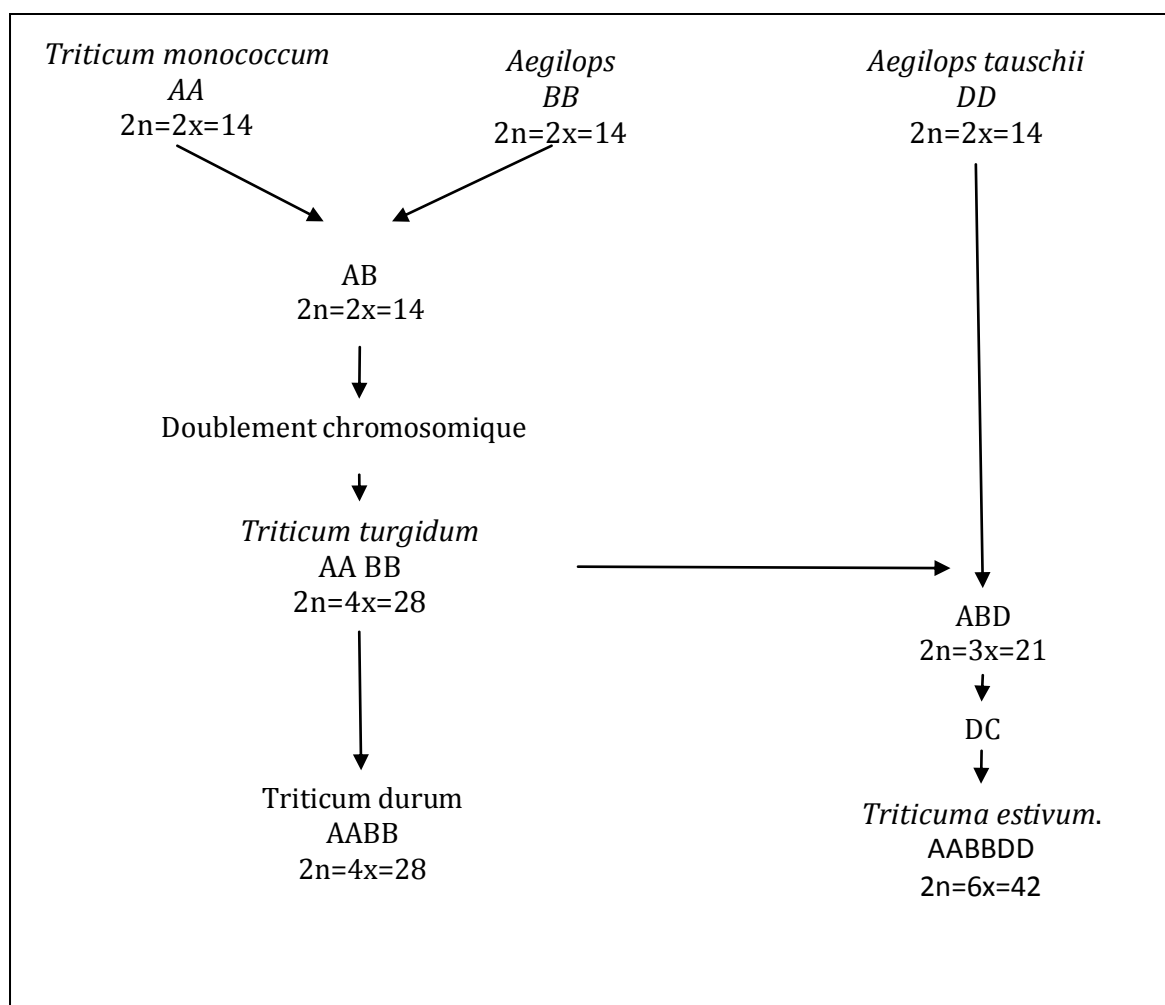


Figure 1: Phylogénie du blé tendre (Sellami, 2017).

Le blé d'hiver est planté à l'automne, pousse au printemps et est récolté dans l'été. Il nécessite une période de températures inférieures à zéro avant pour former les têtes qui contiennent finalement les grains de blé. Ce processus est connu sous le nom de vernalisation (du latin pour «printemps»). Printemps le blé ne nécessite pas de temps froid pour former des têtes et est généralement planté au printemps et récolté à la fin de l'été ou en automne. Toutes les combinaisons de saison de croissance, de couleur et de dureté sont possibles. (William et Finnie, 2017).

Les blés qui composent les deux autres espèces communément cultivées (*T. Durum* et *T. compactum*) sont nettement différents des espèces communes types de blé décrits ci-dessus. Le blé dur ne nécessite pas vernalisation et produit des grains beaucoup plus durs que le blé dur commun. De plus, les pigments jaunes souhaitables ne sont pas concentrés dans les couches externes du noyau dur, mais sont répartis dans l'endosperme entier. Les blés club

(club wheat) sont uniques en ce qu'ils sont toujours doux et ont généralement une faible teneur en protéines. Cependant, il existe des variétés d'hiver et de printemps de blé club, ainsi que des variétés blanches (William et Finnie, 2017).

1.3 Différences entre blé dur et blé tendre

Par ailleurs, le blé tendre et le blé dur se différencient au niveau de la forme, l'aspect de la plante, leurs utilisations etc. Les différences qui existent entre un blé tendre et un blé dur sont résumées dans le tableau 2. (Zettal, 2017)

1.4 Structure du grain de blé

Le grain de blé est une structure complexe avec de nombreux composants individuels (Fig. 2). Cependant, en ce qui concerne le traitement (c.-à-d. le fraissage), le grain de blé est divisé en trois régions anatomiques générales.

Tableau 2 : Différences entre un blé tendre et un blé dur (Aidani, 2015).

Caractère	Blé tendre	Blé dur
Aspect génétique	3 génome A,B et D $2n=42=3x (2 \times 7)$	2 génome A et B $2n=28=2x (2 \times 7)$
Prédominance	De l'amidon	Des protéines
Aspect de la plante	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles très étroite • Maturation rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles large • Maturation très longue • Moisson tardive exigeante du point de vue sol et climat.
Forme	<ul style="list-style-type: none"> • Texture opaque • Structure de l'amande farineuse 	<ul style="list-style-type: none"> • Texture vitreuse
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Obtention de la farine utilisée dans la fabrication du pain et des biscuits. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtention de la semoule à partir de laquelle on fabrique de la galette, du couscous et des pâtes alimentaires.

Les couches protectrices externes du noyau sont appelées collectivement fibre. Le son constitue environ 14% du grain en poids et est riche en fibres et en cendres (minérales). Le germe, l'embryon plante de blé, ne constitue qu'environ 3% du grain. La plupart des lipides et la plupart des nutriments essentiels du noyau sont concentrés dans le germe et contient des vitamines B et des minéraux.

Les α -tocophérols dont le pouvoir antioxydant a été démontré sont concentrés dans le germe ainsi que des stérols végétaux connus pour abaisser le taux de cholestérol (**William et Finnie, 2017**).

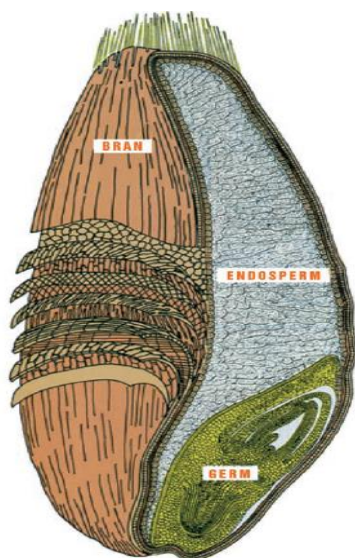


Figure 2 : Diagramme schématisé du grain de blé, illustrant les principales parties anatomiques. (Avec la permission du Wheat Food Council) (**William et Finnie, 2017**).

La partie intérieure restante du noyau est l'amidon ou endosperme de stockage. Il fournit l'énergie et les protéines pour la plante de blé en développement. Il se caractérise par sa teneur élevée en amidon et teneur modérément élevée en protéines (c'est-à-dire en gluten). L'endosperme est le composant majeur de tous les noyaux et est le principal constituant de farine. Enfin, une seule couche hautement spécialisée de cellules d'endosperme forme une frontière entre l'endosperme féculent et le son. (Fig.3)

Cette couche, appelée aleurone, est biologiquement beaucoup plus active que l'endosperme amylicé et a une activité enzymatique élevée. En raison de sa composition, de son activité et de son emplacement, il peut exercer une variété d'effets sur la fonctionnalité et la nutrition qualité de la farine. En raison principalement de son emplacement, l'aleurone est éliminée pendant la plupart des opérations de minoterie et constitue une partie importante du son (**William et Finnie, 2017**).

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%). Les autres constituants, pondéralement sont mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines. (**Nedjah, 2015**). (Tableau 3)

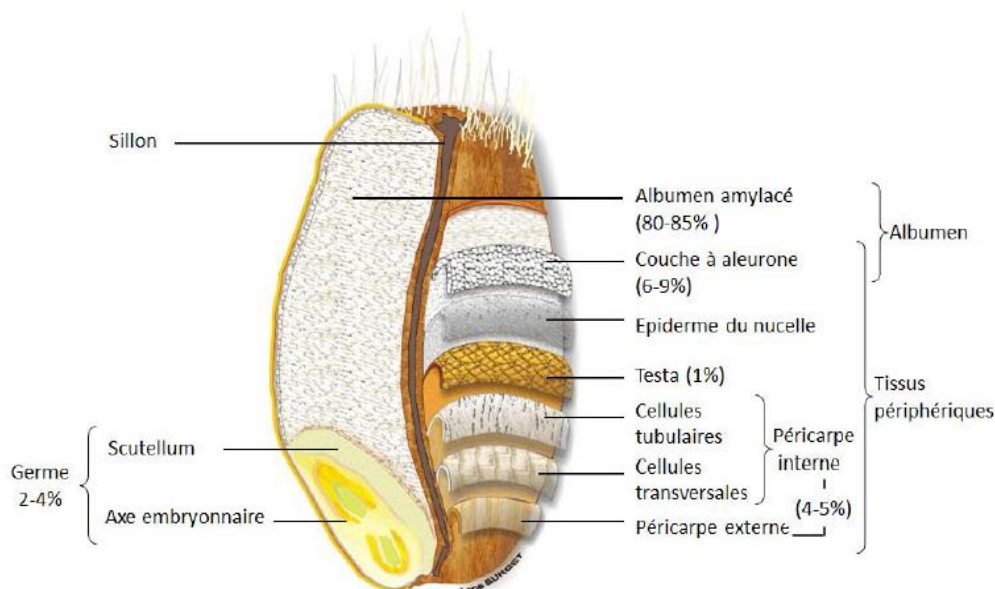


Figure 3: Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus du grain (adapté de **Surget et Barron, 2005**).

Tableau 3: Représentation schématique de la distribution des composés d'intérêt nutritionnel dans le grain de blé (adapté de **Hemery et al, 2007**).

	Tissus périphériques			Albumen amylicé	Germe
	Péricarpe	Testa	Aleurone		
Protéines	-	-	**	**	*
Lipides	-	*	*	-	***
Amidon	-	-	-	***	-
Fibres insolubles	***	***	**	*	**
Fibres solubles	-	-	*	**	*
Vitamines B	-	-	***	-	**
Vitamine E	-	-	*	-	**
Minéraux	*	*	***	-	**
Stérols végétaux	-	*	**	-	***
Phyto-oestrogène	-	-	***	-	-
Alkylresorcinols	-	***	-	-	-

*, **, *** indique si un composé est présent, concentré, ou fortement concentré dans un tissu. - : indique qu'un composé n'est pas présent dans le tissu ou en très faible concentration.

1.5 Germination et croissance

La germination est le processus qui initie la croissance de la graine, comme les grains des autres céréales, les graines de blé sont dormantes et doivent d'abord être soumises aux conditions environnementales (température et humidité) afin d'activer les hormones dans le germe et l'aleurone et initier la croissance. Ces hormones, à leur tour, régulent la production et la libération des enzymes régissant le processus métaboliques impliqués dans la croissance. Bien que la germination soit la première étape dans la production d'une nouvelle récolte de blé, la germination à des moments inappropriés entraîne des problèmes pour les fin utilisateurs de farine. Des conditions humides pendant une récolte peuvent provoquer les graines mûres germent au champ. Pendant la germination, l'activité enzymatique, notamment celle de l'amylase, augmente rapidement. Si le blé est récolté après avoir germé, on l'appelle le blé germé, et la farine à partir de cela crée souvent des problèmes importants de qualité des produits. (William et Finnie, 2017).

La croissance du blé est généralement divisée en quatre grands stades : tallage, extension de la tige, épiaison et maturation. Le tallage implique la production de plants de blé individuels. Chaque plante envoie des pousses et crée de nouvelles plantes (c.-à-d., talles). La deuxième phase l'extension de la tige est encore divisée dans les sous-étapes de jointure et de démarrage. Joints (c.-à-d. Nœuds) dans la tige devient clairement visible lorsque la tige s'allonge pendant jointure. La plupart du blé cultivé aujourd'hui est du blé semi-nain, qui atteint une hauteur d'environ 2 pis (61 cm) à maturité. Le blé semi-nain a été élevé pour maximiser le rendement et réduire les pertes dues à hébergement. Après l'apparition du deuxième et dernier nœud, l'épi de blé en développement gonfle dans la tige, créant ce qu'on appelle la «botte». La tête de blé sort de la botte pour initier la phase d'épiaison. La floraison a lieu à ce stade ; les étamines pollinisent les pistils, initiant ainsi le développement de nombreux blés individuels noyaux dans chaque tête. Enfin, lors de la maturation, les grains remplissent, devenant plus dure et plus sec au fil du processus. Les graines sont mûres mais ne sont pas stables au stockage avant d'être sèches. À la fin du stade de maturation, le blé est prêt à être récolté. Le temps entre la germination et la récolte peut varier selon le type de blé et les conditions de croissance, mais il s'agit généralement de trois mois pour le blé de printemps. Il est plus long pour le blé d'hiver en raison de sa dormance pendant les mois d'hiver. Pour le blé HRW et HRS, le temps moyen entre l'émergence des têtes et la récolte est environ un mois (William et Finnie, 2017).

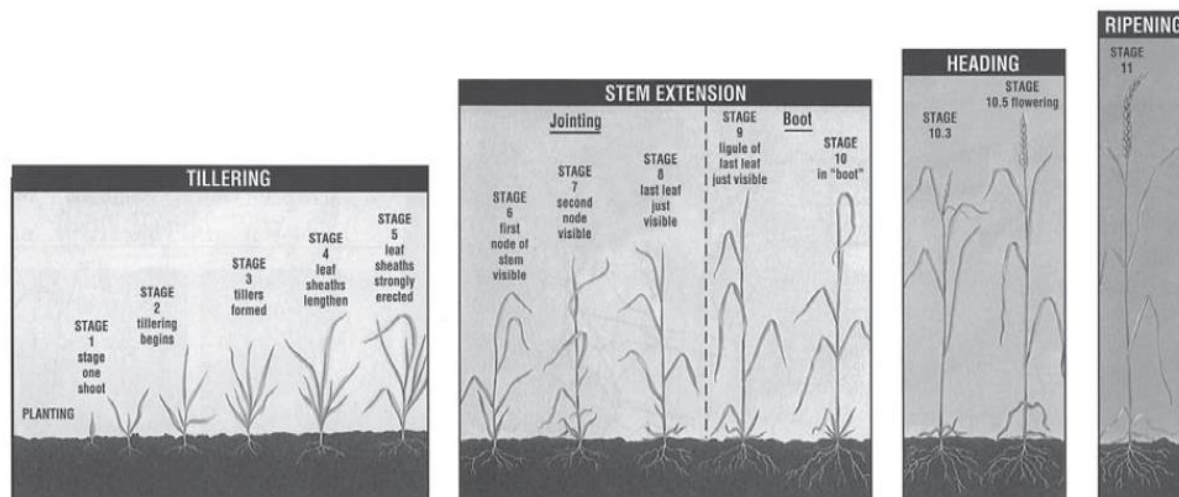


Figure 4 : Les étapes de croissances de blé tendre.

1.6 Consommation de blé et utilisations générale

Le blé est consommé dans le monde entier et une grande variété de produits en sont faits. Tous les types de blé ne conviennent pas à tous les produits. HRW, HW et Les blés HRS sont généralement utilisés dans la production de pains et produits à base de levure, à base de pâte. Cela est dû en grande partie à la capacité des pâtes à base de ces types de farine de blé à conserver gaz et donnent ensuite des structures en forme de pain et textures. SRW et SW sont couramment utilisés dans la production de gâteaux et autres produits à base de pâte ainsi que dans les craquelins, les céréales pour petit-déjeuner, et cookies.

La farine de ce type de blé ne produit généralement pas de produits intermédiaires ou finaux très élastiques. En conséquence, les textures des produits à base de blé tendre sont généralement peu moelleuses. Le blanc doux et les blés massifs sont utilisés dans des produits tels que les nouilles, où la présence de taches de son pigmentées dans le produit provoque une apparence répréhensible.

Le blé dur (*Durum*) est utilisé pour produire des pâtes telles que spaghetti et macaroni. La couleur jaune inhérente dans la semoule est considéré comme hautement souhaitable et est la norme pour les pâtes alimentaires. (William et Finnie, 2017). Le tableau 4 résume les caractéristiques et utilisations des différentes classes de blé. La figure 5 montre les utilisations du blé par classe et par niveau de protéines.

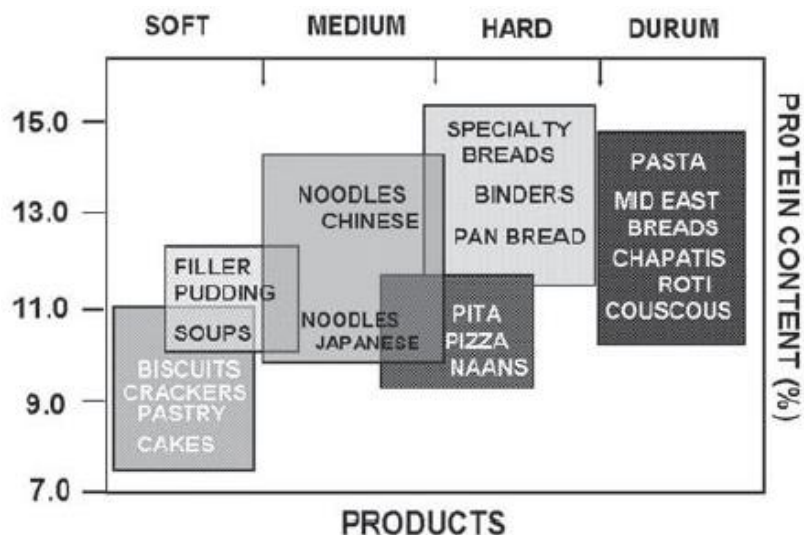


Figure 5: Utilisations finales de la farine de blé par type de blé et protéines contenu.

Tableau 4 : Classes de blé et leurs caractéristiques générales et utilisations principales.

Classe	Caractéristiques générales	Utilisations générales
Hiver rouge dur (HRW)	Riche en protéines, Fort en gluten, absorption d'eau élevée	Pain et produits associés
Hiver rouge doux (SRW)	Faible teneur en protéines, faible en gluten, faible absorption d'eau	Gâteaux, biscuits, pâtisseries, tarte croûtes, craquelins, biscuits
Printemps dur (HRS)	Très riche en protéines, fort en gluten, haute absorption d'eau	Pain, bagels, bretzels et Produits associés.
Blanc dur	Riche en protéines, Fort en gluten, absorption d'eau élevée, son manque de pigments	Pain et produits associés
Blanc doux	Faible teneur en protéines, faible en gluten, faible absorption d'eau, son manque de pigments	Nouilles, craquelins, gaufrettes, et d'autres produits dansquelles taches sont indésirables
Durum	Riche en protéines, gluten en fort, absorption d'eau élevée	Pâtes

Outre ces utilisations classiques du blé, des nouvelles utilisations à échelle industrielle apparaissent depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon. Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Ces bioplastiques ont l'avantage par rapport à leurs homologues d'origine fossile d'être biodégradables et renouvelables. L'amidonnerie, troisième secteur valorisant le blé en France, utilise l'amidon pour faire des épaississants

alimentaires. Par l'intermédiaire de la chimie, l'amidon a de multiples usages. Par exemple dans l'industrie pharmaceutique, il est utilisé en tant que dragéfiant, liant ou encore principe actif tel que le sorbitol. Dans de moindres proportions, l'amidon transformé peut être employé dans la fabrication de papier, de carton mais aussi de détergents.

L'amidon du blé tendre est également utilisé depuis plusieurs années comme matière première pour la fabrication de biocarburants. (Zettal, 2017)

1.7 Importance économique de graine de blé

Les dernières indications continuent de laisser présager une réduction de la production céréalière en 2018 et des perspectives négatives pour la campagne de commercialisation 2018-2019 à venir en ce qui concerne l'offre de céréales. Compte tenu de l'état des cultures déjà en terre et à condition que les conditions météorologiques soient normales jusqu'à la fin des campagnes agricoles de 2018, la production mondiale de céréales devrait s'établir selon les prévisions de la FAO à 2,586 milliards de tonnes (riz usiné compris), soit 64,5 millions de tonnes de moins (2,4 pour cent) que la production record de 2017.

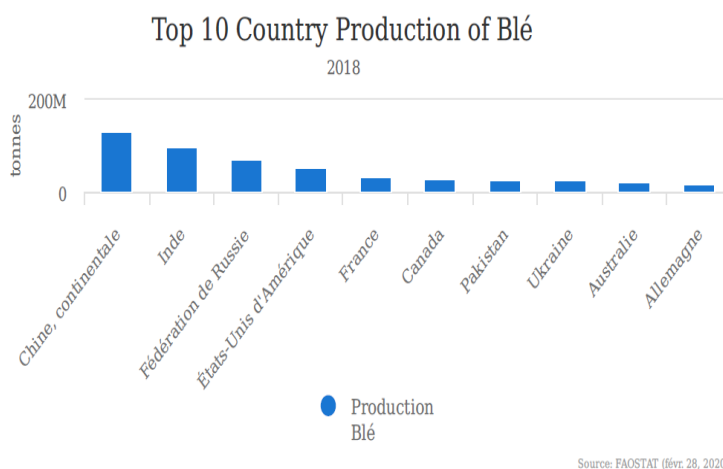


Figure 6: Les tops dix contrée producteurs du blé en 2018. (FAO, 2020).

Le classement de l'année 2018 des principaux premiers producteurs du blé indique que la Chine est toujours en première position. Et l'Inde en deuxième position, les Etats unis se situent en quatrième position après La Russie (FAO, 2020).

L'UE et le continent américain sont excédentaires en blé, ce qui leur confère un avantage économique et géopolitique indéniable. Au contraire l'Afrique apparaît déficitaire, ce qui

renforce leur dépendance à l'égard des grands pays exportateurs. Le marché mondial du blé est segmenté en différents groupes de pays qui ont diverses capacités de production et de consommation de blé, ce qui rend ce marché plus propice à la volatilité des prix. Seulement 19% de la production mondiale du blé est échangée et il s'agit d'un marché de surplus et d'excédent. (FAO, 2020).

1.7.1 Le blé dans le contexte national

Le blé étant le produit de consommation de base, les habitants des pays maghrébins sont les plus gros consommateurs de cette denrée au monde notamment l'Algérie avec près de 600 grammes par personne et par jour. Cette consommation de blé a légèrement augmenté ces dernières années en raison de l'urbanisation accrue, de la croissance de la population et de l'augmentation de la capacité de broyage, mais devrait rester plus ou moins stagnante (Hales et Rush, 2016). Selon la FAO durant l'année 2014 l'Algérie est classée en quatrième position au niveau Africaines et à la dix-septième position au niveau mondial avec une production du blé de 2.4 millions de tonnes, colletée est constituée en moyenne de blé dur 58,7%, blé tendre 33% (FAO, 2014).

En 2018 la production de l'Algérie a légèrement augmenté à 3.9 million de tonnes. Sur le plan économique, la valeur de la production de la filière céréalière a enregistré, durant cette année. Une évolution significative, en passant de 135,3 milliards de dinars en 2017 à 220,2 milliards en 2018, soit une hausse de 63% par rapport à la campagne précédente selon le Ministère de l'Agriculture, 2018.

1.7.2 L'importation de blé en Algérie:

Sur le marché mondial, l'Algérie demeure toujours parmi les grands importateurs de céréales (en particulier le blé dur et le blé tendre) du fait de la faible capacité de la filière nationale à satisfaire les besoins de consommation croissants de la population (Ammar, 2014). La France est le premier ainsi que le principal fournisseur de l'Algérie en blé tendre avec 5 millions de tonnes pendant l'année 2018 et 3 millions de tonnes à la même période de 2017, suivi de l'Argentine (1,2 millions de tonnes en 2018 et de 2017). En blé dur, le principal fournisseur de l'année 2018 est le Canada avec 888 996 tonnes contre 1,2 millions de tonne à la même période de l'année 2017. Suivi par les états unis d'Amérique soit 145 165 tonnes en 2018 contre 212 142 tonnes à la même période de l'année précédente (soit une diminution de 30%) (Onfaa, 2017).

2.1. Définition Le germe de blé (axe embryonnaire et scutellum) représente environ 2,5 à 3,8% du poids total des semences est un sous-produit important de l'industrie de la minoterie, il est chargé d'aider la plante à se reproduire et à engendrer du nouveau blé. Bien qu'il soit retiré de la plupart des produits de blé transformés, c'est un composant nutritionnel majeur du blé à grains entiers, c'est la partie la plus riche en vitamines et en minéraux du grain de blé. Il est disponible sous forme liquide et gel cap. Il peut être utilisé comme additif alimentaire ou comme complément nutritionnel. (Olsen, et al, 2017 ; Brandolini et Hidalgo, 2011).

2.2. Composition biochimique de germe de blé

La composition chimique approximative moyenne du germe de blé était de 10,80%, 26,50%, 8,56% et 4,18% pour l'humidité, les protéines brutes, les matières grasses brutes et les cendres respectivement, sur une base sèche selon une étude présentée par (Bilgicli et al, 2006 ; Bilgicli et Ibanoglu, 2007).

✓ Composition en minéraux

La concentration des minéraux du germe de blé est classée par ordre décroissant comme suit: potassium, phosphore, sodium, magnésium, calcium, zinc, manganèse, fer et cuivre. Le minéral le plus abondant était le potassium.

Tableau 5 : teneur en minéraux du germe de blé (base de poids sec).

Contenu des nutriments dans Germe de blé	
(mg / 100g)	
Calcium	83.5
Phosphore	898.3
Potassium	981.4
Magnésium	310.9
Fer	6.75
Zinc	13.24

Une étude faite par (El-Manfaloty, 2010) a indiqué que la composition minérale moyenne du germe de blé brut était de: 9,07, 11,24, 1,59, 17,38, 312, 100, 70, 440, 705, 344, 300 (mg / 100 g) pour Fe, Mn, Cu, Teneur en Zn, Mg, Ca, Na, K, P, S et Se respectivement.

✓ Composition en acides aminés

L'acide aspartique et l'acide glutamique sont les principaux acides aminés abondants dans le germe de blé. Les acides aminés essentiels présente dans le germe de blé sont : Thréonine ; méthionine ; la lysine ; la valine, l'isoleucine la leucine et le tryptophane. La composition d'acide aminé indique que le germe de blé est une bonne source d'acides aminés.

(El-Manfaloty, 2010), a constaté que le germe de blé brut contenait les acides aminés essentiels: 4,06, 10,47, 10,26, 2,08, 5,03, 2,54, 1,80; et 6,21 (g / 100 g) pour l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane et la valine.

- ✓ **Les enzymes** la présence importante en lipoxygénase et la lipase
- ✓ **La composition en lipides** riche en triglycérides (57% des lipides totaux), principalement en acides linoléique (18: 2), palmitique (16: 0) et oléique (18: 1), mais en quantités pertinentes de stérols, mono- et diglycérides, des phospho et glycolipides , d'acides gras oméga-3 sont présents.
- ✓ Riches en fibres solubles et insoluble. En flavonoïdes comme composés secondaires et certaines vitamine plus particulièrement vitamine E.

Tableau 6:Composition chimique du germe de blé.

Paramètre (%)	Humidité	Cendre	Gras brute	Protéine brute	Fibre brute	L'hydrate de charbon carbohydate	Valeur énergétique des aliments (Kcal/100G)
Poids humide	12.63 ±0.19	3.08 ± 0.18	8.99± 0.32	27.69 ±0.44	1.54 ±0.18	46.07	375.95
Poids sec	0.0	3.53	10.29	31.69	1.76	52.73	430.30

2.3. L'importance et la valeur nutritionnelle de germe de blé

Parce qu'il est destiné à nourrir la nouvelle plante, le germe de blé regorge de bons nutriments. Cet aliment contient une teneur élevée en vitamines.

➤ Vitamines de groupe B

Le germe de blé regorge de vitamines B importantes, comme le folate, la vitamine B1 (thiamine) et la vitamine B6. Les vitamines B sont importantes pour le cœur, pour fabriquer des produits chimiques de bonne humeur pour notre cerveau et sont essentielles pour la santé cardiovasculaire. (PinaLoGiudice et Bongiorno, 2018).Le germe de blé est la partie la plus

riche en nutriments de la graine de blé. C'est l'une des rares parties de la plante dans la nature dans laquelle se trouve tout le complexe de vitamine B.

➤ Vitamine E

Le germe de blé contient beaucoup de vitamine E. Cette vitamine sert de puissant antioxydant qui protège l'huile de germe de blé de devenir rance trop rapidement. La vitamine E est un antioxydant qui peut protéger les membranes cellulaires, les cellules du cerveau et les molécules de cholestérol des dommages des radicaux libres. Les dommages des radicaux libres contribuent grandement à l'accumulation de plaque dans les artères, appelée athérosclérose. La vitamine E peut aider à arrêter ce processus.

La vitamine E protège non seulement les graisses, le cholestérol et les membranes cellulaires contre les dommages, mais elle est également importante pour une bonne détoxification du foie, une fonction immunitaire et un contrôle de la glycémie chez les individus sains et diabétiques. **(PinaLoGiudice et Bongiorno, 2018)**.

El-Manfaloty, 2010, ont indiqué que le germe de blé brut contenait 10343,23 UI / 100 g (vitamine A); 1312 UI / 100 g (vitamine E); et 98,45 mg / 100 g (vitamine C).

D'autres vitamines ont été constatés que les vitamines moyennes du germe de blé étaient $(2,00 \pm 0,042)$, $(0,22 \pm 0,036)$ et $(7,40 \pm 0,35)$ mg / 100g pour les teneurs en thiamine, riboflavine et niacine respectivement **(El-Manfaloty, 2010)**.

➤ Fibre

Il contient beaucoup de fibres, ce qui est nécessaire au bon équilibre glycémique, au contrôle du cholestérol, à la santé intestinale et à la détoxification. **(PinaLoGiudice et Bongiorno, 2018)**.

➤ Phytostérols

Les phytostérols sont en fait des composés stéroïdes similaires au cholestérol. Ces phytostérols peuvent réduire le cholestérol malsain et favoriser un cœur sain. Le germe est l'une des sources les plus robustes de phytostérols, et qui peut en effet être un super aliment pour abaisser votre mauvais cholestérol LDL. Une étude française de 1992 a révélé que la consommation de 30 grammes, ou environ un quart de tasse, de germe de blé brut par jour pendant 14 semaines a fait baisser le cholestérol total de 7,2%. Il a également fait baisser le LDL ou «mauvais» cholestérol de 15,4% et les triglycérides une molécule de graisse et de sucre dans votre sang de 11,3%. **(PinaLoGiudice et Bongiorno, 2018)**

Une autre étude de 2003 de l'American Journal of Clinical Nutrition a montré que si vous supprimiez les phytostérols du germe de blé, vous n'obtiendrez pas le même effet

hypocholestérolémiant. Cela nous montre que les phytostérols sont les composés nécessaires pour abaisser le cholestérol. **(PinaLoGiudice et Bongiorno ,2018)**

➤ **Acides gras sains**

Le germe de blé est une bonne source d'acides gras oméga-3. Les acides gras oméga-3 peuvent aider à réduire le cholestérol, à réduire l'inflammation et à soutenir un système nerveux sain qui peut réduire les niveaux d'anxiété et améliorer l'humeur. **(PinaLoGiudice et Bongiorno, 2018).**

➤ **Les minéraux**

Le germe de blé contient également des tonnes de minéraux, notamment du fer, du zinc, du magnésium, du calcium, du sélénium et du manganèse. Les minéraux sont des cofacteurs que notre corps utilise pour se réparer et exécuter les réactions chimiques qui nous maintiennent en bonne santé. **(PinaLoGiudice et Bongiorno ,2018).**

2.3.1. Raisons d'éliminer le germe de blé pendant la mouture

Le germe de blé est limité par le développement rapide de la rancidité après isolement du grain **(Li et al. 2016)** à cause de la présence de graisses insaturées ainsi que des enzymes hydrolytiques et oxydantes favorisent la dégradation rapide du germe de blé **(Xu et al, 2013)**. Les enzymes, la lipoxygénase et la lipase détériorent les molécules de lipides générant de l'acidité et des composés volatils **(Capitani, Mateo et Nolasco, 2011; Sjövall et al, 2000)**. Par conséquent, une fois séparés GB, la durée de sa conservation est considérablement réduite à quelques jours, ce qui constitue la principale limitation aux applications industrielles du GB **(Sjövall et al, 2000)**

Le germe de blé est donc généralement éliminé lors de la mouture des grains de blé pour augmenter la durée de conservation de la farine et empêcher l'apparition d'une saveur forte des huiles rances dans la farine **(Genget al, 2015)**. Par conséquent, sa présence dans la farine affecte négativement sa stabilité et sa facilité d'utilisation **(Rizzello et al, 2010)**, et la stabilité des produits finaux et les attributs sensoriels **(Sjövall et al, 2000)**.

2.3.2. Des progrès dans la séparation des germes de blé

La séparation des germes de blé peut être réalisée selon deux approches principales : directe et progressive. La dégermination est une approche directe, qui pourrait fournir un germe de blé intact. Quant à l'approche indirecte, le germe de blé est progressivement séparé sous forme de flocons, à travers les passages successifs tout au long du processus de broyage.

1-Approche directe

La dégermination : Le but du dégermineur est d'éliminer le germe sans broyage excessif (dégerminateures). Avant la dégermination, une phase de revenu du grain est nécessaire pour atteindre un taux d'humidité allant de 19% à 25%, selon le degré de dégermination. Les dégerminateures écrasent d'abord les grains de leurs bords fins pour séparer le germe et l'endosperme sans endommager le germe.

2- Approche indirecte

Séparation progressive : L'objectif du processus de mouture est de séparer le son et le germe de l'endosperme et de convertir l'endosperme en farine fine. Il est structurellement une entité distincte à la base du noyau, mais il est en partie intégré dans l'endosperme. Pour séparer correctement le germe de blé de l'endosperme et éviter la rupture des parois cellulaires, l'action de la machine doit être soigneusement ajustée pendant les phases de broyage et la séparation est réalisée progressivement.

L'approche indirecte contient 4 méthodes

- **Première transformation du blé** broyage sur pierre unique: c'est la méthode traditionnelle utilisée pour le broyage du blé. Il consiste à frotter les grains entre deux pierres circulaires épaisses et lourdes pour produire de la farine de blé entier. Par conséquent, le processus de broyage conventionnel ne permet pas la séparation entre le germe, le son et l'endosperme, au contraire, ils sont complètement mélangés.

- **Méthode conventionnelle** broyage-tamisé multiple Le processus de mouture consiste à casser, racler et réduire le grain en farine (**Sakhare et Inamdar, 2014**). Le grain passe progressivement à travers les broyeurs. Pendant le broyage, les grains sont cassés et l'endosperme adhérent est gratté des couches de son. Après chaque passage de broyage, les intermédiaires sont tamisés et fractionnés en endosperme fin, son et germe, en fonction de la taille des particules. Les restes sont à nouveau broyés puis tamisés jusqu'à ce que l'endosperme soit moulu en farine fine. Dans ce cas, une séparation totale du germe n'est pas possible car certaines particules de germe résiduelles adhèrent à l'endosperme ou au son.

- **Transformation moderne du blé** système de cassure : La mouture moderne repose sur 4 étapes clés:

- 1) le système de cassure : Le système de rupture est composé de plusieurs passages de broyage successifs (un ensemble de broyeurs / rouleaux.

2) le système de dimensionnement : permettent de séparer les gros morceaux d'endosperme des petits morceaux de germe et de son en raison des différences de forme entre les parties anatomiques du grain de blé (**Fistes et Rakić, 2015**).

3) le système de réduction : est un ensemble de rouleaux permettant de réduire l'endosperme dans une farine finement blanche.

4) le système de résidus : queue est un ensemble de purificateurs, qui assurent la séparation des particules de son de l'endosperme récupéré des systèmes précédents pour produire une farine exempte de germes et de son (**Sakhare et al, 2014**).

Dans l'ensemble, la séparation complète du germe est difficile car il n'y a pas de ligne de clivage entre le germe, la couche d'aleurone et l'endosperme (**Sakhare et al, 2014**). Le germe récupéré est en fait l'axe embryonnaire du grain de blé, tandis que le scutellum est laissé attacher au son (**Finnie et Atwell, 2016**). Le rôle des purificateurs est important et nécessite une surveillance et un ajustement constants (**Posner et Hibbs, 2005**).

Transformation moderne du blé décorticage dans le blé tendre (*T. aestivum L.*), ce processus n'élimine pas les tissus du noyau de manière homogène, et par conséquent une quantité importante d'endosperme féculent est perdue. Ainsi, en raison de sa structure plus fragile / plus faible, Le détartrage du blé est un traitement de pré-mouture qui permet une élimination progressive des couches de grain n'est généralement pas adopté pour la mouture de blé tendre. Par conséquent, l'efficacité de la séparation des germes dépend de la forme du grain, du nombre de passages (broyage et calibrage) et du savoir-faire du meunier.

2.4. Les techniques de stabilisation et de conservation de germe de blé

L'Importance de la stabilisation

Lors de la séparation industrielle des germes de blé, sa structure se trouve altérée. Il s'ensuit une mise à découvert des substances actives, surtout des lipides, particulièrement riches en acides gras polyinsaturés. S'ils ne sont pas immédiatement stabilisés, Ces lipides sont oxydés et dégradés par les enzymes lipolytiques du grain, se traduisant par un rancissement et une augmentation en acidité. Il s'avère nécessaire de stabiliser les germes de blé par une méthode appropriée aussitôt après le passage au moulin, afin de protéger leur richesse naturelle en substances biologiquement actives. (**Aboudaou, 2011**)

L'extraction des lipides

L'extraction des lipides des germes de blé est réalisée à l'aide de solvants organiques, en général l'hexane. Ce procédé entraîne une perte complète de la fraction lipidique (vitamine E,

Acides gras polyinsaturés, lécithines, stérols,...).Ce procédé est principalement utilisé aux Etats-Unis. (Aboudaou, 2011).

Le séchage

Les germes sont séchés en tambour à une température d'environ 100 °C. La diminution de la teneur en eau et l'inactivation partielle des enzymes permet une légère augmentation de la stabilité et préconise une température allant de 100 /130 °C pour 2-3h ou bien 200°C pour 8 à 12 min on peut également utiliser le four micro-onde à 750 W de puissance pendant 4 à 5 min ou à la puissance de 700 W à 110°C pendant 12 min (Pinarli et al, 2004).

Pour (Arshad et al, 2007) une température de 130 °C à 160°C pendant 20 à 25 min suffira largement pour détruire toute activité enzymatique.

Le grillage ou traitement par I.R

Les germes sont soumis à un rayonnement infrarouge qui permet l'inactivation des enzymes. L'intensité de l'ionisation est cependant relativement irrégulière menant à des variations de qualité du produit. (Aboudaou, 2011).

Le pressage à froid

C'est le procédé le plus doux. Les germes frais sont pressés dans une presse à vis traditionnelle .Par l'énergie thermique provenant de l'énergie mécanique, les enzymes sont inactivés. En outre, la fraction lipidique particulièrement sensible (huile de surface) est éliminée. La surface est scellée et les substances actives sensibles sont ainsi protégées. (Aboudaou, 2011).

La déshydratation par utilisation de tambours rotatifs

Le germe de blé est transformé en boue dans de l'eau dans une ration (1:3). Après un repos de 3 à 5 min un mixage et un passage sur deux tambours rotatifs de 15 cm de diamètre et 25 cm de long. Ces tambours chauffés à la vapeur entre 125 °C à 130 °C sous une Pression de 3 à 5×10^5 Pa et tournant à une vitesse de 4 à 6 tours par minute permettent de déshydrater le germe et d'inhiber tout le système enzymatique. (Aboudaou, 2011).

Séchage sur lit fluidisé

Le germe de blé est séché sur un dessiccateur à lit fluidisé à 240 °C pendant 1min puis refroidi à la température ambiante et stocké dans des films en polypropylène (Aboudaou, 2011).

2.5. Importance de germe de blé à l'échelle de l'industrie alimentaire et pharmaceutique

Le germe de blé est potentiellement un complément alimentaire nutritif, ainsi qu'une excellente source brute pour la préparation d'aliments tels que le pain les biscuits (**Bajaj et al.1991**) muffins (**Turnbough et Baldwin.1986**), produits à base de viande hachée (**Gnanasambandan et Zayas, 1994**), etc. De plus, l'huile obtenue à partir du germe est largement utilisée pour la production de vitamines (par exemple l' α -tocophérol) dans l'industrie des médicaments et des cosmétiques (**Barnes,1983**), ainsi que dans les denrées alimentaires, les aliments pour animaux et aussi comme agent de lutte biologique contre les insectes. Tandis, le germe de blé dégraissé et les protéines de germe de blé sont des ingrédients utiles pour plusieurs produits alimentaires, notamment la viande transformée, les céréales et les produits de boulangerie, les aliments et les boissons extrudés riches en protéines (**Hassan et al. 2010**).

La majeure partie du germe de blé produit dans le monde lors de la mouture du blé est utilisée comme complément alimentaire dans la formulation des aliments pour animaux (**Ge et al. 2000**).

2.6. Les effets thérapeutiques de germe de blé

Pour des nutriments indispensables

Le germe de blé est riche en protéines (30 %) et en fibres (14 %), c'est sur tout sa richesse en vitamines (E, B1, B6, B9) et en minéraux (zinc, magnésium, fer...) qui fait tout son intérêt. Ainsi, deux soupes de germe de blé permettent de couvrir le tiers des apports journaliers recommandés en vitamine E (puissant antioxydant qui protège les cellules du vieillissement), le tiers des apports en zinc (qui protège des infections et favorise la cicatrisation) et le quart des apports en magnésium (anti stress, antifatigue). C'est aussi l'un des aliments les plus riches en phytostérols (des composés végétaux qui font baisser le cholestérol), et en lutéine (un antioxydant protecteur de la rétine). (**Godineau, 2014**).

En plus, Le germe de blé regorge de nutriments et de vitamines et peut avoir un impact significatif sur divers effets anti-âge tels que la qualité de la peau et la perte de cheveux.

Les vitamines présentes dans le germe de blé sont essentielles au métabolisme cellulaire, car elles aident à transformer les éléments nutritifs provenant des glucides, des lipides et du glucose en énergie consommable pour les cellules. La thiamine peut également lutter contre

les troubles métaboliques tels que l'obésité chronique. Un métabolisme fonctionnel supérieur signifie une énergie plus naturelle, ainsi qu'une perte de poids, une force et une vigilance plus efficaces. (**Godineau, 2014**).

Pour renforcer le système immunitaire

Des résultats expérimentaux utilisant des hydrolysats de protéines de germe de blé suggèrent que le germe de blé pourrait augmenter positivement l'activité antioxydant dans les systèmes organiques. Les antioxydants recherchent et détruisent les radicaux libres et autres micro-organismes responsables de maladies dans le corps, réduisant ou éliminant les risques de maladie grave. Il a été démontré que les germes de blé contiennent naturellement de fortes concentrations de ces hydrolysats qui stimulent les antioxydants au sein du système immunitaire.

Pour améliorer la santé cardiaque

La consommation régulière de blé entier et de germe de blé alimentation augmente la quantité des fibres alimentaires qui réduire les facteurs de risque associés aux maladies coronariennes et améliorer la santé de l'ensemble du système cardiovasculaire.

La présence d'octacosanole dans le germe de blé réduisait le taux de cholestérol, diminuant ainsi les risques d'accident vasculaire cérébral et d'autres problèmes nocifs.

Des niveaux élevés d'acides gras oméga-3 dans les germes de blé ont pour effet d'annuler les effets négatifs des acides gras oméga-6, protégeant votre système cardiovasculaire (**Info, 2019**).

Prévient le cancer

L'ajout de germe de blé ou de certain types d'extraits de germes de blé à notre alimentation peut vous aider à réduire les facteurs de risqué de plusieurs types de cancer.

Une étude menée par (**Judson et al. 2012**), a noté les effets chimio préventifs de l'extrait de germe de blé contre le cancer épithélial de l'ovaire au stade avancé. Une autre étude réalisée par des chercheurs Allemands en 2011 soutient les avantages anti cancéreux (extrait de germe de blé). (**Mueller et Voigt, 2011**). Il a été démontré qu'il interrompait le métabolisme du glucose à un niveau fondamental et inhibait l'expression de diverses kinases, qui stimule l'activité cancéreuse dans les cellules. L'étude montre que les sujets testés dont l'extrait de germe de blé est dans leur régime alimentaire ont augmenté la sécrétion de **TNF**(les facteurs de nécrose tumorale) par les macrophages et stimulé l'activité des cellules **NK** (cellules tueuses naturelles).

Ces deux avantages entraînent l'apoptose (mort cellulaire) des cellules cancéreuses et tumorales.

2.7. Effets secondaires du germe de blé

Pas favorable au gluten: un nombre croissant de la population ne peut plus manger de gluten, composant principal de grains comme le blé. Cette intolérance au gluten peut souvent être causée par des maladies telles que la maladie cœliaque. La consommation de gluten peut être douloureuse et nocive pour le tube digestif, voire mortelle dans certaines conditions extrêmes. Malgré les autres avantages nutritionnels du germe de blé, si vous devez suivre un régime «sans gluten», ne consommez pas de germe de blé ni d'extrait de germe de blé.

Riche en calories : En plus d'être riche en nutriments, le germe de blé est très calorique. Les avantages de ce germe peuvent être annulés si la consommation d'autres calories quotidiennes n'est pas surveillée, car un gain de poids et des problèmes de santé ultérieurs peuvent survenir.

Il est aussi contient certains composants antinutritionnels. Comparé à la farine raffinée, le GB non transformé est livré avec des concentrations plus élevées d'anti-nutriments (acide phytique, agglutinines). L'acide phytique complexe des minéraux importants pour la nutrition humaine, limitant ainsi leur biodisponibilité. **(PinaLoGiudiceet Bongiorno, 2018)** Les agglutinines, protéines de liaison au sucre qui augmentent la perméabilité intestinale et pourraient endommager la muqueuse intestinale, sont également présentes dans GB **(Pellegrina et al, 2009)**.

PARTIE EXPERIMENTALE

1 MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1 Objectif et déroulement de l'expérimentation

Objectif de cette étude porte sur une étude comparative de la valeur nutritionnelle de germe de blé tendre traité et le germe de blé tendre pur (Variété ARZ) par l'analyse des composés phénoliques, les flavonoïdes et l'étude de leur activité antioxydant par le test DPPH.

Pour cette étude expérimentale, les échantillons de germe de blé sont obtenus par deux manières différentes selon le procédé d'utilisation, pour le germe de blé tendre pur, c'est la dégermination, processus obtenu par une méthode de dissection manuelle, tandis que le germe traité provient directement des moulins qui possèdent des moutures avancés. Dans notre partie expérimentale, toutes les analyses et la méthode d'extraction ont été réalisées au niveau des laboratoires d'immunologie et de biochimie générale de l'université de Djillali Liabes de Sidi Bel Abbés.

1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal de notre étude comporte deux variétés de blé tendre, la variété ARZ provenant d'ITGC de sidi bel abbés pour l'étude de germe de blé pur et le blé tendre traité par L'O.A.I.C de Sidi bel Abbés pour l'étude de germe de blé traité qui a été traité au moulin Habour à Oran.

Le germe de blé obtenu doit être conservé à une température 5 C°, afin de prolonger la durée de sa conservation et éviter le rancissement (se pourrir) jusqu'au moment de l'analyse.



Figure 7: Structure macroscopique de germe de blé tendre pur (ARZ) et (traité).

A : Le germe de blé pur (ARZ) ; B : Le germe de blé (traité).

Tableau 7 : le blé tendre pur et traité.

Blé tendre pur	ARZ	ITGC de sidi bel abbés
Blé tendre traité	Traité	Traité par O.A.I.C ; Habour. Oran

1.3 Matériels et produits chimique

➤ Matériels

Les équipements utilisés dans le cadre de notre travail sont :

Boîte de pétri, pince, pipette, scalpel, balance de précision, rota-vapeur, étuve, plaque chauffante, agitateur, centrifugeuse, vortex.

➤ Produits chimiques

Les réactifs utilisés dans notre travail sont : DPPH (2,2diphenyl-1-picrylhydrazyl), le réactif de folin-ciocalteu, l'acide ascorbique, l'acide gallique, carbonate de sodium, chlorure d'aluminium, hydroxyde de sodium, nitrite de sodium, méthanol .

1.4 Méthode (Préparation des échantillons)

1.4.1 Isolement et séparation de germe de blé tendre pur

Le germe de blé a été disséqué manuellement à partir du grain mur avec une très grande précision et délicatesse, le germe doit être coupé de manière à éviter que l'endosperme se mélanger avec le germe pendant la dissection pour éviter d'obtenir des faux résultats pendant l'analyse. Après avoir coupé le germe du l'endosperme, il doit être conservé au réfrigérateur et non laissé à température de +5°C pour éviter son pourrissement.



Figure 8 : Les étapes d'isolement de germe de blé tendre pur.

- A : Les grains de blé tendre (ARZ) utilisés dans l'expérience provenant d'ITGC de sidi bel abbés.
 B : Disséquation manuelle des grains de blé tendre (ARZ).
 C : Le germe de blé tendre (ARZ) enlevé.
 D : Conservation au réfrigérateur de germe de blé tendre (ARZ).

1.4.2 Stabilisation thermique de germe de blé traité

Après la récupération de germe de blé du moulin, sa durée de vie est très limitée à cause de sa richesse en lipides, de sa teneur en humidité (10,62%) et de sa richesse en enzymes. Le germe de blé, pour être stabilisé subit un traitement thermique pour ramener son humidité à 5,58% en moyenne et pour inhiber les enzymes de dégradation. Plusieurs travaux ont été réalisés sur les techniques de stabilisation. (Aboudaou, 2011).

Le protocole retenu est celui de (Arshad, 2007), qui consiste à placer le germe dans un four ventilé à 130 °C, pendant 20min. Ce processus permet d'éviter la détérioration de la composition du germe de blé.

1.4.3 La préparation de l'extrait

La préparation de l'échantillon se fait par quatre étapes :

- ❖ **Macération** une masse de 30g de chaque échantillon est mise à macérer dans 100ml d'éthanol à 70%, après l'échantillon subit une agitation pendant 24heures. **Figure 9(A)**.
- ❖ **La filtration** après 24heures d'agitation, les mélanges ont été séparés par la filtration. **Figure 9 (B ; C)**.
- ❖ **L'évaporation** les extraits sont par suit été évaporés à sec à l'aide d'évaporateur d'environ 45C. **Figure 9 (D ; E)**.
- ❖ **Séchage** l'extrait va compléter sécher dans l'étuve pendant 24 heures, afin de l'extrait ne perde pas ses composés phénolique avec l'eau pendant l'évaporation. **Figure 9 (F)**.
- ❖ **Conservation** la conservation se fait dans le réfrigérateur.

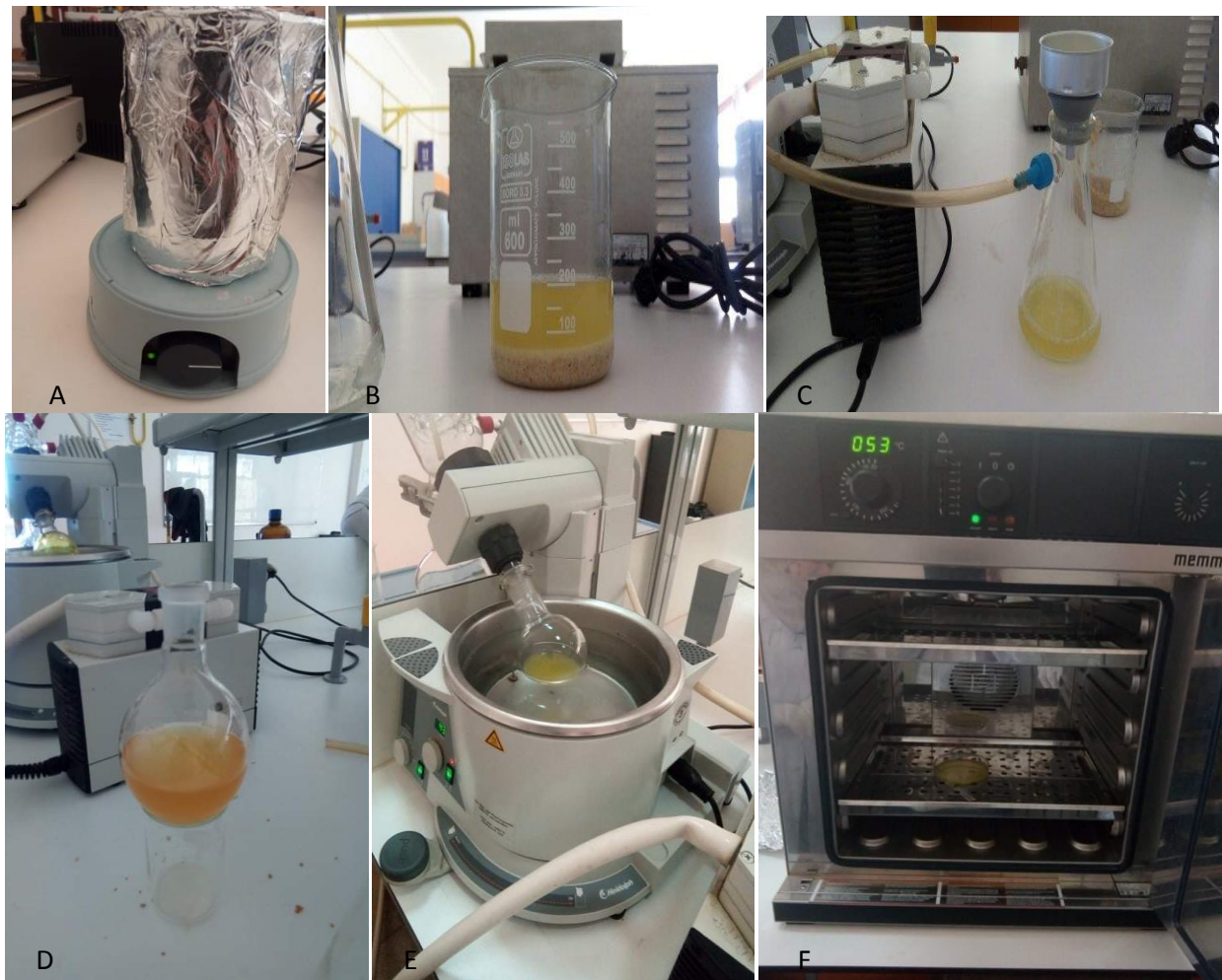


Figure 9 : Les différentes étapes de la préparation de l'extrait.

1.5 Méthodes d'analyse

1.5.1 Dosage des composés phénoliques

1.5.1.1 Dosage des polyphénols totaux (réactif de Folin-Ciocalteu)

Principe

Ce dosage est fondé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu consiste en une solution jaune acide contenant un complexe polymérique d'ions (hétéro polyacides). En milieu alcalin, le réactif de Folin-Ciocalteu oxyde les phénols en ions phénolates et réduit partiellement ses hétéro polyacides d'où la formation d'un complexe bleu.

Protocole expérimentale

Le protocole utilisé est basé sur celui décrit par (Ali-Rachedi et al, 2018) en y apportant quelques modifications. Brièvement, dans des tubes à hémolyse en verre, un volume de 200 μ l de chaque extrait a été ajouté, avec un mélange de 1 ml de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois, et 800 μ l d'une solution de carbonate de sodium (NaCO_3) à 7,5 %. Les tubes sont agités et conservés pendant 30 min. L'absorbance est lue à **765 nm** en utilisant un spectrophotomètre UV (le taux de polyphénols a été exprimé en microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg E}$)).

Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations (0 à 1000 $\mu\text{g/ml}$).

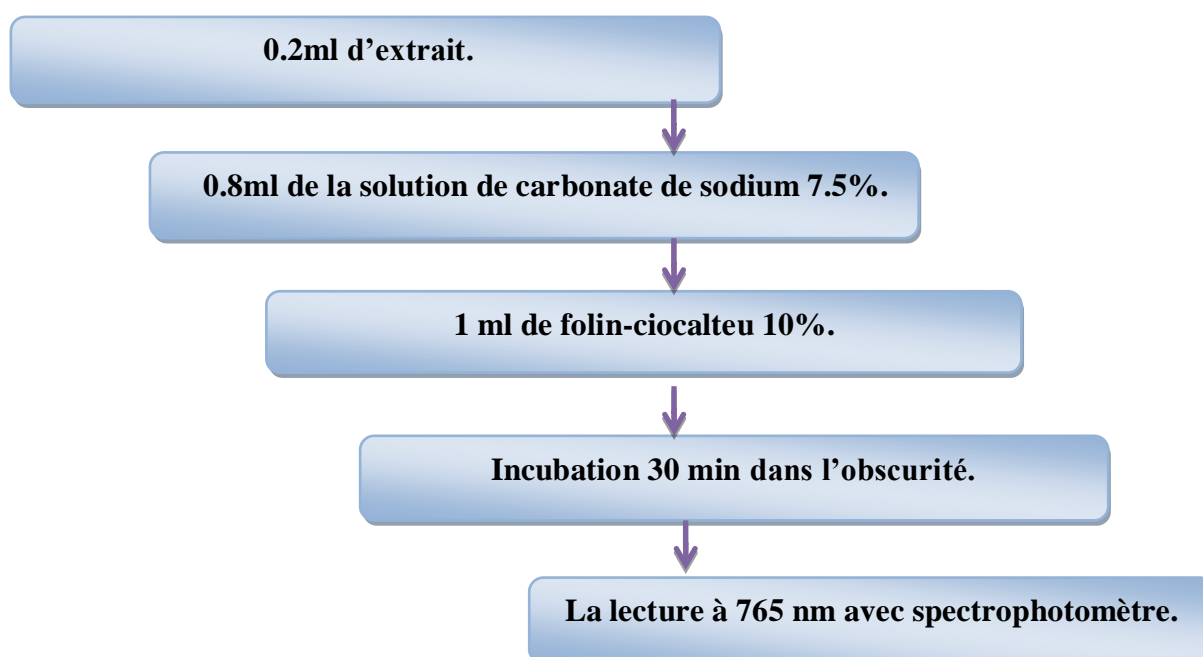


Figure 10 : Dosage des composés phénoliques totaux (Ali-Rachedi et al, 2018)

1.5.1.2 Dosage des flavonoïdes

Principe

Le principe de la méthode colorimétrique est basé sur l'oxydation des flavonoïdes par des réactifs incolores de nitrite de sodium (NaNO_2) et le trichlorure d'aluminium (AlCl_3) ce qui entraîne la formation d'un complexe rose qui absorbe à 510nm.

Protocole expérimentale

Le protocole utilisé est basé sur celui décrit par (Zhishen et al ; 1999). Avec quelques modifications. Dans un tube à hémolyse en verre, 0.5 ml d'extrait ont été mélangés avec 2 ml d'eau distillée et 0.15 ml de NaNO_2 à 5 %. Après 6 minutes, 0.15 ml AlCl_3 à 10 % ont été additionnés. Après 6 minutes, un volume de 2 ml de NaOH à 4% a été ajouté au milieu et on ajuste avec 0.2 ml d'ED pour arriver à 5 ml. L'absorbance est lue à **510 nm** après agitation et incubation pendant 15 min. Une solution méthanolique de Quercétine a été préparée. Des solutions filles préparées à partir de la solution mère à différentes concentrations (0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100mg/ml), permettront de tracer la courbe d'étalonnage.

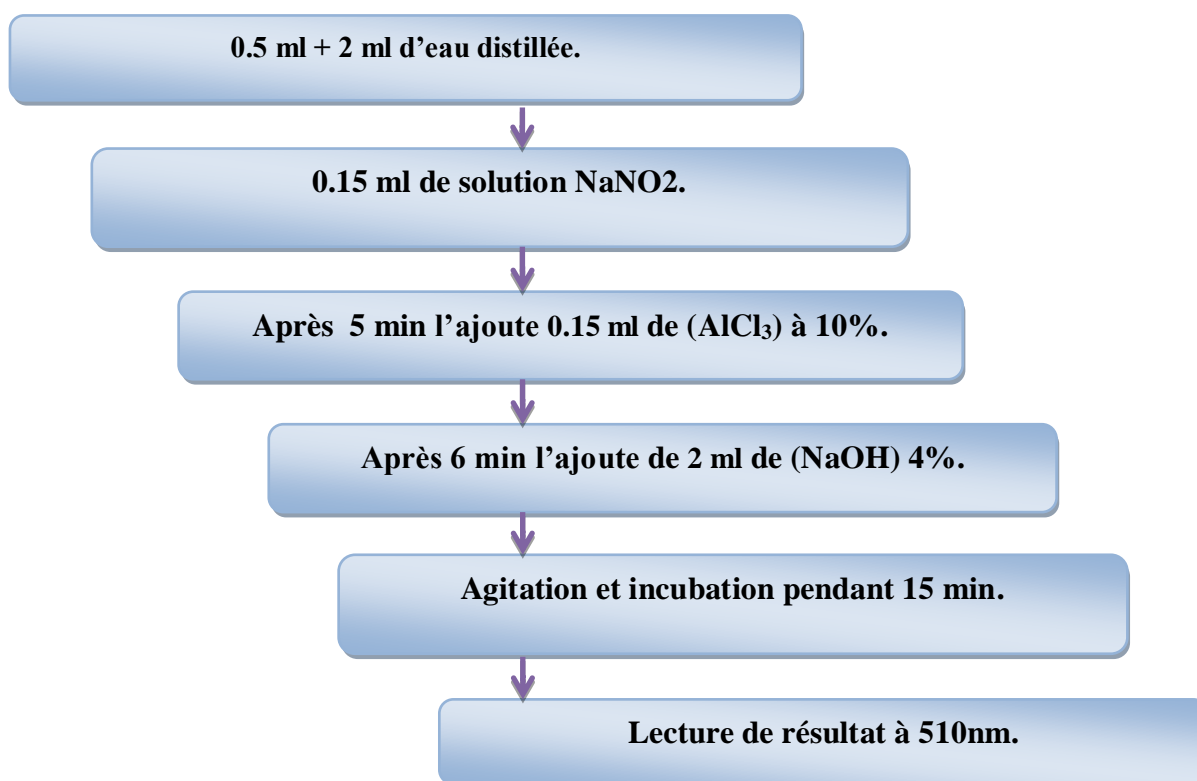


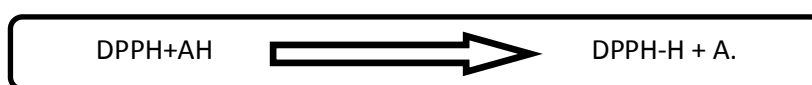
Figure 11 : Dosage des flavonoïdes totaux (Zhishen et al ; 1999).

1.5.2 Test de piégeage du radical libre DPPH

Principe

Le test au 2,2-diphényle-2-picryl-hydrazyle (DPPH.), permet de mesurer le pouvoir réducteur par le calcul d'IC50 des substances antioxydants contenues dans un extrait.

Le DPPH est un radical libre de couleur violette qui devient jaune quand il est réduit par un donneur de proton H+. Où AH est un composé capable de céder un H+ au radical DPPH. Cette capacité de réduction est déterminée par une diminution de l'absorbance induite par des substances antiradicalaires.



Protocole expérimentale

L'activité du piégeage du radical DPPH a été mesurée selon le protocole décrit par (Athamena et al, 2010).

Une solution de 50 µl de chaque extrait méthanolique à différentes concentrations est ajoutée à 1,95 ml du DPPH (0,025g/l). Parallèlement, un témoin négatif est préparé en mélangeant 50µl de méthanol avec 1,95 ml de la solution méthanolique de DPPH. La lecture de l'absorbance est faite contre un blanc préparé pour chaque concentration à 515nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante. Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard, l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons et pour chaque concentration.

Mode de calcul et formule

$$\text{AAR}\% = [1 - (\text{Abs Échantillon} - \text{Abs Contrôle négatif}) \times 100]$$

AAR%: Pourcentage de l'activité anti-radicalaire.

Abs Échantillon : Absorbance de l'échantillon.

Abs Contrôle négatif : Absorbance du contrôle négatif (Meddour, 2013).

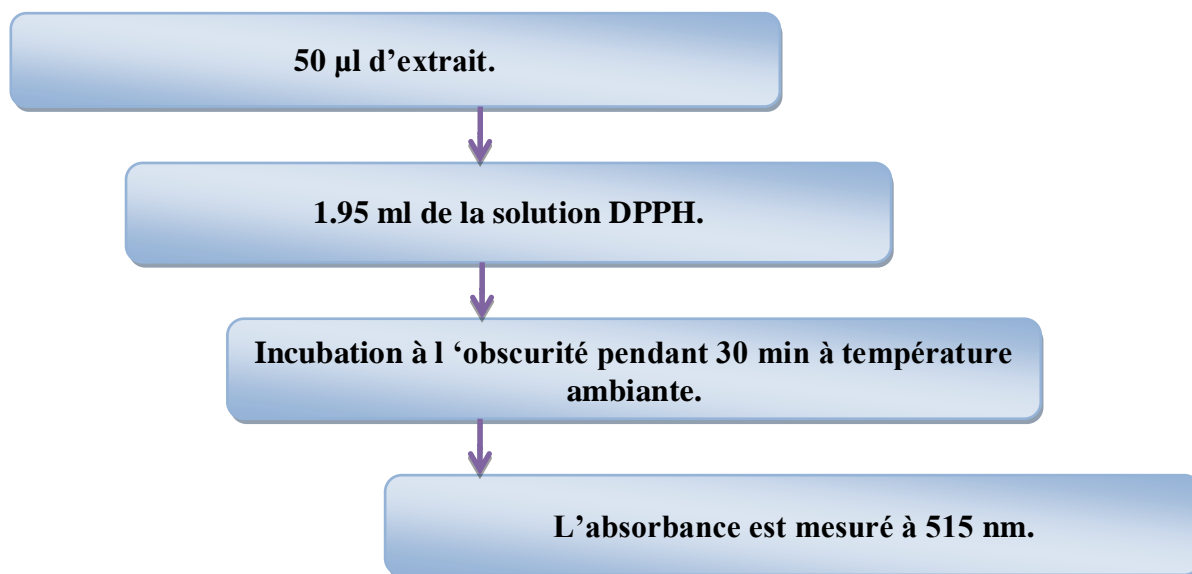


Figure 12 : Dosage du radical libre DPPH.

1.6. Analyse statistique

Tous les résultats ont été effectués en trois répétitions. Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart-type. Les données (Les moyennes plus au moins l'écart type ainsi que les représentations) sont analysées statistiquement en utilisant le logiciel Excel 2010 pour calculer l'écart type et la moyenne.

2. Résultats et Discussion

2.1. Rendement en extrait sec

L'extraction est une étape très importante dans l'isolement et l'identification des composés phénoliques. Les méthodes d'extraction dépendent du rendement d'extraction des composés phénolique. Les extraits éthanoliques (éthanol 70%), récupérés après évaporation, ont été pesés pour déterminer le poids sec résultant. Ces extraits renferment les polyphénols totaux.

Les extractions des différentes céréales pour les variétés de blé, nous ont permis de calculer le rendement de chaque extrait. Le tableau ci-dessous dont les résultats ont été déterminés par rapport à 30 g de matière végétale sèche exprimé en pourcentage.

Tableau 8 : tableau représentatif regroupant le rendement, la couleur, et l'aspect physique en extrait sec.

Variété d'échantillons	Germe de blé tendre traité	Germe de Blé tendre pur (ARZ)
Aspect physique	Gel collant	Gel collant
Couleur	Jaune pâle	Jaune foncé
Rendement(%)	20.6	12.73

2.2. Teneur en polyphénols totaux

Le dosage a été réalisé sur des extraits aqueux de germe de blé après passage à l'étuve pour éliminer le solvant afin d'obtenir des extraits secs. Le poids sec résultant renferment les polyphénols totaux qui sont déterminés via le test de Folin-Ciocalteu, ce test a été choisi pour ses critères de faisabilité et de reproductibilité, bien standardisée, la disponibilité du réactif de Folin-Ciocalteu est largement pratiqué dans les laboratoires de recherche.

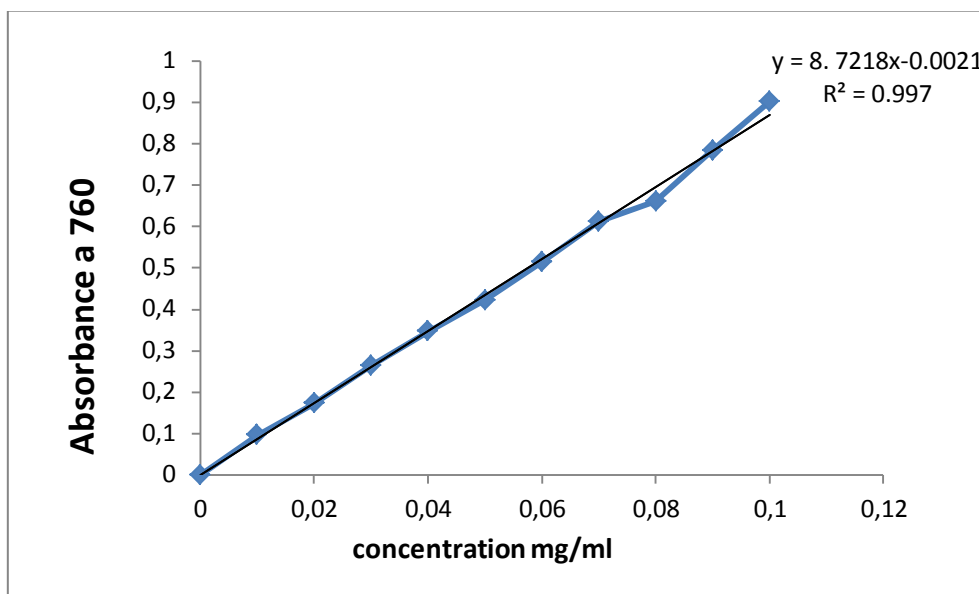


Figure 13 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

La teneur en composés phénoliques de chaque extrait a été calculé à partir de la courbe d'étalonnage ($y = 8.7218x - 0.002$, dont y est l'absorbance et X la concentration de la solution d'acide gallique), nos résultats ont été exprimé en milligrammes équivalent acide gallique par gramme de la matière sèche (EAG/g MS) et le coefficient de corrélation ($R^2 = 0.997$), la mesure de la densité optique a été effectuée a une longueur d'onde de 765 nm. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 9**.

Tableau 9 : Teneur en poly phénols exprimée en mg EAG/g d'extrait sec.

Variété	Germe de Blé tendre pur (ARZ)	Germe de blé tendre traité
Teneur en polyphénols totaux en mg EAG/g	0,074±0.001	0.062±0.001

Les résultats obtenus à partir des extraits de germe de (germe de blé pur et germe de blé traité) analysés révèlent que le germe de blé pur (ARZ) est plus riche en composés phénoliques totaux 0.074 ± 0.001 mg(EAG)/g que le germe de blé traité(en deuxième lieu) avec une teneur de 0.062 ± 0.001 mg(EAG)/g.

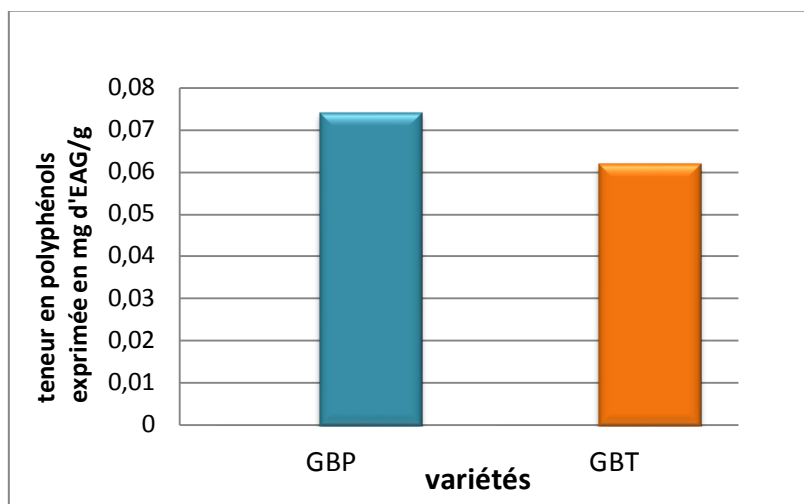


Figure 14 : Teneur en polyphénols de germe de blé de différente variété de blé tendre.

GBP : Germe de blé pur
GBT : Germe de blé traité

2.3. Teneur en flavonoïdes

La principale raison de rechercher des flavonoïdes dans le germe de blé est due que les flavonoïdes très réputées pour leur vertus antioxydant, et donc savoir la capacité antioxydant dans le germe de blé.

La teneur en flavonoïde de chaque extrait a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage ($y=4.6153X-0.0118$), dont **Y** est l'absorbance et **X** la concentration de la solution de Quercétine) nos résultats ont été exprimé en milligrammes équivalent Quercétine par gramme de la matière sèche (**mg EQ/g MS**), La mesure de la densité optique a été effectuée à longueur d'onde de 510nm. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 10**.

Tableau 10 : Teneur en flavonoïdes exprimée en mg d'EQ/g d'extrait sec.

Variété d'échantillons	Germe de Blé tendre pur (ARZ)	Germe de blé tendre traité
Teneur en Flavonoïdes exprimée en mg d'EQ/g MS	0.022±0.002	0.021±0.002

Les résultats obtenus montrent les mêmes teneurs en flavonoïdes pour les deux types de germe de blé pur et traité avec des concentrations respectives, de **0.022±0.002 mg d'EQ/g MS** et de **0.021±0.002mg d'EQ/g MS**.

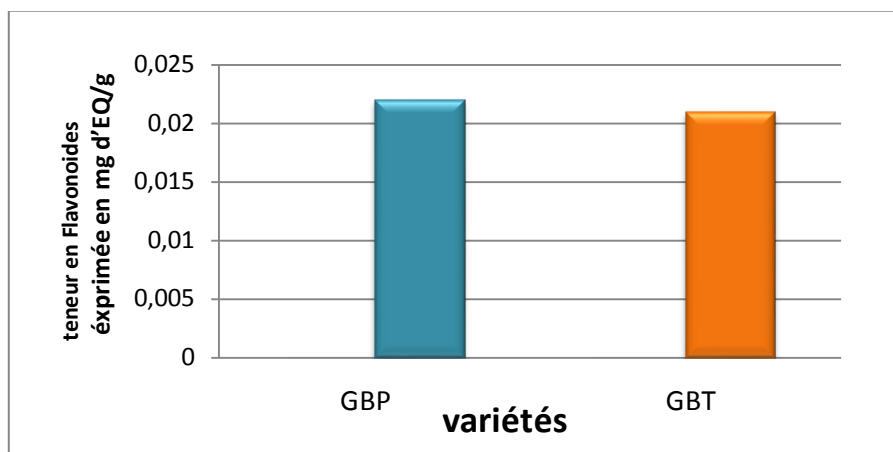


Figure 15 : Teneur en flavonoïdes de germe de blé de différentes variétés de blé tendre.

GBP : Germe de blé pur

GBT : Germe de blé traité

2.4. L'activité antioxydante

L'activité antioxydante naturelle dépend sur divers paramètres, tels que le mécanisme de réaction, les procédures d'isolement, la pureté des composés actifs, ainsi que le système de test et le substrat à protéger par l'antioxydant. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour évaluer le potentiel antioxydant. Le choix de la méthode dépend de la nature chimique des composants de l'extrait. Dans notre cas, nous avons évalué les échantillons par l'activité de piégeage des radicaux DDPH afin d'estimer et mesurer leurs activités antioxydants.

La capacité anti-radicalaire ne peut pas être mesurée directement mais par contrôle de l'effet de réactivité in vitro cette activité a été évaluée par la mesure du pouvoir de piégeage de radical DPPH selon la méthode décrite par **(Bruits et Bucar, 2000)**.

A partir des valeurs obtenus par spectrophotométrie et l'application de la formule de calcul du pourcentage d'inhibition **Pi** donnée dans la partie matériels et méthodes, nous pouvons obtenir les résultats de pouvoir anti-radicalaires qui ont permis de tracer les courbes représentées dans les **(figures 16 ; 17 ; 18)**, qui représentent la variation du pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations de nos extraits.

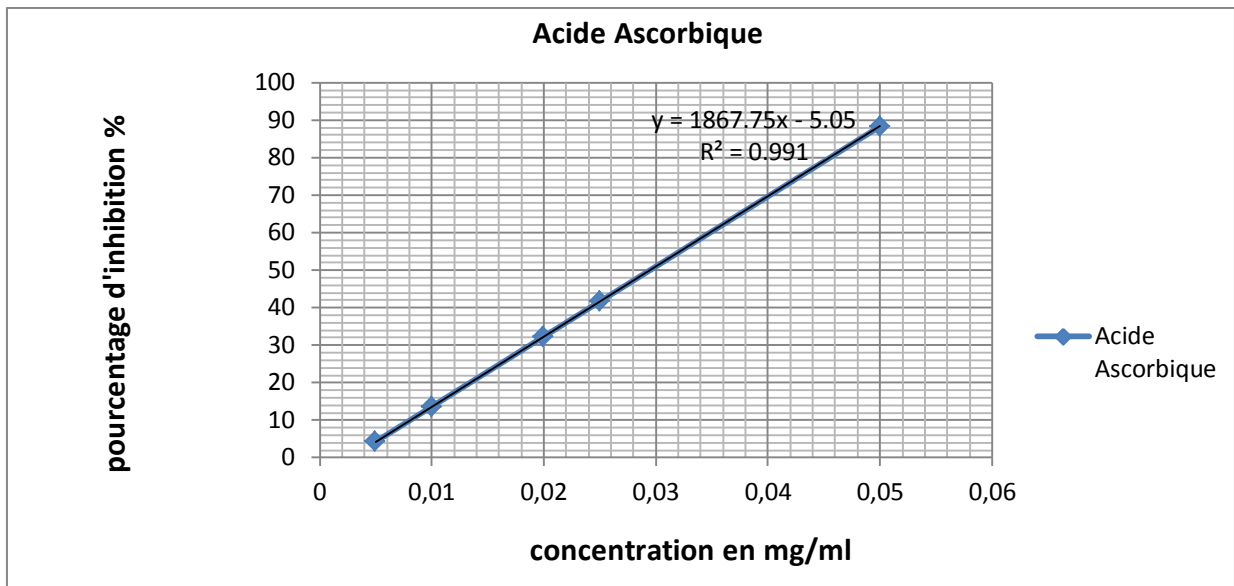


Figure 16 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de L'acide ascorbique.

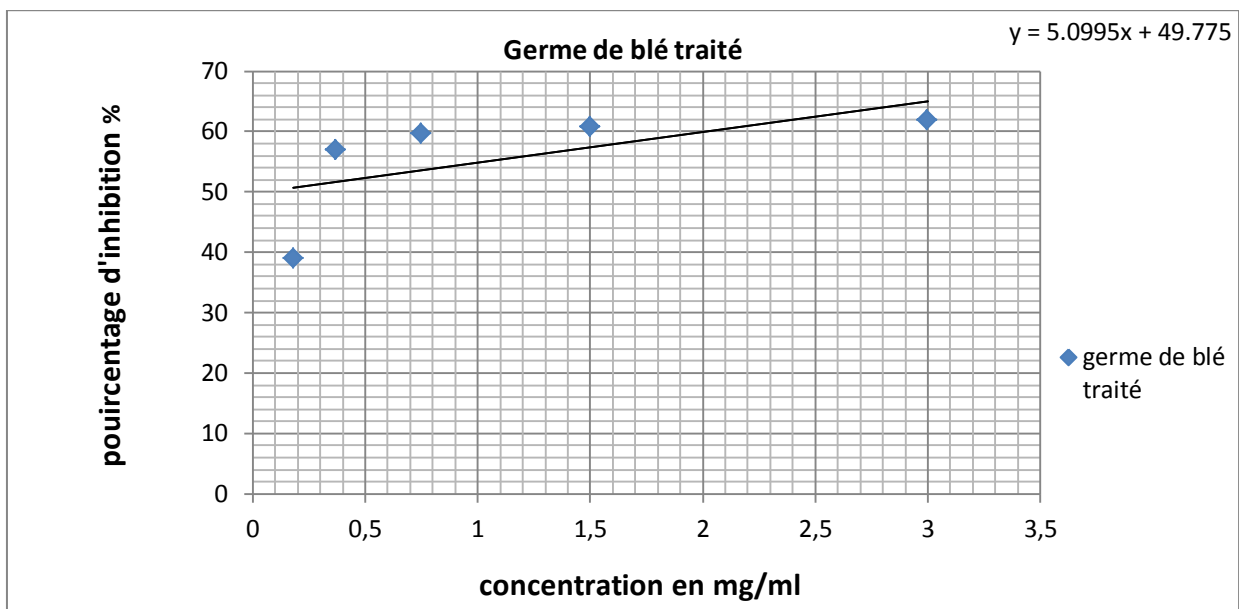


Figure 17 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de germe de blé traité.

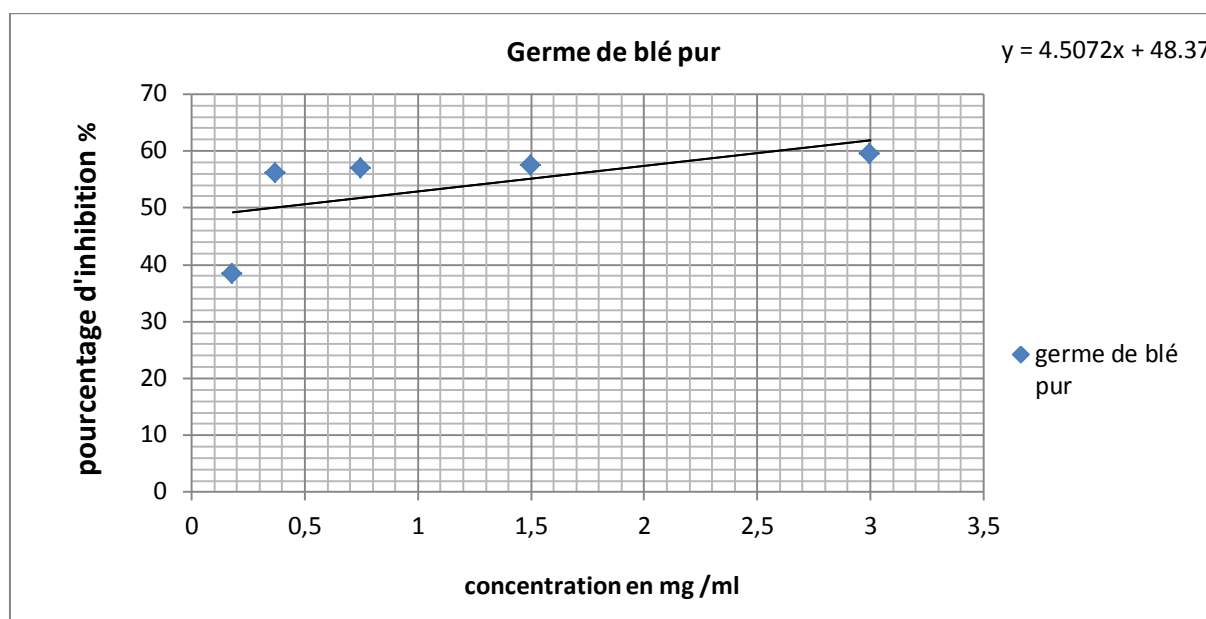


Figure 18 : Pourcentage d’inhibition de DPPH en fonction de la différente concentration de germe de blé pur.

Tableau 11 : Le pouvoir antioxydant (**IC₅₀ exprimé en mg /ml**) des différents extraits de germe de blé.

Pouvoir antioxydant	IC₅₀ (exprimé en mg/ml)
Acide ascorbique (Antioxydant de référence)	0.0295 (0.03)
Extrait de germe de blé tendre pur (Variété ARZ)	0.361
Extrait de germe de blé tendre traité	0.051

Nos résultats sur l’activité anti-radicalaire présentée dans les courbes ont été exprimés par la mesure de la concentration efficace IC₅₀, la concentration qui a piège (inhibe) 50% du radicale DPPH de chaque extrait et de l’acide ascorbique. Cette valeur d’IC₅₀ est inversement proportionnelle au pouvoir antioxydant, chaque fois que IC₅₀ de l’extrait est proche de IC₅₀ de l’acide ascorbique, plus il y a une activité antioxydant forte dans l’extrait.

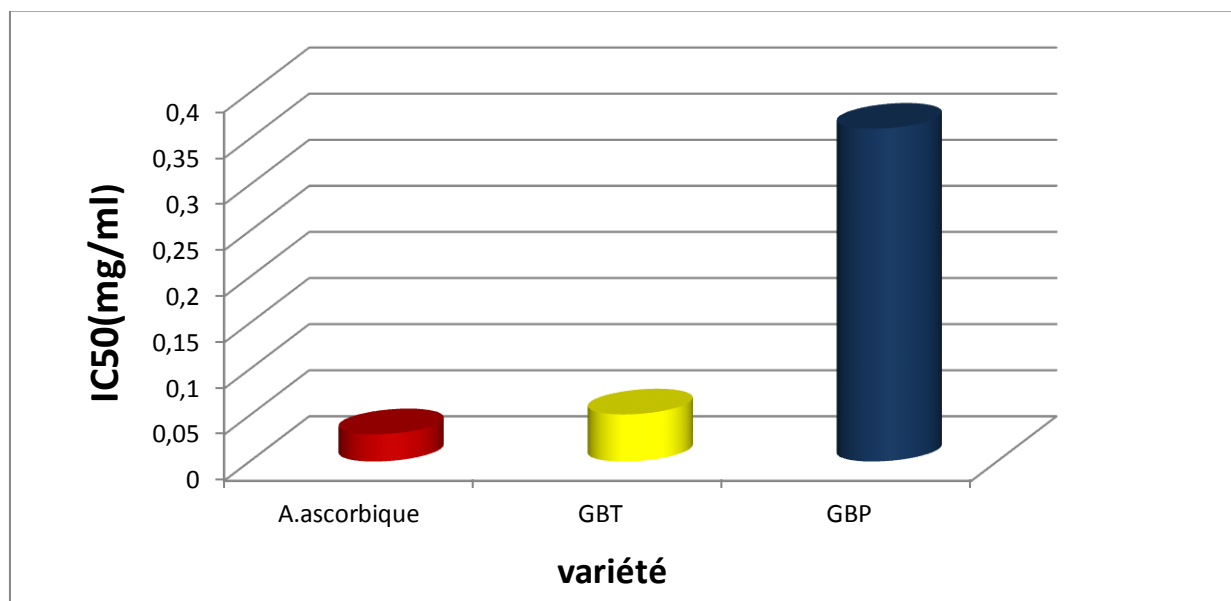


Figure 19 : Histogramme de pouvoir d'antioxydant des différents extraits de germe de blé tendre.

GBP : Germe de blé pur
GBT : Germe de blé traité

A partir de la comparaison d'IC50 de chaque variété étudiée et selon les résultats obtenus avec celle de l'acide ascorbique, nous remarquons que l'IC50 des extraits de germe de blé pur et traité sont supérieures à l'IC50 de l'acide ascorbique avec **0.029 mg/ml** (utilisé comme un antioxydant de référence), **0,051mg/ml** et **0.361mg/ml**, pour l'extrait de germe de blé pur (ARZ) et le germe de blé traité, respectivement. La capacité antioxydante d'un composé est plus élevée lorsque son IC50 est petite, donc la capacité d'antioxydant de l'acide ascorbique est supérieure à celle de l'extrait de deux germes de blé. En plus, les résultats montrent aussi que cette même capacité est supérieure pour le germe de blé pur que le germe de blé traité.

2.5. Discussion

Le germe de blé est un sous-produit de la mouture du blé qui a le potentiel comme ingrédient alimentaire, source en protéines, en minéraux et en vitamines de haute qualité et en antioxydants. Plusieurs études ont indiqué la supériorité du germe de blé sur les autres produits de mouture comme complément nutritif riches. (Truswell, 2002).

2.5.1. Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes

Les résultats de dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes dans les deux variétés de germe de blé montrent que les extraits de germe de blé contiennent des quantités modérées importantes en polyphénols totaux plus particulièrement dans le germe pur de la variété ARZ. Pas de différences constatées en flavonoïdes dans les deux germes utilisés dans notre cas.

Les valeurs marquées ont mis en évidence que la teneur en polyphénols totaux dans le germe de blé (pur et traité) est plus élevée par rapport à celle des flavonoïdes. Comparé aux résultats de (**Jiang et al, 2011**). Le taux en polyphénols représente 0.84mg/g de germe de blé. Dans une autre étude faite par (**Abor et al, 2015**) indiquent que, l'extraction éthanoïque a donné un taux en polyphénols variant entre 0.038mg/g à 1.6mg/g, d'où il considère comme des valeurs allant de moyennes à bonnes. Nos résultats sont conformes avec ses travaux d'où la présence en quantités considérables en polyphénols dans le germe de blé et qui sont moins présents par rapport aux autres tissus des grains de blé comme indiquent plusieurs recherches, (**Abdel-Aal et al, 2001**), ont étudié la distribution des polyphénols dans la fonction de mouture du blé, environ 73% des composés phénoliques des grains ont été trouvés dans le son de blé. Ce qui indique que le germe de blé est moins riche en polyphénols. Ce résultat est confirmé aussi par (**Vaher et al, 2010**) qui ont constatés que les couches de son avaient la plus forte teneur en composés phénoliques totaux (les polyphénols totaux et les flavonoïdes). Concernant les flavonoïdes, (**Adom et Liu, 2002**), montrent que les flavonoïdes des céréales étaient principalement concentrés dans les couches externes du grain par rapport aux autres parties de grain de blé. Une teneur de 0.45mg/g à 1.07mg/g et qui varient selon les types des composés flavonoïdiques (**Abor et al, 2015**).

Plusieurs paramètres interviennent et influencent sur la qualité et la quantité de ses composés, la variété et/ou l'espèce, la méthode d'extraction utilisée ainsi que le solvant d'extraction peuvent varier quantitativement la qualité en rendement du grain. (**King, 1962**), montre que les valeurs des flavonoïdes dans le germe de blé se varient (change) par le solvant d'extraction utilisé. En plus, la quantité en polyphénols est considérable entre les deux variétés d'une même espèce, elle est moins importante par rapport aux tissus des couches périphériques (Couche à aleurone, testa et la couche à hyaline).

(**Allothman et al, 2009; Sulaiman et al, 2011**), confirment que le contenu phénolique peut être récupéré dans différents échantillons des céréales est influencée par la polarité des solvants d'extraction et la solubilité de ce composé dans le solvant utilisé pour le processus

d'extraction. (Abdel-Aal et al, 2013) et (Ozer et al, 2006) confirment aussi que plusieurs facteurs peuvent affecter la teneur, la composition et la stabilité des composés phénoliques dans les produits à base de blé selon les ingrédients, la transformation industrielle ou domestique.

1.5.2 Évaluations du pouvoir antioxydant

Les propriétés anti-oxydantes sont mesurées et mises en évidence par la mesure de la concentration efficace (IC₅₀) qui correspond à la réduction de 50% de la concentration de DPPH. Les résultats mettent en évidence par le test de DPPH. Les valeurs d'IC₅₀ obtenues varient de 0.029mg/ml à 0.36 mg/ml dont l'acide ascorbique est utilisé comme (antioxydant de référence) avec IC₅₀=0.029mg/g.

Le pouvoir antioxydant de nos extraits entre eux révèle que le germe de blé traité est le plus actif avec un IC₅₀=0.051mg/ml suivi par le germe de blé pur avec un IC₅₀=0.3mg/ml.

La comparaison des concentrations efficaces (IC₅₀) de chacun de ces deux extraits montre que IC₅₀ de nos variétés étudiées et l'acide ascorbique (utilisé comme un antioxydant de référence) sont proches, ce qui indique que l'activité anti-radicalaire du piégeage de DPPH de nos variétés est très importante (très forte) dont la valeur de l'acide ascorbique est la plus élevée.

Plusieurs recherches ont été consacrées pour étudier le germe de blé et ses dérivés et qui ont prouvé que cette partie possède une grande capacité antioxydante par la présence des composés bioactifs naturels. L'activité de piégeage des radicaux libres dans le germe de blé est la plus élevée et représente une valeur de 0.42 mg/ml en extrait éthanolique à 70% selon une étude menée par (Ke-xue et al ; 2011). Une tendance similaire a été observée dans l'étude de l'activité antioxydante par (Nagai et al, 2005). Les composés antioxydants neutralisent les radicaux libres dans les organismes vivants, protégeant ainsi les cellules ou facilitant le processus de renouvellement cellulaire (Gök et Serteser, 2003). Les composés antioxydants réagissent avec les radicaux libres pour prévenir les dommages cellulaires et la progression tumorale dans les tissus et ils offrent une vie saine et de haute qualité dans laquelle les effets néfastes du vieillissement sont minimes (Başer, 2002).

Les résultats ont montré que le germe de blé pur ou traité est un inhibiteur des radicaux libres, ainsi qu'un antioxydant primaire qui réagit avec les radicaux libres, ce qui peut limiter l'apparition de dommages causés par les radicaux libres dans le corps humain une fois consommé cet aliment sous forme d'ingrédient alimentaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Le germe de blé (GB) est largement reconnu comme matière première nutritive à incorporer comme ingrédient alimentaire et pour la production d'huile de germe de blé. Est un sous-produit nutritif de la minoterie constituant une source naturelle de nutriments hautement concentrés.

Le présent travail a pour but d'étudier les composés bioactifs naturels qui se trouvent localisés dans le germe de blé plus particulièrement les polyphénols totaux, et d'évaluer le potentiel antioxydant de germe de blé tendre produit manuellement (pur) et traité.

- ✓ Les principaux résultats obtenus indiquent que l'extrait de germe de blé tendre pur (ARZ) et traité (traité) sont important en polyphénols et en flavonoïdes, ce qui nous indique que le germe est un antioxydant et présent un effet protecteur contre les radicaux libres.
- ✓ L'évaluation du pouvoir antioxydant de nos extraits analysés a été réalisée par la détermination de leur pouvoir de piégeage du radical DPPH en déterminant leurs concentrations d'inhibition. Les résultats obtenus montrent que l'activité anti-radicalaires présente dans les deux variétés de germe de blé est très élevée .cette activité variée d'un extrait (de germe de blé) a un autre.
- ✓ La capacité antioxydante offre au germe une source riche en antioxydant naturel recommandé par les diététiciens pour des bienfaits sur le corps et la santé en générale.

Différents facteurs peuvent influencer sur la valeur en composés naturels présentent dans le germe, les méthodes de conservation et de stockage, la méthode de culture des grains, l'environnement, l'exposition à la chaleur et à la lumière, les méthodes d'extraction et le solvant utilisés peuvent varier et perturber le rendement et la valeur du germe.

Pour cela, il est intéressant d'élargir notre recherche sur d'autres variétés et d'autres espèces céréalière et faire une étude plus poussée en se basant sur des techniques de recherche avancées afin d'améliorer la qualité nutritionnelle et phyto-chimique.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- Abor M. M. Abd EL-Rahman. (2015).** Utilization of Wheat Germ as Natural Antioxidant and Fat Mimetic to Increase ShelfLife in Beef Sausage and as Lowering Cholesterol in Rats, *Middle East Journal of Agriculture Research*. P 555-563.
- Aboudaou M. (2011).** Essai d'incorporation du germe du blé tendre dans une farine à tendance biscuitière. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques .Ecole Nationale Supérieure Agronomique -E.N.S.A- El Harrach Alger.
- Ali-Rachedi F, Meraghni S, TouaibiaN, Sabrina M. (2018).**Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 87, articles, p. 13 -21, <https://www.researchgate.net/publication/327871926> Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea*.
- Alothman M, Bhat R, Karim A.A. (2009).** Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food Chem.* 115, 785–788.
- Ammar M, (2014).**Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie états des lieux et perspective. Thèse de doctorat de CIHEAM Montpellier: p17-20.
- Arshad M. U, Anjum F. M, Zahoor T. (2007).**Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102(1), 123–128,*FOODCHEM*.2006.04.04. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.04.04>.
- Athamena S, Chalghem I, Kassah-Laouar A , Laroui S, Khebri S . (2010).** Activite anti-oxydante et Antimicrobienne d'extraits de *cuminumcyminum* l, *Lebanese Science Journal*, Vol. 11, No. 1, 2010.
- Awad A. Mahmoud, Adel A. A. Mohdaly, Nady A. A. (2015).** Wheat Elneairy Germ: An Overview on Nutritional Value, Antioxidant Potential and Antibacterial Characteristics. *Food and Nutrition Sciences*, 6, 265-277, Published Online February 2015 in SciRes.
- Bajaj M, Kaur A, Sidhu JS. (1991).** Studies on the development of nutritious cookies utilizing sunflower kernels and wheat germ. *Plant Food Hum Nutr* 41:381–387.
- Barnes PJ. (1983).** *Wheat germ oil* .In: Barnes PJ, editor. *Lipids in Cereal Technology*.London: Academic Press. P 389–400.
- Bilgic N.ii, Elgu A, NurHerken E, Türker S, NilguErtas, SenolIbanoglu. (2006).** Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a

fermented wheat flour-yoghurt product, *Journal of Food Engineering* 77 680–686. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.07.030.

Brandolini A et Hidalgo A. (2012).Wheat germ: not only a by-product, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*: P 71-74. DOI: [10.3109/09637486.2011.633898](https://doi.org/10.3109/09637486.2011.633898).

Burits M, Bucar F. (2000). Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14 (2000): 323–328.

Capitani M, Mateo C. M, Nolasco S. M. (2011).Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(2), 243–250.

De Vasconcelos M.C, Bennett R, Castro C, Cardoso P, Saavedra M.J., Rosa E.A. (2013). Study of Composition, Stabilization and Processing of Wheat Germ and Maize Industrial By-Products. *Industrial Crops and Products*, 42, 292-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.007>

El-Manfaloty M. (2010).Nutritional and Biological Assessment of Wheat Germ and Its Effect on Immune System in the Experimental Rats. Ph.D. Thesis, Faculty of Specific Education, Ain Shams University, Cairo.

Feuillet P. (2000). Le grain de blé, composition et utilisation, Editions QUAE, P, 308.

Fistes A, Rakić D. (2015).Using the eight-roller mill in the purifier-less mill flow. *Journal of Food Science & Technology*, 52(7), 4661–4668.

Ge Y, Sun A, Ni Y, Cai T. (2000). Some nutritional and functional properties of defatted wheat germ protein. *J Agric Food Chem*48:6215–6218.

Geng P, Harnly J. M, Chen P. (2015). Differentiation of whole grain from refined wheat (*T.aestivum*) flour using lipid profile of wheat bran, germ, and endosperm with UHPLC-HRAM mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(27), 6189–6211.

Giudice P, Bongiorno P. (2018). Why You Need Wheat Germ; *of inner source health* 1-4. <https://www.doctoroz.com/article/why-you-need-wheat-germ>.

Gnanasambandan R, Zayas JF. (1992). Functionality of wheat germ protein in comminuted meat products as compared with corn germ and soy proteins. *J Food Sci*57:829–833.

Gnanasambandan R, Zayas JF. (1994). Quality characteristics of meat batters and frankfurters containing wheat germ protein flour. *J Food Qual*1:129–142.

- Godineau E. (2014).** Le germe de blé : quels sont ses bienfaits santé ? *Top santé Site web* <https://www.topsante.com/minceur/nutrition-minceur/aliments-minceur/le-germe-de-ble-quels-sont-ses-bienfaits-sante-74087>.
- Hales N, Rush C. (2016).** Algeria Grain and Feed Annual, 9: 1-11. <https://rs.umc.edu.dz/labos/gbbv/equipe2/pdf/rapport%20algeriaz.pdf>
- Hassan H, Afify A.S, Basyiony A.E, Ahmed G.T. (2010).** Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Aust J Basic ApplSci*4:348–358.
- 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*46,327-347. Site Web: http://www.fao.org/faostat/fr/#rankings/commodities_by_country
- Info.2019.** Avantages étonnants du germe de blé. Site web: <https://retourauxsources.ca/9-avantages-etonnants-du-germe-de-ble/>.
- Ivanišová E, Ondrejovič M, Silhár S. (2012).** Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals, *Nova Biotechnologica et Chimica*11-1.
- Jia Zhishen, Tang Mengcheng , Wu Jianming. (1999).** The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals, *Food Chemistry* 64 (1999)555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2).
- Judson P.L, Entidhar Al Sawah, Douglas C. Marchion, Yin Xiong, Elona Bicaku, Nadim Bou Zgheib, Hye Sook Chon, Xiaomang B. Stickles, Ardeshir Hakam, Robert M. Wenham, Sachin M., Jesus Gonzalez-Bosquet, Dung-Tsa Chen, and Johnathan M. Lancaster. (2012).** Characterizing the Efficacy of Fermented Wheat Germ Extract Against Ovarian Cancer and Defining the Genomic Basis of Its Activity, *International Journal of Gynecological Cancer & Volume* 22.
- Ke-Xue Zhu, Cai-Xia Lian, Xiao-Na Guo, Wei Peng, Hui-Ming Zhou. (2011).** Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ; *Food Chemistry* 126(2011) 1122-1126. La production mondiale du blé tendre PDF en 2017/2018 site web: http://onfaa.inraa.dz/index.php/marches-et-filieres/commerce-International/item/download/160_7479ed9bf01ebedba4eeade7031adea7.html
- Laddomada B, Caretto S, Giovanni M. (2015).** Wheat Bran Phenolic Acids: Bioavailability and Stability in Whole Wheat-Based Foods *Molecules*. 20, 15666-15685. Doi:10.3390/molecules200915666.

- Li B, Zhao L, Chen H, Sun D, Deng B, Li. (2016).** Inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germ with temperature-controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil. *PLoS One*, 11(12), e0167330.
- Mueller T, Voigt W. (2011).** Fermented wheat germ extract - nutritional supplement or anticancer drug, *Mueller and Voigt Nutrition Journal*, 10:89 <http://www.nutritionj.com/content/10/1/89>.
- Nagai T, Myoda T, Nagashima T. (2005).** Antioxidative activities of water extract and ethanol extract from field horsetail (tsukushi) *Equisetum arvense* L. *Food Chemistry*, 91, 389–394.
- Nedjah I. (2015).** Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de doctorat 3eme cycle. Spécialité: biologie végétale et environnement, Option : Ecophysiologie végétale, Université Badji Mokhtar - Annaba Faculté des sciences département de biologie.
- Olsen N. (2017).** Comment le germe de blé profite à votre santé. Revu médicalement site web : <https://www.topsante.com/minceur/nutrition-minceur/aliments-minceur/le-germe-de-blé-quels-sont-ses-bienfaits-santé-74087>.
- Pellegrina C. D, Perbellini O, Scupoli M. T, Tomelleri C, Zanetti C, Zoccatelli G. (2009).** Effects of wheat germ agglutinin on human gastrointestinal epithelium: Insights from an experimental model of immune/epithelial cell interaction. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 237(2), 146–153.
- Pinarli I, branoglu S, Önerm D. (2004)** .Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. *Jornal of Food engineering (64)*. Pp 249-256.
- Posner E. S, Hibbs A. N. (2005).** Wheat flour milling. Minnesota: American Association of Cereal Chemists. Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 1997. <https://doi.org/10.1002/food.19970410522>
- Rizzello C. G, Nionelli L, Coda R, De Angelis M, Gobbetti M. (2010).** Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. *Food Chemistry*, 119(3), 1079–1089.
- Sakhare S. D, Indrani D, Inamdar A. A, Gaikwad S. B , Rao G. V. (2014).** Chemical, rheological and bread making characteristics of bran duster flours from roller flourmills. *Journal of Food Science & Technology*, 51(10), 2699–2705.

- Sakhare, S. D, Inamdar A. A. (2014).**The cumulative ash curve: A best tool to evaluate complete mill performance. *Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 795–799.
- Sellami W. (2017).** Effet du silicium sur la croissance et le rendement de blé tendre, PFE Licence Sciences et Techniques Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources, Université sidi Mohamed ben Abdellah Faculté des sciences et techniques de Fes, Maroc.
- ShaoTongJiang, LiYaNiu. (2011).**Optimization and evaluation of wheat germ oil extracted by supercritical CO₂, School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, 230009 Hefei, PR China 181-189.
- Sjövall O, Virtalaine T, Lapveteläinen A, Kallio H. (2000).**Development of rancidity in wheat germ analyzed by headspace gas chromatography and sensory analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3522–3527.
- SurgetA, Barron C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*, n.145, pp. 3-7.
- Truswell AS. (2002).** Cereal grains and coronary heart disease. *Eur J Clin Nutr* 56, 1–14.
- Turnbough JM, Baldwin RE. (1986).** Enhancing the nutritive value and appearance of microwave-baked muffins. *Microwave World* 7:7–9, 15.
- 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. *Proced. Chem.* 2, 76–82.
- William A, Finnie S. (2017).**Wheat Flour book 2nd edition. *Published by Elsevier Inc.* ISBN 978-1-891127-90-8, copyright © 2017 AACC International.
- Xu B, Zhou S. L, Miao W. J, Gao C, Cai, M. J, Dong Y.(2013).** Study on the stabilization effect of continuous microwave on wheat germ. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 1–7.
- Zettal Y. (2017).** Le blé : importance, santé et risque. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Spécialité : Biologie et génomique végétale. Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Zhu K.X, Zhou H.M, Qian H.F. (2006)** Proteins Extracted from Defatted Wheat Germ: Nutritional and Structural Properties. *Cereal Chemistry*, 83, 69-75. <http://dx.doi.org/10.1094/CC-83-0069>