

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Blida 1



**Institut des Sciences et Techniques
Appliquées**

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté par :

**BELAL Lina
CHERCHALI Nessrine**

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

**En sciences alimentaires
Spécialité : Technologie alimentaire**

LE TITRE DU MEMOIRE

Valorisation de germe de blé par l'extraction de l'huile

Devant le Jury composé de :

BOUKHARI Nabil
TERKI Lydia
MAHMOUDI Souhila

MCB, ISTA
MCB, ISTA
MCA, ISTA

Président
Examinatrice
Promotrice

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Nous rendons grâce à Dieu le tout puissant pour le courage et la patience qu'il nous a accordé pour mener à bien notre travail.

Nous tenons à remercier Madame MAHMOUDI Souhila, MCA. à l'Institut des sciences et techniques appliquées à l'université de BLIDA 1 pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour votre confiance, conseils et votre aide précieuse dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions les membres du jury Monsieur BOUKHARI Nabil, MCB. à l'Institut des sciences et techniques appliquées à l'université de BLIDA 1 pour avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail ; Madame TERKI Lydia, MCB. à l'Institut des sciences et techniques appliquées à l'université de BLIDA 1 qui nous a honoré en jugeant ce travail.

Nous remercions également tous les enseignants de L'ISTA, et toute personne ayant contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à Mr BOUSSADI le responsable de production de l'unité de production AGRODIV de la wilaya de BLIDA pour leur disponibilité et leur précieuse aide durant la période de notre stage.

Nous tenons à remercier les ingénieurs de laboratoire de l'ISTA : Mr. SAHNOUNE Ahmed, Madame BELARBI Nadia pour leur disponibilité et leurs conseils et orientation.

Un grand merci à Pr. BOUTOUMI et son doctorante Abire pour leur aide durant la réalisation des analyses au niveau de laboratoire de Génie chimie.

Dédicaces

À mes parents « RACHID » et « FARIDA ».

À ma sœur « MALEK »

À Mon frère « MOHAMED »

Et ma tante « HAMIDA »

Je vous dédie ce mémoire avec toute ma gratitude, merci pour votre soutien indéfectible, votre patience infinie et vos encouragements constants. Votre présence, vos conseils et votre compréhension ont été des sources de motivation pour moi.

Sans vous, ce chemin aurait été bien plus difficile.

À mon mari,

Merci pour ton amour, ton soutien inébranlable et ta compréhension. Ta présence à mes côtés a été essentielle pour surmonter les moments difficiles et célébrer les réussites. Tu es ma source de force et d'inspiration merci.

À ma belle-famille,

Merci pour votre soutien et vos encouragements. Votre présence et vos paroles bienveillantes ont été d'un grand réconfort tout au long de ce parcours.

Lina

Dédicaces

*C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail: À l'être le plus cher de ma
vie,*

Ma mère " FATIMA "

À celui qui m'a fait de moi une femme,

Mon père " ABD EL WAHEB ".

À Mes chers Frères

" ABD EL WADOUD ".

"ANIS ".

"WASSIM".

*A ma grand-mère " KHAIRA", que Dieu ait pitié d'elle, qui, si elle était là, serait
fière de moi*

*A ma tante "ZOHRA", que Dieu ait pitié d'elle, dont je souhaitais qu'elle soit là
pour voir ma réussite*

À la famille de ma mère pour leur soutien pour moi toujours

En particulier à ma chère grand-mère." CHARIFA "

A mon petit oncle malade" ABD EL KADER " je lui souhaite le rétablissement

A mon oncle "Ahmed", pour son soutien

A mes cousins que j'aime beaucoup

À tous mes amis et de toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom "

CHERCHALI ", je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à

Mon succès

Nessrine

Résumé

Le germe de blé est un sous-produit faiblement valorisé malgré ses hautes valeurs nutritionnelles et thérapeutiques et cela est dû à son activité enzymatique. Notre étude vise à déterminer l'effet de la stabilisation thermique de germe de blé sur le rendement d'extraction et la qualité physico-chimique de l'huile extraite. La stabilisation thermique a été effectuée à l'aide d'une étuve à trois températures et temps différents (60 °C. pendant 20 minutes, 90 °C. pendant 12 minutes et 120 °C. pendant 8 minutes) tout en conservant un échantillon frais comme témoin. Le pH, acidité, activité de l'eau, cendres, protéines, lipides et teneur en eau de différents échantillons de germe ont été déterminés. Ensuite, les huiles extraites à l'aide d'éther de pétrole ont subi une série d'analyses physico-chimiques (rendement d'extraction, indice de réfraction, indice d'acidité, indice d'iode, indice de peroxyde, indice de saponification, dosage des polyphénols et activité antioxydante). Les résultats obtenus montrent que la stabilisation thermique à 120 °C a eu l'effet le plus marqué en termes des analyses physico-chimiques du germe et de l'huile extraite. Par rapport aux échantillons de germes de blé stabilisés, le germe de blé stabilisé à 120 °C. présente les valeurs les plus basses en termes de pH (6,56), d'acidité (4,66 %), d'activité de l'eau (0,33), d'humidité (4,99) et de protéines (33,55 %). Cependant, il affiche les valeurs les plus élevées pour les lipides (9,53 %) et les cendres (4,240 % MS). L'huile extraite du germe de blé stabilisé à 120 °C a présenté le rendement le plus élevé de (5,37 %). Elle a également montré la valeur la plus élevée pour l'indice d'iode (120,12 gI₂/100g) et les valeurs les plus basses pour l'indice d'acide (6,17 mg/g) et l'indice de peroxyde (3 meq). L'huile extraite du germe de blé stabilisé à 90 °C a présenté l'indice de saponification le plus élevé, avec une valeur de (187,93 mg/g). L'huile obtenue du germe de blé stabilisé à 60 °C a démontré les valeurs les plus élevées pour l'activité antioxydante (51,441 µg/g) et les polyphénols totaux (441,88 µg/g). Toutes les huiles ont montré le même indice de réfraction de (1,4579).

Mots-clés : Germe de blé, stabilisation thermique, extraction de l'huile, qualité physico-chimique.

Abstract

Wheat germ is a low-valued by-product despite its high nutritional and therapeutic values, due to its enzymatic activity, which is associated with deterioration and a decrease in its shelf life and quality, limiting its use in other fields. Our study aims to determine the effect of thermal stabilization of wheat germ on the extraction yield and the physicochemical quality of the extracted oil. The thermal stabilization was performed using an oven at three different temperatures and times (60 °C. for 20 minutes, 90 °C. for 12 minutes, and 120 °C. for 8 minutes) while keeping a fresh sample as a control. The pH, acidity, water activity, ash, protein, lipid, and moisture content of different germ samples were determined. Then, the cold-extracted oils using petroleum ether underwent a series of physicochemical analyses (extraction yield, refractive index, acidity index, iodine value, peroxide value, saponification value, polyphenol content, and antioxidant activity). The results obtained show that thermal stabilization at 120 °C had the most significant effect in terms of the physicochemical analyses of the germ and oil. Compared to the stabilized wheat germ samples, the wheat germ stabilized at 120 °C had the lowest values for pH (6.56), acidity (4.66%), water activity (0.33), moisture (4.99%), and proteins (33.55%). However, it showed the highest values for lipids (9.53%) and ash (4.240% MS). The oil extracted from wheat germ stabilized at 120 °C had the highest yield (5.37%). It also showed the highest value for iodine index (120.12 gI₂/100g) and the lowest values for acid index (6.17 mg/g) and peroxide index (3 meq). The oil extracted from wheat germ stabilized at 90 °C had the highest saponification index, with a value of 187.93 mg/g. The oil obtained from wheat germ stabilized at 60 °C showed the highest values for antioxidant activity (51.441 µg/g) and total polyphenols (441.88 µg/g). All oils showed the same refractive index of 1.4579.

Keywords: Wheat germ, oil extraction, thermal stabilization, physicochemical

ملخص

جنين القمح هو منتج فرعي ذو قيمة منخفضة على الرغم من قيمته الغذائية والعلاجية العالية، ويرجع ذلك إلى نشاطه الإنزيمي الذي يرتبط بالتدهور وانخفاض مدة صلاحيته وجودته، مما يحد من استخدامه في مجالات أخرى. تهدف دراستنا إلى تحديد تأثير التثبيت الحراري لجنين القمح على عائد الاستخلاص وجودة الزيت المستخرج من الناحية الفيزيائية والكيميائية. تم إجراء التثبيت الحراري باستخدام فرن بثلاث درجات حرارة وأوقات مختلفة (60 درجة مئوية لمدة 20 دقيقة، 90 درجة مئوية لمدة 12 دقيقة، و120 درجة مئوية لمدة 8 دقائق) مع الاحتفاظ بعينة طازجة كعينة تحكم. تم تحديد درجة الحموضة، الحموضة، نشاط الماء، الرماد، البروتينات، الدهون ومحتوى الرطوبة في عينات الجنين المختلفة. بعد ذلك، خضعت الزيوت المستخرجة باستخدام الإيثر البترولي لسلسلة من التحاليل الفيزيائية والكيميائية (عائد الاستخلاص، معامل الانكسار، معامل الحموضة، قيمة اليود، قيمة البيروكسيد، قيمة التصبن، محتوى الفينولات المتعددة والنشاط المضاد للأكسدة). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التثبيت الحراري عند 120 درجة مئوية كان له التأثير الأكثر وضوحًا من حيث التحاليل الفيزيائية والكيميائية للجنين والزيت. مقارنة بعينات جنين القمح المثبتة، أظهر جنين القمح المثبت عند 120 درجة مئوية القيم الأدنى من حيث درجة الحموضة (6.56)، الحموضة (4.66%)، نشاط الماء (0.33)، الرطوبة (4.99%) والبروتينات (33.55%). ومع ذلك، أظهر القيم الأعلى للدهون (9.53%) والرماد (4.240%). أما الزيت المستخرج من جنين القمح المثبت عند 120 درجة مئوية، فقد أظهر أعلى عائد (5.37%). كما أظهر أعلى قيمة لمعامل اليود (120.12 gI2/100g) والقيم الأدنى لمعامل الحموضة (6.17 mg/g) ومعامل البيروكسيد. وأظهر الزيت المستخرج من جنين القمح المثبت عند 90 درجة مئوية أعلى قيمة لمعامل التصبن، بقيمة 187.93 mg/g. أما الزيت المستخرج من جنين القمح المثبت عند 60 درجة مئوية، فقد أظهر القيم الأعلى للنشاط المضاد للأكسدة (51.441 μg/g) ومجموع الفينولات المتعددة (441.88 μg/g) وأظهرت جميع الزيوت نفس معامل الانكسار (1.4579).

الكلمات المفتاحية: جنين القمح، استخراج الزيت، التثبيت الحراري، الجودة الفيزيائية والكيميائية.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviations	
Sommaire	
Introduction	1

Partie 1 **Synthèse bibliographique**

Chapitre 1 **Généralités sur le blé, le germe de blé**

1.1 Généralités sur le blé, le germe de blé.....	2
1.1.1 Définition de blé.....	2
1.1.2 Structure de grain de blé.....	2
1.2 Composition chimique de grain de blé.....	3
1.3 Procédé de transformation de blé tendre	4
1.4 Définition et description de germe de blé.....	6
1.5 Valeur alimentaire de germe de blé.....	7
1.6 Caractéristiques organoleptiques	9
1.7 Extraction de germe en mouture du blé tendre	9
1.8 Utilisation de germe de blé.....	10

Chapitre 2

Extraction, qualité et utilisation de l'huile de germe de blé

2.1 Définition de l'huile de germe de blé	11
2.2 Composition de l'huile de germe de blé.....	11
2.3 Extraction de l'huile de germe de blé.....	13
2.3.1 Stabilisation de germe de blé.....	13
2.3.2 Méthodes d'extraction.....	14
2.4 Conservation de l'huile de germe de blé.....	18

2.5	Qualité de l'huile de germe de blé.....	19
2.5.1	Qualité nutritionnelle	19
2.5.2	Qualité physico-chimique	19
2.5.3	Qualité microbiologique	19
2.5.4	Qualité organoleptique.....	19
2.6	Utilisation de l'huile	19

Partie 2

Expérimentation

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1	Démarche expérimentale.....	21
3.2	Objectif.....	21
3.3	État des lieux sur la production de germe de blé.....	22
3.4	Matière première.....	22
3.5	Matériel, solvants et réactifs.....	23
3.6	Échantillonnage.....	23
3.7	Stabilisation du germe de blé.....	23
3.8	Caractérisation du germe de blé stabilisé non stabilisé.....	24
	3.8.1 Acidité titrable et pH.....	25
	3.8.2 Activité d'eau.....	25
	3.8.3 Teneur en eau.....	25
	3.8.4 Taux de cendres.....	26
	3.8.5 Teneur en lipides totaux.....	27
	3.8.6 Les protéines.....	28
3.9	Extraction d'huile de germe.....	30
3.10	Caractérisation de l'huile.....	30
	3.10.1 Rendement d'extraction.....	31
	3.10.2 Indice de réfraction	31
	3.10.3 Indice d'acide.....	31
	3.10.4 Indice d'iode.....	32
	3.10.5 Indice de peroxyde.....	33
	3.10.6 Indice de saponification.....	34
	3.10.7 Dosage des polyphénols.....	35
	3.10.8 Activité antioxydante des extraits phénoliques.....	35

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1 Etat des lieux sur la production du germe de blé.....	37
4.2 Description du germe de blé stabilisé et non stabilisé	39
4.3. Caractéristiques physico-chimique de la matière première	40
4.3.1. pH, acidité titrable et activité d'eau	40
4.3.2 Humidité et cendres totales	42
4.3.3 Teneur en Lipides totaux	43
4.3.4 Teneur en protéines	45
4.4 Caractéristiques physico-chimique de produit fini.....	46
4.4.1 Rendement d'extraction	46
4.4.2 Indice de réfraction.....	47
4.4.3 Indice d'acide	48
4.4.4 Indice d'iode	49
4.4.5 Indice de peroxyde	50
4.4.6 Indice de saponification.....	51
4.4.7 Polyphénols totaux	52
4.4.8 Activité antioxydante.....	53
Conclusion	55

Annexes

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure 01 : Histologie du grain de blé	3
Figure 02 : Schéma générale de mouture du blé tendre	5
Figure 03 : Structure de germe de blé.....	6
Figure 04 : Processus de stabilisation par séchage.....	14
Figure 05 : Principe de l'extraction par pression.....	15
Figure 06 : Appareil de Soxhlet	16
Figure 07 : Schéma d'une installation d'extraction par CO ₂ supercritique	18
Figure 08 : Germe de blé tendre	22
Figure 09 : Stabilisation de germe de blé tendre par étuve.....	24
Figure 10 : Les étapes d'extraction d'huile par solvant.....	30
Figure 11 : Teneurs en lipides dans le germe de blé tendre stabilisé et non stabilisé.....	44
Figure 12 : Teneurs en protéines dans le germe de blé tendre stabilisé et non stabilisé.....	45
Figure 13 : Indice d'acide des huiles de germe de blé tendre stabilisé et non stabilisé.....	48
Figure 14 : Indice d'iode des huiles de germe de blé tendre stabilisé et non stabilisé	49
Figure 15 : Indice de peroxyde des huiles de germe de blé tendre stabilisé et non stabilisé	50
Figure 16 : Activité antioxydante des huiles de germe de blé (IC 50 µg/g)	53

Liste des tableaux

Tableau 01 : Valeur nutritionnelle de grain de blé	3
Tableau 02 : Valeur nutritionnelle de germe de blé	7
Tableau 03 : Caractéristiques lipidiques du germe meunier	8
Tableau 04 : Enzymes dans le germe de blé	9
Tableau 05 : Composition de l'huile de germe de blé extraite par divers méthodes	12
Tableau 06 : Classification des réactifs, solvants et matériels utilisés	23
Tableau 07 : Questionnaire sur la production de farine et la valorisation des sous-produits de l'entreprise Agrodiv	38
Tableau 08 : Description du germe de blé avant et après la stabilisation	39
Tableau 09 : pH, activité de l'eau et acidité titrable de germe de blé stabilisé et non stabilisé	41
Tableau 10 : Taux d'humidité et de cendres totales de germe de blé	42
Tableau 11 : Rendements d'extraction des huiles de différents échantillons de germe de blé	47
Tableau 12 : Résultats d'analyses de l'indice de réfraction	47
Tableau 13 : Résultats d'analyses de l'indice de saponification (mg / g d'huile)	51
Tableau 14 : Teneurs en polyphénols totaux dans les huiles extraites (µg /g)	52

Liste des abréviations

- **AFNOR** : Association française de normalisation
- **aw** : Activité de l'eau
- **BHT** : Butylhydroxytoluène
- **C°** : Degré Celsius
- **CCLS** : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
- **CO₂** : Dioxyde de carbone
- **DPPH** : 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle
- **EPE** : Entreprise publique économique
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- **g** : Gramme
- **GB** : Germe de blé
- **H** : Humidité
- **HCL** : Acide chlorhydrique
- **HGB** : Huile de germe de blé
- **ISTA** : l'Institut des sciences et techniques appliquées
- **ISO** : Organisation internationale de normalisation
- **JORA** : Journal officiel de la république algérienne.
- **Kcal** : kilocalorie
- **kg** : kilogramme
- **KI** : Iodure de potassium
- **LiCl** : Chlorure de lithium
- **m** : Minute
- **meq** : Milliéquivalent.
- **mg** : milligramme
- **mm** : millimètre
- **N** : Normalité
- **NaCl** : Chlorure de sodium

- **Na₂CO₃** : Bicarbonate de sodium
- **NaOH** : Hydroxyde de sodium
- **Na S₂O** : Thiosulfate de sodium
- **OAIC** : Office algérien interprofessionnel des céréales
- **pH** : Potentiel hydrogène
- **P/P** : Poids/Poids
- **R** : Rendement
- **SPA** : société par actions
- **TTA** : Acidité totale titrable
- **µg** : Microgramme
- **µm** : Micromètre
- **V** : Volume
- **W** : Watt
- **Wm** : teneur en eau

Introduction

Avec l'augmentation de la production, notamment dans le secteur céréalier, qui s'accompagne de grandes quantités des sous-produits, les industries agroalimentaires ont commencé à produire des coproduits de la première transformation et des coproduits de la seconde transformation afin d'en bénéficier (**Chapoutot et al., 2018**).

L'incorporation de sous-produits tels que le son de blé et le germe de blé dans des aliments faciles à préparer gagne en popularité. Les raisons de cette tendance sont multiples, englobant des facteurs culinaires, économiques et de santé (**Howard et al., 2011**).

Le germe de blé est un sous-produit majeur de l'industrie meunière en particulier, est reconnu pour sa richesse nutritionnelle, étant une source concentrée de vitamines B et E, de protéines essentielles, d'acides gras essentiels, de minéraux, ainsi que d'antioxydants et de composés bénéfiques pour la santé (**Godineau, 2014**). Les germes contiennent environ 26 % des lipides totaux des céréales, le germe est le compartiment du grain le plus concentré en lipides.

Avec l'importance croissante des huiles végétales en tant que sources alimentaires et nutriments bénéfiques pour la santé, ainsi que leur utilisation comme matières premières pour divers produits industriels, souligne la nécessité de répondre à une demande mondiale en expansion (**Mielke, 2011**). Le germe de blé avec sa richesse en lipide est considéré comme une source idéale et merveilleuse pour l'extraction de l'huile végétale.

Malheureusement en absence de politique de valorisation des sous-produits meuniers, le germe se retrouve associé aux sons et remoulages et servira comme aliment pour la filière production animale (**FAO, 2008**). Pas seulement l'Algérie, mais presque le monde entier utilise une grande quantité de germe de blé comme aliment pour animaux à cause de l'activité des enzymes destructrices associée à un rancissement et à un déficit de durée de conservation qui limite son utilisation optimale (**Khosroshahi et al., 2023**).

Pour valoriser et préserver pleinement le potentiel nutritif du germe de blé afin de bénéficier de ses propriétés dans un autre domaine que l'alimentation animale, des prétraitements efficaces de stabilisation sont nécessaires pour garantir sa stabilité et son adéquation aux normes de qualité et de sécurité alimentaire (**Boukida et al., 2018**).

L'objectif principal de notre travail est de valoriser le germe de blé par l'extraction d'huile en utilisant différentes conditions de stabilisation thermique. Pour ce faire, nous avons testé 3 températures (60 °C. pendant 20 minutes, 90 °C. pendant 12 minutes et 120 °C. pendant 8 minute) de stabilisation par étuvage sur le rendement d'extraction et la qualité de l'huile.

Partie 01 :
Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur le blé, le germe de blé

Chapitre 1

Généralités sur le blé et le germe de blé

1.1 Description du grain de blé

De forme ovale, le grain de blé a une couleur variant du roux au blanc. Sur le plan botanique. En fonction de l'aspect du grain, vitreux ou translucide, et du degré de dureté à la mouture. On distingue plusieurs types de blés dont l'utilisation commerciale est différente : deux types en Europe : blé dur et blé tendre, et trois en Amérique du Nord : blé dur, blé tendre vitreux (blé de boulangerie) et blé tendre (blé de biscuiterie-pâtisserie) (**Boudreau et Menard, 1992**).

1.1.1 Définition de blé

Le blé est une céréale de la famille des Poacées (Graminées). Il appartient au genre *Triticum*. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Le grain de blé est un caryopse. Ce fruit sec indéhiscent est constitué d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient (**Surget et Barron, 2005**).

1.1.2 Structure de grain de blé

Un grain de blé est composé de trois parties (**Figure 1**) : (**Feillet, 2000**).

a-L'albumen : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules complies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles) et de couche a aleurone (80-85% du grain).

b-Les enveloppes : formées de six tissus différents épiderme de nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (16-17%).

c. Le germe : (3%) composé d'un embryon et de scutellum.

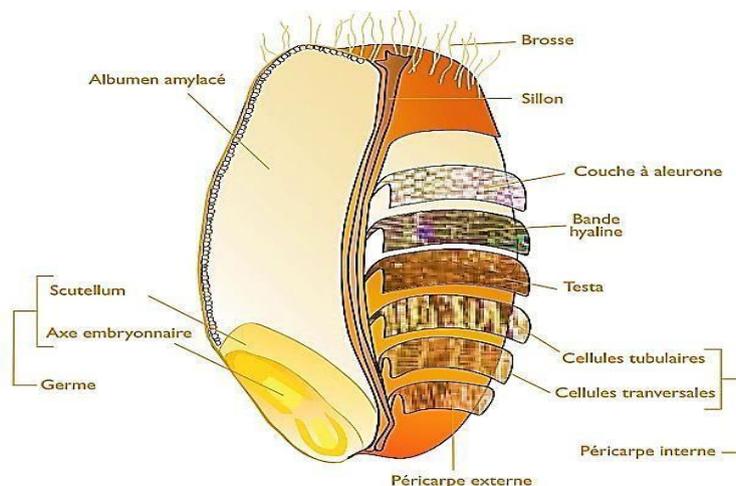


Figure 01 : Histologie du grain de blé (Paul, 2007).

1.2 Composition chimique de grain de blé

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), qui représente une importante source en glucides, de protéines (10 à 15%), des lipides (2-6 %), d'eau (12-14 %), des micronutriments, des minéraux (particulièrement magnésium), des vitamines du groupe B et des composés bioactifs : vitamine E, composants antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes) et des lignanes selon les variétés et les conditions de culture (Tableau 1) (Godon et Willm, 1990; Shewry, 2009).

Tableau 01 : Représente la valeur nutritionnelle de grain de blé (Feillet, 2000).

	Grain		Péricarpe		Aleurone		Albumen		Germe	
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T
Protéines	13.7	10	4.4	30	15.3	12.0	73.5	31	6.8	
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5	
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0	
Minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7	

%G : pourcentage du constituant dans le grain.

%T : Pourcentage du constituant dans le tissu.

1.3 Procédé de transformation de blé tendre

La mouture est la séparation du son et du germe de l'endosperme et la réduction de l'endosperme en farine. Ce processus est réalisé par une séquence d'opérations de cassage, de broyage et de séparation (**Figure 2**) (**Pomeranz, 1988**).

La technologie de mouture consiste à séparer l'albumen amylicé des grains exempts de parties périphériques (enveloppe et couche d'aleurone) et de germe. Ce processus est réalisé par une séquence d'opérations de cassage, de broyage et de séparation (**Pomeranz, 1988 ; Feillet, 2000**).

1-Broyage : C'est l'opération de réduction de la taille des particules grâce à l'énergie mécanique, pour objectif de séparer l'amande de ses enveloppes (**Bourson, 2009**).

2- Tamisage : Après chaque passage entre des cylindres cannelés ou lisses, les produits subissent le tamisage à travers la bluterie (ensemble de plansichters) pour classer les différentes parties en fonction de leur dimension (**Bourdeau et Menard, 1992**).

3-Le sassage : une opération de classification selon la densité des particules d'amande, Cette étape est cruciale pour la préparation des semoules destinées à différents usages (**Bourson, 2009**).

4- Claquage : le claquage c'est le fractionnement des produits à l'aide de cylindres lisses. Les produits traités sont généralement plus gros et plus dispersés que ceux du convertissage avec une granulométrie comprise entre 200 μm et 1000 μm , chaque claqueur alimente le claqueur suivant (**Bourson, 2009**).

5- Convertissage : Consiste à transformer légèrement les produits déjà traités (claqués, fins de broyage) en farine à l'aide de cylindres lisses (**Bourson, 2009**).

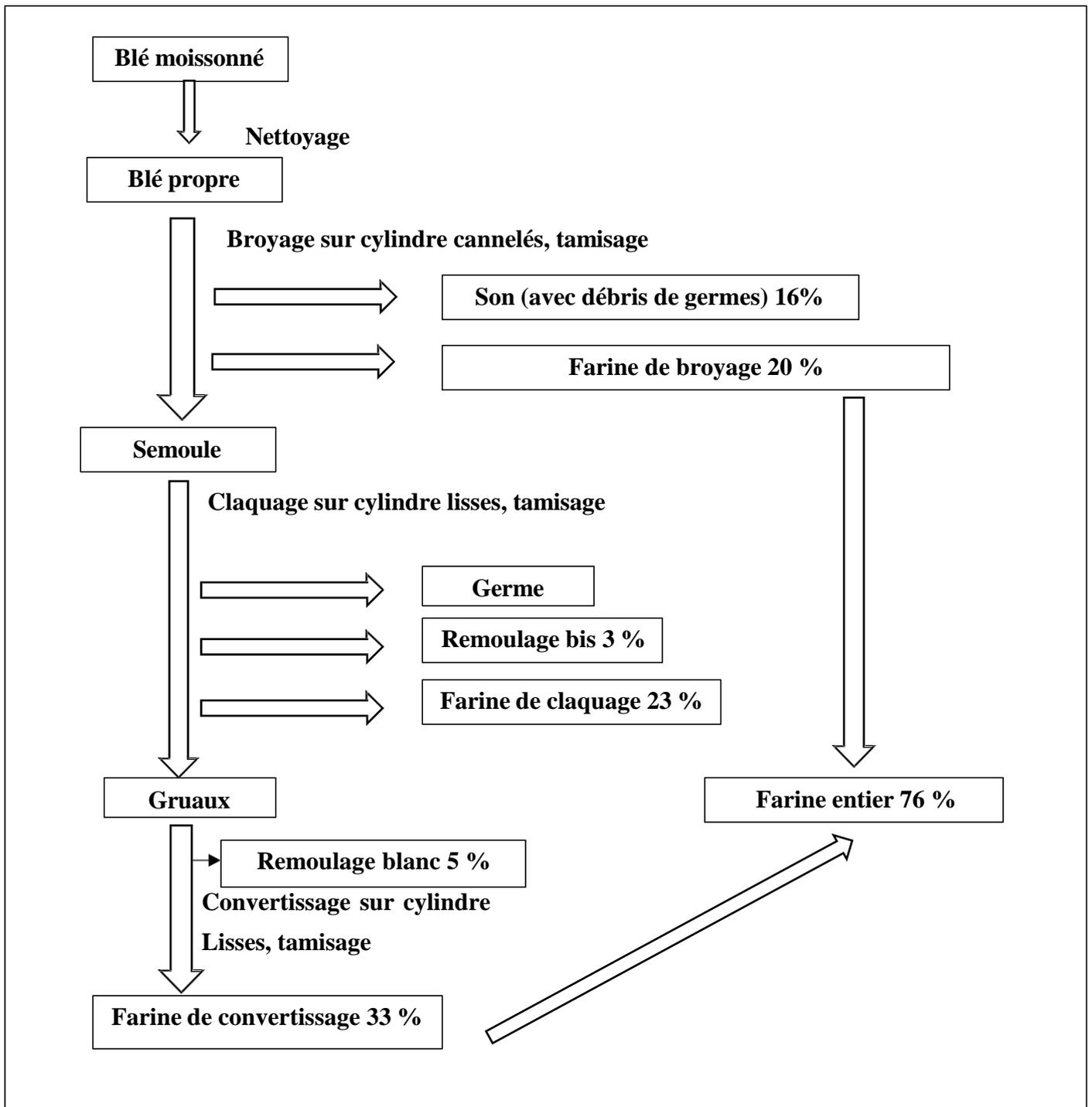


Figure 02 : Schéma générale de mouture du blé tendre (Roudaut et Lefranq, 2005)

1.4 Définition et description de germe de blé

Le germe est la partie vivante de grain de blé (la partie vivante de grain de blé), la plupart des nutriments à l'exception de l'amidon sont concentrés dans le germe, il représente environ 3% du grain, composé de deux parties importantes (**Figure 03**) :

L'axe embryonnaire : contient environ 30% des protéines solubles mais pas d'amidon. On y trouve de saccharose et de raffinose, qui donne à l'embryon son goût douceâtre. La thiamine et d'autres vitamines du groupe B représentées de quantités considérables, Il est riche en matières grasses ou en huile ce qui explique sa richesse en vitamine E.

Le scutellum : Il entoure l'embryon et le sépare de l'amande, d'une part il est riche en thiamine (60% de thiamine total de grain), il est riche en phosphore.

Il contient une proportion élevée de lipides, protéines, vitamines et éléments minéraux sans oublier les fortes activités enzymatiques (**Aykoyd et Doughty, 1970 ; Godon, 1990 ; Romain et al., 2007 ; Hassan et al., 2010 ; Sakhawat, 2013**).

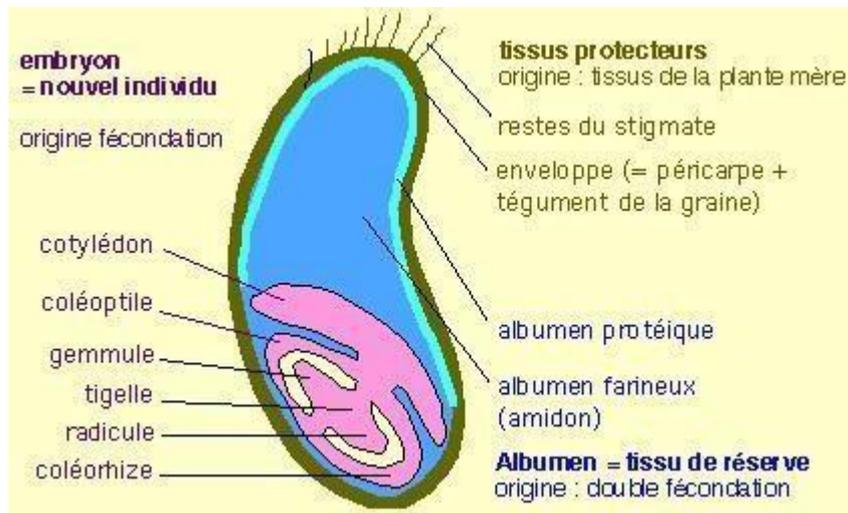


Figure 03 : Structure de germe de blé (Mosiniak et al., 2024).

1.5 Valeur alimentaire de germe de blé

Le germe de blé l'une des sources potentielles de protéines végétales, de vitamines, de calories, de minéraux et de sources alimentaires (**Tableau 02**). Selon la variété du grain de blé, le germe de blé contient 28% de protéines totales que l'on peut trouver dans la plupart des produits carnés. Il contient plus de potassium et de fer que toute autre céréale aussi de calcium. de zinc, de magnésium et de vitamines A, B1, B2 et E (**Zhu et Zhou, 2005 ; Kadous et al 2014**).

Tableau 02 : Valeur nutritionnelle de germe de blé (**Cong et al., 2022**)

Nature des composants	Teneur %
Protéines	26-35
Lipides	10-15
Sucre	17
Fibres	1.5-4.5
Minéraux	4

La teneur en lipides est élevée dans le germe (15 %), un peu plus faible (7-8%) dans les couches externes de la graine et elle est nettement plus faible dans tous les autres tissus dont l'endosperme (**Godon, 1990**).

La phase lipidique est particulièrement complexe (**Tableau 03**) : à côté des lipides apolaires (triacylglycérols), elle renferme 15 % de matières émulsifiantes sous forme de phospholipides et environ 5 % de matière insaponifiable, valeurs très supérieures à la composition des graines oléagineuses usuelles.

Tableau 03 : Caractéristiques lipidiques du germe meunier (**Adrian, 2004**).

	g/100 g	% de la phase lipidique
Lipides bruts	10.75	100
Lipides apolaires	8.25	81
Phospholipides	1.55	14.5
Insaponifiable Dont :	0.5	4.5
✧ stérols + alcools	0.3	
✧ tocophérols	0.07	
✧ hydrocarbures	0.03	

Sur le plan énergétique, le germe de blé offre un potentiel de 400 Kcal/100 g, c'est à dire un peu plus élevé que celui de la farine blanche (330 Kcal). Dans le germe meunier outre les sucres simples du germe, ces glucides sont largement constitués de fibres «insolubles» (18,5 %). Cette teneur découle de la proportion élevée de péricarpe et de couches sous corticales associés au germe issu de la meunerie. Ces particules étrangères expliquent également les taux faibles en protéines (27 % au lieu de 39 %) et des lipides (9,5 % au lieu de 16,5 %) (**Adrian, 2004**).

Les enzymes sont des protéines, qui jouent un rôle catalytique spécifique dans de nombreuses réactions chimiques. Leur fonctionnement est régulé par des facteurs environnementaux tels que la température, le pH et l'activité de l'eau (**Feillet, 2000**). Parmi les diverses enzymes présentes dans les différentes parties du grain, notamment le germe et la couche à aleurone, seules celles appartenant aux familles des hydrolases et des oxydoréductases ont été associées à la qualité des farines (**Tableau 04**) (**Feillet, 2000**).

Tableau 04 : Les enzymes dans le germe de blé (Nurt, 1991).

Les enzymes	Germe
Lipase	+++
Protease	+++
Lipooxygenase	+++
Oxydase	+++
Esterase	++
β amylase	+

+++ : Présence importante ++ : Présence notable + : Présence

1.6 Caractéristiques organoleptiques

Le germe de blé se présente sous forme de plaquettes écrasées minces de teinte jaune, vif légère à reflet verdâtre, de 3 à 6 mm de dimension, de forme irrégulière et légèrement allongée. Sa saveur est sucrée et grasse, rappelant la noix fraîche incomplètement mûre (Kiger et Kiger, 1967).

1.7 Extraction de germe en mouture du blé tendre

Le germe de blé, par sa teneur en huile et sa consistance plastique est aplati lors de son passage entre les cylindres lisses. De nombreux moulins disposent d'équipements spécialisés permettant de séparer le germe du son et des remoulages (Boudreau et Menard, 1992).

Sans système approprié, on ne peut séparer qu'une petite proportion des germes dont la grosse partie s'en va dans le son et les remoulages, après avoir été refusé avec les gros produits de broyage (Nuret, 1989).

Une faible proportion de germe est brisée par les cylindres de broyage en particules suffisamment fines pour traverser les garnitures des appareils de blutage. Ce germe, qui se retrouve dans les semoules sassées, peut atteindre les cylindres lisses qui l'aplatissent,

permettant ainsi de le séparer par blutage. Une quantité limitée de germe peut donc être recueillie par ce moyen.

1.8 Utilisation de germe de blé

Jusqu'à présent, l'utilisation rationnelle et efficace du germe de blé, considéré comme une ressource précieuse, reste largement inexploitée. Sa valeur exceptionnelle sur le plan nutritionnel et thérapeutique en fait un sous-produit idéal ainsi qu'un supplément alimentaire important pour enrichir divers produits. Aussi il est utilisé dans de nombreux domaines, notamment à des fins alimentaires, pharmaceutiques et biologiques (**Cong, 2022 ; Piras et al., 2009**).

Le germe de blé est largement reconnu comme une matière première nutritive à incorporer dans les formulations de produits alimentaires ou comme aliment à part entière car il constitue un élément indispensable d'une alimentation saine. Il est largement utilisé dans la fabrication de divers produits alimentaires, tels que le pain enrichi en germes, les collations et les suppléments de céréales pour petit-déjeuner. De plus, lorsque incorporé dans des aliments cuits, avec ses lipides caractéristiques et les propriétés fonctionnelles des protéines en l'occurrence une solubilité élevée, de bonnes propriétés émulsifiantes, il devient un ingrédient et un additif nutritionnel parfait pour les céréales et les produits de boulangerie et dans les boissons et d'autres (**Attia et al., 2010 ; Majzoobi et al., 2022 ; Mahmoud et al., 2015 ; Zhi-hui et al., 2023**).

Chapitre 02 : Extraction, qualité et utilisation de l'huile de germe de blé

Chapitre 2

Extraction, qualité et utilisation de l'huile de germe de blé

2.1 Définition de l'huile de germe de blé

Le germe de blé est un sous-produit de la mouture du blé à partir duquel l'huile de germe de blé (HGB) ou comme il est connu en latin *Triticum vulgare* peut être obtenue par différentes techniques. L'huile de germe de blé est composé de lipides non polaires, de glycolipides, de phospholipides, d'alcools, d'esters, d'alcènes, d'aldéhydes, de tocophérols, de n-alcanols, de stérols, de 4-méthylstérols, de triterpénols, d'hydrocarbures, de pigments et de composants volatil (Lacharme, 2011 ; Özcan et al., 2013).

L'extraction de cette huile du germe de blé est importante pour l'utilisation efficace de ses divers nutraceutiques potentiels qui ont des effets bénéfiques sur la santé. L'huile de germe de blé est utilisée en médecine, dans l'industrie cosmétique, agricole et alimentaire. Certaines de ses applications incluent la production de vitamines et de compléments alimentaires, l'alimentation animale (Özcan et al., 2013).

Pour une huile de germe de blé de meilleure qualité, des techniques telles que le fractionnement à des fluides supercritiques, la distillation moléculaire et d'autres méthodes innovantes peuvent être adoptée (Özcan et al., 2013).

2.2 Composition de l'huile de germe de blé

L'huile obtenue à partir du germe de blé s'avère être une bonne source de divers constituants nutritionnellement bénéfiques et présente d'importants avantages pour la santé et des propriétés fonctionnelles. L'huile de germe de blé est riche en tocophérols, en particulier en vitamine E. Il contient de l' α -tocophérol et du β -tocophérol qui lui confèrent divers avantages pour la santé (Özcan et al., 2013).

Le principal composant présenté par l'huile de germe de blé est une grande variété de stérols. Les 4- méthylstérols, les alcools triterpénoïdes, le -sitostérol et le campestérol sont tous des stérols végétaux (**Kachif et al., 2016**).

L'acide linoléique est l'acide gras de l'huile de germe de blé le plus abondant, représentant 42 à 59 % de la teneur totale en triglycérides, suivi de l'acide oléique (13 %) et de l'acide palmitique (16 %), suivi de l'acide linoléique (8 %) et de l'acide stéarique (0,8 %) (**Tableau 05**) (**Herbert et al., 2020 ; Jalil et al., 2021**).

L'huile de germe de blé contient de petites quantités de phytostérols (β -sitostérol et campestérol) et d' α -tocophérol (vitamine E) (**Herbert et al., 2020**).

Tableau 05 : Composition de l'huile de germe de blé extraite par divers méthodes (**Siraj, 2022**)

Composition d'acides gras (%p/p)	Extrait à l'hexane	Raffiné commercialement
Palmitique 16 : 0	16,7	15,8
Acide stéarique 18 : 0	0,77	0,72
Acide oléique 18 : 1	16,9	15,8
Acide linoléique 18 : 2 (n-6)	57,6	58,4
Acide alpha- linoléique 18 : 3 (n-3)	6,4	6,7
Acide gadoléique 20 : 1	1,7	1,6
Tocophérol (mg/kg)		
α -Tocophérol	1377	6,9
β -Tocophérol	1209	0,7
Stérols		
b-Sitostérol	2,77	2,59
Campestérol	0,67	0,63
Stigmastérol	0,25	0,21

2.3 Extraction de l'huile de germe de blé

Une fois le germe séparé lors du processus de broyage, il est soumis à un processus d'extraction d'huile. Cinq méthodes peuvent être utilisées pour séparer l'huile du germe de blé :

- ✓ Extraction par solvant organique,
- ✓ Extraction par pressage mécanique,
- ✓ Extraction par fluide aqueux, enzymatique et supercritique (**Dunford, 2005**).

L'huile de germe de blé est extraite commercialement du germe par pressage mécanique ou extraction par solvant. La méthode d'extraction par solvant est plus efficace puisque 99 % de l'huile peut être récupéré. Les solvants utilisés pour l'extraction de l'huile de germe de blé sont l'hexane, le 1, 2- dichloroéthane et l'éthanol. Le catabolisme des composants nutritionnels importants de l'huile de germe de blé peut être minimisé en évitant des températures d'extraction plus élevées et en utilisant des techniques telles que la pression à froid et l'extraction assistée par dioxyde de carbone supercritique (**Özcan et al., 2013**).

2.3.1 Stabilisation de germe de blé

Les procédés traditionnellement utilisés pour la stabilisation sont les suivants :

-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 (**Lebet, 2004**).

Sudha et al. (2007) et Srivastava et al. (2007) préconise une température allant de 100/130 °C. pour 2-3 h ou bien 200 °C. pour 8 à 12 min on peut également utiliser le four microonde à 750 W de puissance pendant 4 à 5 min ou à la puissance de 700 W pendant 12 min (**Pinrali et al., 2004**)

Pour **Yiqiang et al. (2001) et Arshad et al. (2007)** une température de 130 à 160 °C. pendant 20 à 25 min suffira largement pour détruire toute activité enzymatique (**Figure 04**).

-L'extraction des lipides : L'extraction des lipides de germe 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 États-Unis (**Yiqiang et al., 2001 ; Lebet, 2004 ; Zhu et Zhou, 2005 ; Arshad et al., 2007**).

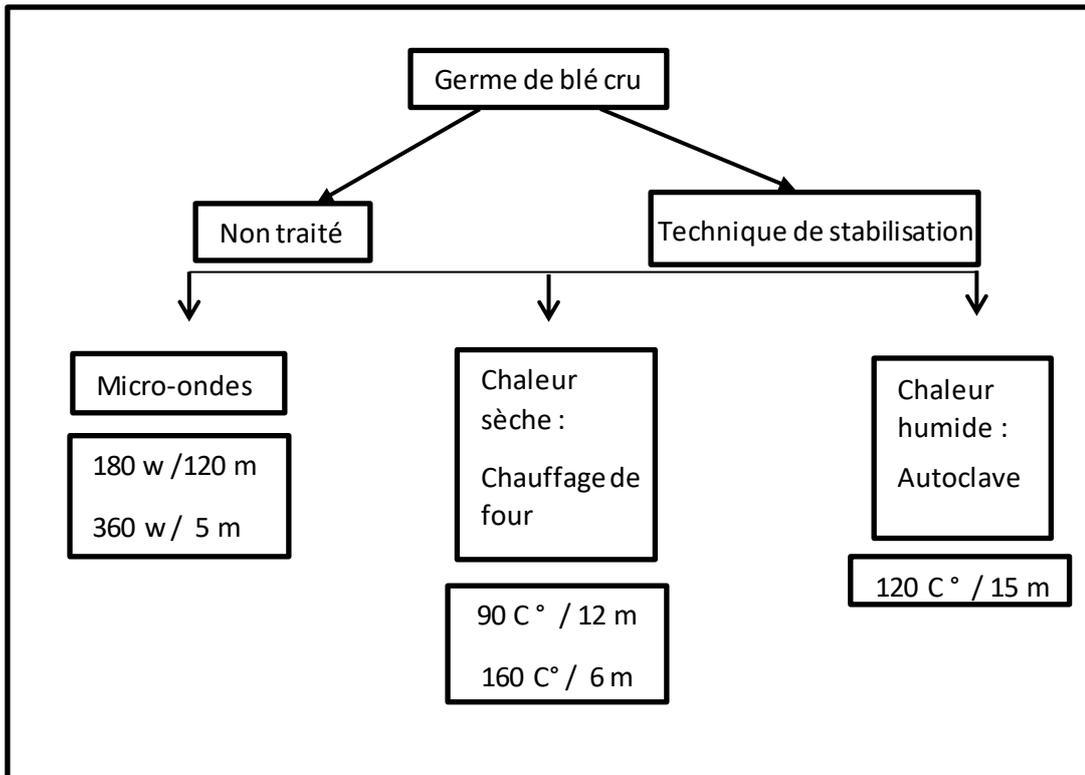


Figure 04 : processus de stabilisation par séchage (Arslan et al., 2020).

2.3.2 Méthodes d'extraction

Il y a différents processus d'extraction de l'huile de germe de blé tels que l'extraction commerciale à l'hexane, l'extraction par solvant sous pression, le CO₂ supercritique, le pressage à froid (Ananya et al., 2023) :

a-Extraction physique (pression)

L'extraction par pression à froid (la plus simple) donne un produit directement consommable. Couplée à des étapes physiques ou mécaniques. Elle est adaptée à la pratique artisanale (Daniel, 2018).

Le germe frais est pressé 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 (Figure 05) (Lebet, 2004).

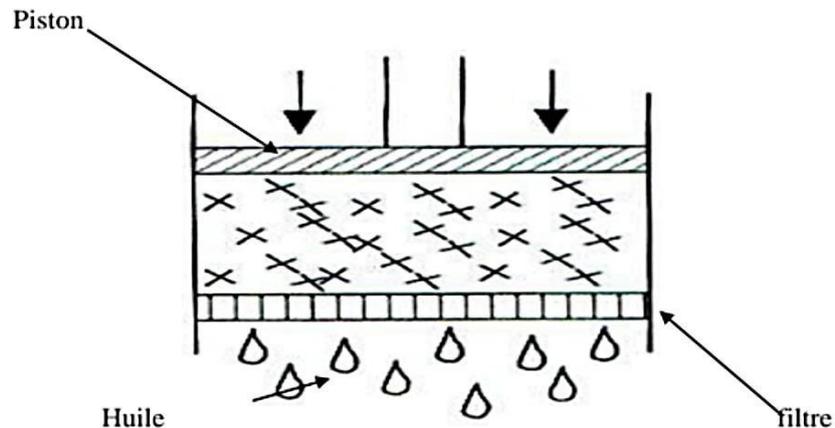


Figure 05 : Principe de l'extraction par pression (Swetman, 2008).

a-Extraction par solvant organique (à froid)

L'extraction par solvant organique volatil reste la méthode la plus pratiquée. Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, le cyclohexane, l'éthanol moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone (Legrand, 1993 ; Dapkeveciuc et al., 1998 ; Kim et Lee, 2002).

Une extraction par solvant consiste à extraire une espèce chimique d'un milieu solide ou liquide par solubilisation dans un solvant. Lorsque l'espèce chimique est extraite d'un liquide (mélange ou solution), ce liquide et le solvant extracteur doivent être non miscibles. Au cours de l'extraction on obtient deux phases (ou parties non mélangées). La phase supérieure correspond au liquide dont la densité est la plus faible (Bruneton, 1993).

b- Extraction par Soxhlet (à chaud)

L'extraction par Soxhlet, qui a été employé longtemps, est une technique standard et la référence principale pour évaluer la performance d'autres méthodes d'extraction solide-liquide. L'extraction par Soxhlet est une technique générale et bien établie, et qui dépasse en performance les autres techniques conventionnelles d'extraction (Luque et al., 2004).

Dans un système conventionnel de Soxhlet, la matrice végétale est placée dans une cartouche, et rempli de solvant frais condensé à partir d'un ballon à distiller (**Figure 06**). Quand le liquide atteint le niveau de débordement, un siphon aspire la solution de la cartouche et de la décharge de nouveau dans le ballon à distiller, portant les corps dissous extraits dans le liquide en bloc. Dans le ballon, le corps dissous (soluté) est séparé du solvant par distillation. Le soluté reste dans le flacon et le solvant frais passe de nouveau dans le lit de solide. L'opération est répétée jusqu'à ce que l'extraction soit réalisée (**Aafi , 1996**).

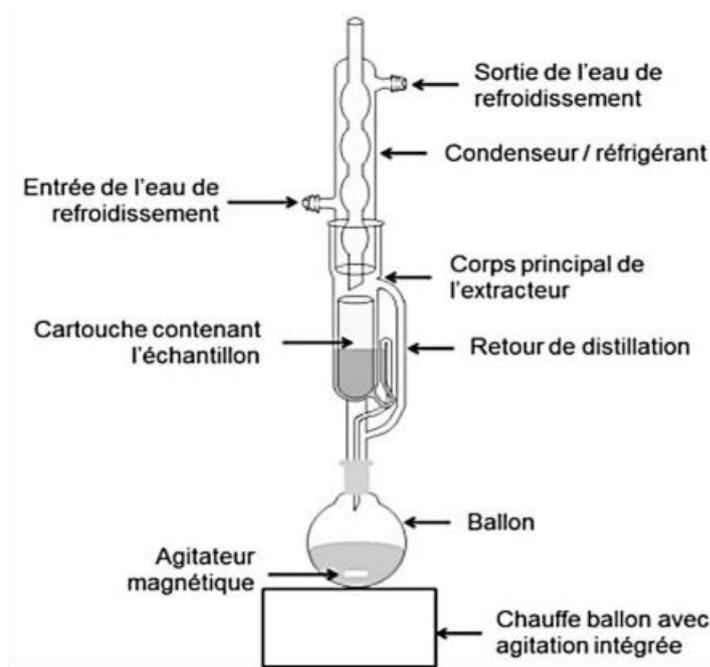


Figure 06 : Appareil de Soxhlet (**Do Tien, 2016**).

d-Les Agro-solvants

À l'instar de la raffinerie de pétrole, le concept de bioraffinerie, né dans les années 1980, vise à exploiter les plantes dans leur intégralité pour obtenir différents produits ayant des usages divers : biocarburants, agro-matériaux, polymères, tensioactifs... et solvants (**Kamm et al., 2004**). Les solvants d'origine végétale issus de cette industrie, encore émergente, constituent l'une des catégories de solvants de substitution.

Issus au moins pour partie de matières premières renouvelables, ils présentent l'avantage d'offrir une alternative aux ressources fossiles et un bilan environnemental positif. Ces molécules se distinguent de certains solvants dits « verts », comme les esters dibasiques (**Massawe et al., 2008**) ou les liquides ioniques (**Rogers et al., 2003**), possédant de bons profils environnementaux et toxicologiques, mais synthétisés à partir du pétrole. Les agro-solvants se regroupent en différentes catégories et l'on distingue souvent d'une part ceux issus de la

sucrochimie et d'autre part ceux issus de la lipochimie.

Les principales sources d'agro-solvants On distingue trois types d'agro-solvants classés en fonction de la filière dont ils sont issus :

La filière céréalière/sucrière : les agro-solvants issus de cette filière sont principalement obtenus à partir de la fermentation naturelle des jus sucrés contenus dans les plantes telles que la betterave à sucre, la canne à sucre, le blé, le maïs, etc. L'éthanol d'origine végétale, encore appelé bioéthanol, est issu de la fermentation des sucres contenus dans différentes matières premières agricoles : les plantes saccharifères (betterave sucrière, canne à sucre), les plantes amylacées (**Frederic et al., 2013**).

La filière bois : les solvants de cette classe sont produits principalement à partir des conifères tels que le pin ou d'écorces de fruits. Les principaux solvants issus de cette filière sont les hydrocarbures terpéniques de type $C_{10}H_{16}$, monocycliques (d-limonène) et bicycliques (α et β pinène). Le d-limonène est produit par distillation à partir des sous-produits générés par l'industrie d'extraction du jus d'orange. L' α -pinène et le β -pinène, peuvent être obtenus par distillation d'oléorésines contenues dans le pin ou encore être extraits des essences de térébenthine après distillation des résines de bois ou des liqueurs noires de papeteries (**Meier, 1993**).

Parmi les différents agro-solvants cités, les terpènes présentent d'intéressantes propriétés physico-chimiques pour l'extraction des huiles végétales en raison de leur caractère apolaire et de leur faible poids moléculaire (**Frederic et al., 2013**).

e-Extraction par fluide supercritique

L'extraction par fluide supercritique, est une technique verte et innovante, qui est de plus en plus utilisée. La spécificité des fluides supercritiques repose sur leurs propriétés physiques, qui peuvent être modulées par une augmentation de pression et/ou température, au delà de leurs valeurs critiques, conduisant ainsi à une augmentation du transfert de masse avec le soluté à extraire (**Williams et al., 2000**).

Ces propriétés permettent également d'ajuster la sélectivité solvant d'un fluide supercritique vers un composé cible, ce qui est particulièrement souhaitable dans le cas de l'extraction (Michielin et al., 2005). Les fluides supercritiques présentent l'avantage de ne laisser aucun résidu dans l'extrait et la matière ; le dioxyde de carbone est le fluide le plus utilisé pour cette opération, ce fluide a l'avantage d'être moins coûteux, non toxique et chimiquement inerte.

-CO₂ supercritique

Il est largement utilisé car il est non corrosif, non inflammable et d'une grande pureté (environ 99 %), le CO₂ supercritique est aussi utilisé dans les produits pharmaceutiques. Il a également la propriété d'avoir une température critique basse sans dégrader le solvant (Figure 07) (Ananya et al., 2023)

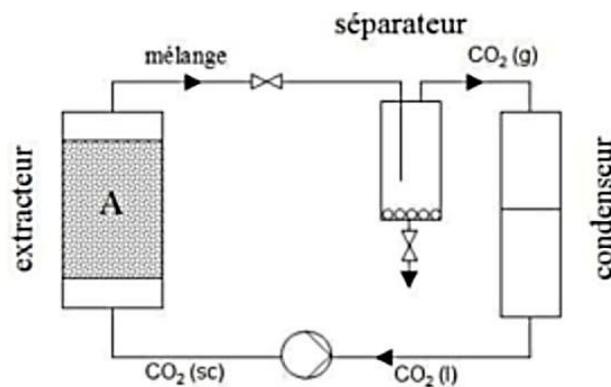


Figure 07 : Schéma d'une installation d'extraction par CO₂ supercritique (Sovová et al., 2011)

2.4- Conservation de l'huile de germe de blé

L'huile de germe de blé est sensible à l'oxydation en raison de la quantité élevée d'acide linoléique et l'intensité de la couleur en est affectée. Il est également instable dans les conditions de stockage et possède des propriétés de cuisson défavorables (Ananya et al., 2023).

L'huile de germe de blé doit être conservée au froid pour éviter toute détérioration. L'huile de germe de blé, en vrac ou en capsules, conserve une efficacité fiable très peu plus de huit semaines, même lorsqu'elle est conservée ainsi (Evan, 1938).

2.5 Qualité de l'huile de germe de blé

2.5.1 Qualité nutritionnelle

Le germe de blé ne constitue qu'environ 2 % du grain de blé entier et contient environ 8 à 14 % d'huile, qui est riche en phosphore (1,4 g/kg), ne contient pas d'amidon mais est riche en vitamines B (B1, B2, B3, B5, B6). Riche en acides gras et considérée comme la plus forte teneur en tocophérol (Vitamine E) de toutes les huiles végétales, jusqu'à environ 2 500 mg/kg. (Hoseney 1986 ; Brandolini et al., 2012 ; Ozcan et al., 2013 ; Kachif et al., 2016 ; Cong et al., 2022).

2.5.2 Qualité physico-chimique

Les propriétés physico-chimiques de l'huile de germe de blé comprennent un indice de réfraction de 1,4700 à 1,4800, une densité spécifique de 0,9000 à 0,9300 g/cm³, un indice d'iode de 120 à 130 gI₂/100. La teneur en acides gras libres dans l'huile de germe de blé est généralement inférieure à 60 g/kg si l'huile est stockée sans stabilisation. La teneur en acides gras libres de l'huile extrait au solvant est inférieure à celle obtenue par pressage (Dunford, 2009). L'huile de germe de blé a un indice de peroxyde de 20 me/kg (Zhu et al., 2006).

2.5.3 Qualité microbiologique

La teneur élevée en éléments nutritifs du germe de blé le rend sensible à la contamination microbienne, entraînant une agglomération, une fermentation ou le développement de moisissures. Pour limiter l'activité enzymatique du germe de blé, plusieurs procédés de stabilisation ont été appliqués (Dunford et al., 2008).

2.5.4 Qualité organoleptique

Huile de germe de blé (HGB) brut, qui est généralement de couleur foncée liquide clair et coloré, avec une odeur et une saveur fortes en fonction des conditions oxydatives (Jamieson et al., 1932 ; Barnes, 1983 ; Siraj, 2022).

2.6- Utilisation de l'huile

Le germe de blé brut contient 10 % d'huile, l'extraction de l'huile à partir de ce dernier peut ouvrir de nouvelles opportunités pour son utilisation plus large à l'avenir. Aux États-Unis, l'huile de blé est vendue principalement dans les magasins d'aliments naturels comme complément nutritionnel (Nara et al., 1983, Sakhawat et al., 2013 ; Kadous et al., 2014).

L'huile de germe de blé est largement utilisée dans divers domaines tels que

l'alimentation en tant qu'ingrédient de préparation, l'agriculture biologique comme agent de contrôle des insectes, antioxydant et additif dans les aliments naturels et dans l'industrie pharmaceutique et le secteur de la cosmétique (**Piras et al., 2009 ; Ozcan et al., 2013**).

Huile de germe de blé en raison de leurs constituants chimiques (les vitamines E et D), est utilisé dans de nombreuses maladies potentiellement mortelles comme le cancer, le diabète, les maladies parasitaires, l'inflammation, (**Ananya et al., 2023**).

Les résultats enregistrés à partir des différentes études ont confirmés les effets bénéfiques d'huile de germe de blé essentiellement en raison de leur teneur élevée en acides gras insaturés. Pour but de réduire les risques de maladie cardiovasculaire, l'huile a la capacité de promouvoir l'endurance physique et retarde le vieillissement (**Leenhardt et al., 2008**).

Partie 02 : Expérimentations

Chapitre 03 :

Matériel et méthodes

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1 Démarche expérimentale

Notre étude a été réalisée durant une période de trois mois allant de début de Mars jusqu'à le mois de Juin de l'année 2024 au niveau de :

- ✓ Meunerie AGRODIV (Blida), une industrie de renom en Algérie, spécialisée dans la fabrication de farine, de blé et de semoule.
- ✓ Laboratoire des analyses physico-chimiques de L'ISTA université de Blida 1.
- ✓ Laboratoire de Génie chimie de l'université de Blida 1.

Nous avons effectué un stage pratique au niveau de l'entreprise AGRODIV (Blida) et évaluer l'état des lieux de la production de germe de blé à travers un questionnaire.

Nous avons recueilli des échantillons de germe de blé tendre (matière première) au sein de l'entreprise AGRODIV pour commencer notre étude de valorisation de germe de blé par extraction d'huile.

Le travail de base a été réalisé au niveau du laboratoire de l'Institut des sciences et techniques appliquées de l'ISTA Université de Blida 1, où nous avons réalisé les analyses physico-chimiques de germe de blé (caractérisation de la matière première), la stabilisation de germe, l'extraction d'huile de germe et quelques analyses physico-chimiques de notre produit fini.

Autres analyses sont effectués au sein de laboratoire de génie chimie de l'université de Blida 1.

3.2 Objectif

L'objectif principal de notre travail est de valoriser le germe de blé par l'extraction d'huile en utilisant différentes conditions de stabilisation thermique. Pour ce faire, nous avons utilisé quatre échantillons de germe de blé : un témoin non stabilisé, et trois échantillons stabilisés à des températures de 60 °C, 90 °C, et 120 °C.

Dans un premier temps, nous avons effectué les analyses physico-chimiques de la matière première sur le germe non stabilisé. Ensuite, nous avons procédé à l'extraction de l'huile pour les quatre échantillons en utilisant une méthode d'extraction par solvant. Enfin, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques de l'huile extraite de chaque échantillon de germe de blé pour évaluer l'impact des différentes conditions de stabilisation thermique sur la qualité et les propriétés de l'huile obtenue et choisir les meilleures conditions d'extraction.

3.3 État des lieux sur la production de germe de blé

Avant de commencer notre travail de valorisation du germe de blé par extraction de l'huile, nous avons réalisé un état des lieux sur la production et la valorisation du germe de blé. Pour cela, nous avons rempli un questionnaire comportant 14 questions, adressé à monsieur Bousaadi le responsable de production de farine de blé tendre.

Ce questionnaire (**Annexe 01**) visait à recueillir des informations sur les pratiques de production, les volumes de produits, les méthodes de valorisation actuelles et les défis rencontrés par l'entreprise. Ces données préliminaires nous ont permis de mieux comprendre le contexte et de définir les objectifs spécifiques de notre projet d'extraction d'huile.

3.4 Matière première

Notre matière première utilisée a été récupéré à la meunerie de AGRODIV le mardi 16 avril 2024, Le germe de blé apporté était constitué d'un mélange de blé tendre de différentes variétés (un mélange de blé tendre local et importé).

Une fois que les grains de blé tendre ont été nettoyés et conditionnés, ils sont ensuite réduits en particules plus ou moins grosses dans les cylindres cannelés des broyeurs.

Les grosses et moyennes particules du grain contenant le germe, provenant des trois premiers broyeurs (B1, B2, B3), sont séchées avant d'être envoyées vers les sasseurs, puis vers les claqueurs pour être aplaties par les cylindres lisses. Ensuite, se dirige vers le claqueur **R3** où il atteint la limite maximale d'aplatissement afin de créer un refus à l'aide de **tamis** d'ouverture des mailles de **1250 micromètres**.

Le tamisage permet de séparer les germes de blé car ils sont plus aplatis que les sons. Le germe se manifeste sous la forme de petites plaquettes écrasées plus ou moins arrondies, à odeur distinctive, à saveur sucrée, d'une couleur jaunâtre, le germe de blé tendre étudié est présenté par la figure suivante :



Figure 08 : Germe de blé tendre (**Original, 2024**).

3.5 Matériel, solvants et réactifs

Le matériel, les solvants et les réactifs utilisés pour la réalisation de notre étude sont mentionnés dans (**Annexe 02**) et le **Tableau 06**.

Tableau 06 : Classification des réactifs, solvants et matériel utilisés.

Matériel	Solvant	Réactifs
-Etuve	-Méthanol CH ₃ OH	-Acide sulfurique H ₂ SO ₄
-Four à moufle	-Ethanol C ₂ H ₅ OH	-Acide borique H ₃ BO ₃
-Appareil d'extraction de type SOHXLET	-Chloroforme CHCl ₃	-Hydroxyde de sodium NaOH
-Rota-vapeur	-Ether de pétrole	-Sulfate de cuivre CuSO ₄
-Appareil de dosage de protéine DHJELDAHL		-Sulfate de potassium K ₂ SO ₄
-Spectrophotomètre UV-Visible		-Réactif de Wijs
-Aw-mètre		-Acide acétique CH ₃ COOH
-PH-mètre		-Iodure de potassium KI
-Centrifugeuse		-Thiosulfate de sodium Na ₂ S ₂ O ₃
-Distillateur		-Phénolphtaléine C ₂₀ H ₁₄ O ₄
-Réfractomètre		-Acide chlorhydrique HCl
		-Folin-Ciocalteu
		-Bicarbonate de sodium NaHCO ₃
		-Acide gallique C ₇ H ₆ O ₅
		-DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) C ₁₈ H ₁₂ N ₅ O ₆

3.6 Échantillonnage

Prélèvement d'environ 6 Kg de germe blé tendre manuellement dans des sacs scellés. L'échantillon a été immédiatement transféré au laboratoire afin de commencer directement le travail pratique pour éviter l'oxydation.

3.7 Stabilisation du germe de blé

La stabilisation du germe de blé est une étape cruciale en raison de sa sensibilité à s'oxyder rapidement, ce qui peut altérer ses qualités nutritionnelles et sa durée de conservation. Pour prévenir cette oxydation, nous avons soumis des échantillons de germe de blé à différentes températures de traitements.

Ce processus de stabilisation vise à inactiver les enzymes responsables de l'oxydation, préservant ainsi la qualité du germe pour une extraction d'huile plus efficace et durable. La comparaison des échantillons stabilisés avec le germe témoin nous permet d'évaluer l'impact de chaque température sur les propriétés physico-chimiques du germe de blé et de l'huile extraite.

-Séchage par étuvage :

Une masse de 50 g de germe de blé a été pesée, en triple, et traitée comme suit : chaleur sèche par (étuve) (**Figure 09**).

Le séchage dans l'étuve a été effectué à 60, 90, et 120 °C pendant 20, 12 et 8 minutes, respectivement, à l'aide d'une étuve électrique de type laboratoire équipée d'un système de circulation d'air chaud forcé (**Binder**). Les échantillons ont été répartis également sur des plateaux recouverts de papier cuisson qui contient des petits trous laisse passer l'air chaud (40 cm x 20 cm /longueur x largeur) jusqu'à une épaisseur approximative de 0,3 cm. Les échantillons ont été placés dans l'étuve une fois la température réglée atteinte. A la fin des traitements, les échantillons ont été refroidis à température ambiante dans un dessiccateur.

Chaque échantillon a été placé dans un sac en plastique polyéthylène séparé et conservé à 4 °C. dans le réfrigérateur. Un échantillon non traité a été utilisé comme contrôle.

Le protocole de stabilisation de germe de blé d'**Arslan et al. (2020)** a été adopté en apportant quelques modifications.



Figure 9 : Stabilisation de germe de blé tendre par étuve (**Original, 2024**).

3.8. Caractérisation du germe de blé stabilisé et non stabilisé

Avant de commencer l'extraction d'huile, il est essentiel de réaliser une série d'analyses physico-chimiques pour évaluer les propriétés de germe utilisé. Pour le germe témoin non stabilisé et les germes stabilisés à 60 °C, 90 °C, et 120 °C. Nous avons mesuré l'humidité, les cendres, les lipides, les teneurs en protéines, l'activité de l'eau (a_w), ainsi que l'acidité et le pH. Ces caractérisations initiales sont cruciales pour établir un profil de référence et comprendre

l'effet des différentes températures de stabilisation sur les propriétés du germe de blé, avant d'aborder l'étape de l'extraction d'huile et l'analyse de l'huile obtenue.

3.8.1 Acidité titrable et pH

L'acidité titrable (TA) a été déterminée sur 10 g de germe de blé homogénéisé avec 90 mL d'eau distillée et titré par une solution de 0,1 mol NaOH en présence de phénolphtaléine pour obtenir un pH de 8,5. La valeur du pH a été déterminée par un pH-mètre (**METTLER TOLEDO**) (**Marti et al., 2014**).

$$\text{Acidité \%} = \frac{7,35 \times (v1 - v0) \times T}{m}$$

Où :

V1 : est le volume, en millilitres, de la solution NaOH utilisée pour la détermination ;

V0 : est le volume, en millilitres, de la solution NaOH utilisée pour l'essai à blanc ;

m : est la masse, en grammes, de la prise d'essai ;

T : est le titre exact de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée ;

3.8.2 Activité d'eau

L'activité de l'eau (a_w) a été mesurée par un hygromètre électronique (**NOVASINA**), basé sur la détermination du point de rosée et préalablement calibré avec des solutions étalons de LiCl et NaCl d'activité connue (**Marti et al., 2014**).

3.8.3 Teneur en eau (**JORA, 2013**)

-Principe

Séchage du produit à une température comprise entre 130 °C et 133 °C, à pression atmosphérique normale, après broyage éventuel du produit.

-Préparation des capsules

Avant utilisation, les capsules découvertes et leurs couvercles doivent être séchées à l'étuve durant 15 min à 130 °C puis refroidies dans le dessiccateur jusqu'à la température du laboratoire (entre 30 min et 45 min).

-Prise d'essai

Peser rapidement, à 1 mg près, une quantité de substance d'environ 5 g dans la capsule tarée, couvercle compris.

Produits nécessitant un broyage :

-Déshydratation

Introduire la capsule découverte contenant la prise d'essai et son couvercle dans l'étuve et les y laisser séjourner pendant 2 heures, temps compté à partir du moment où la température de l'étuve est à nouveau comprise entre 130 °C et 133 °C.

Le temps d'étuvage écoulé, retirer rapidement la capsule de l'étuve et la placer dans le dessiccateur où elle restera jusqu'à atteindre la température du laboratoire (en général entre 30 et 45 min).

-Expression des résultats

La teneur en eau exprimée en pourcentage en masse du produit telle qu'elle est donnée par la formule ci-après :

$$H(\%) = 100 \times \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$$

Où :

m_0 : est la masse, en grammes, de la capsule et de son couvercle.

m_1 : est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai avant séchage.

m_2 : est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai après séchage.

3.8.4 Taux de cendres (JORA, 2013)**-Principe :**

Incinération d'une prise d'essai jusqu'à combustion complète des matières organiques puis pesée du résidu obtenu. Le résidu obtenu est floconneux après incinération à 550±10 °C.

-Mode opératoire**-Préparation de la prise d'essai**

À partir de l'échantillon pour essai préparé et soigneusement homogénéisé, peser rapidement à 0,1 mg près une prise d'essai comprise entre 4,9 g et 5,1 g dans le cas d'une incinération à 550 °C. Dans la capsule à incinération préparée et tarée comme décrit en, répartir le produit, sans le tasser, en une couche uniforme.

-Pré-incinération

Placer la capsule et son contenu à l'entrée du four porté à la température d'incinération. A 550 °C. Il est nécessaire d'ajouter de l'éthanol pour les enflammer. Pour une pré-incinération à 550 °C, il est permis d'introduire les nacelles dans le four froid et de laisser le four monter en température.

-Incinération

Attendre que le produit ait fini de brûler puis introduire la capsule à l'intérieur du four. Fermer la porte du four. Poursuivre l'incinération jusqu'à combustion complète du produit, y compris des particules charbonneuses contenues dans le résidu soit 4 h minimum après la remontée du four à 550 °C.

Une fois l'incinération terminée, retirer la capsule du four, et la mettre à refroidir dans le dessiccateur. Pour maintenir l'efficacité du dessiccateur, ne pas superposer les capsules. Dès que la capsule a atteint la température ambiante (soit 15 min à 20 min pour les capsules en platine et 60 min à 90 min minimum pour les capsules en quartz ou en silice), pesé à 0,1 mg près et rapidement en raison du caractère hygroscopique des cendres.

Dans le cas de l'incinération à 550°C, des précautions particulières doivent être prises à l'entrée d'air et lors de l'ouverture du dessiccateur pour ne pas entraîner les résidus floconneux.

-Expression des résultats

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière brut exprimé en pourcentage, est donné par l'équation :

$$CT (\%) = (M1 - M0 / m) \times 100$$

Où :

CT : Cendres totales (%)

M0 : masse du creuset vide (en gramme)

M1 : masse du creuset contenant les cendres (en gramme)

m : masse de la prise d'essai (en gramme)

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique des deux déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies.

3.8.5 La teneur en lipides totaux**-Principe**

La teneur en lipides totaux est déterminée selon la norme **AFNOR NFV03-712 (1984)**, l'analyse consiste à :

L'extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de type SOHXLET (BHEHR) pendant 4-6 heure. L'élimination de l'hexane par rota-vapeur (HEIDLPH) puis séchage de l'extrait lipidique dans une étuve.

-Mode opération

Sécher les ballons de 500 ml à l'étuve à 150 °C, puis les refroidir. Peser les ballons puis introduire 10 g d'échantillon dans des cartouches. Placer les cartouches de l'appareil SOHXLET. Verser 300 ml d'hexane ou d'éther de pétrole dans chaque ballon. Placer les ballons sur la chauffe ballon pendant 5 heures. Après, éliminer le solvant du ballon. Sécher le résidu du ballon dans une étuve à 100 °C. Refroidir les ballons. Peser les ballons avec l'huile.

-Expression des résultats

$$\text{Taux de lipides (\%)} = 100 \times (P_f - P_i)/M$$

P_f: poids du ballon contenant les lipides (g).

P_i: poids initial (ballon vide) (g).

M: prise d'essai

3.8.5 Les protéines ISO 20483-2013**Principe :**

Minéralisation d'une prise d'essai par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation et récupération de l'ammoniac libéré dans une solution d'acide borique, qui est titré par une solution d'acide sulfurique afin de déterminer la teneur en azote et de calculer la teneur en protéines brutes à l'aide de l'appareil de dosage de protéine (BEHR).

-Minéralisation

Introduire la prise d'essai dans le tube de minéralisation. Ajouter ensuite le nombre nécessaire de pastilles de catalyseur contenant 10 g de sulfate de potassium, 0,30 g de sulfate de cuivre pentahydraté et 0,30 g d'oxyde de titane. Terminer par l'ajout de 20 ml d'acide sulfurique.

Mélanger soigneusement de manière à assurer un mouillage complet de la prise d'essai. Placer les tubes dans le bloc de minéralisation préchauffé à (420±10) °C.

Après un minimum de 2 h de minéralisation, compté à partir du moment où la température est revenue à (420±10) °C, laisser refroidir.

-Distillation

Dans le tube refroidi, ajouter avec précaution 50 ml d'eau et laisser refroidir. Introduire dans le flacon collecteur 50 ml d'acide borique et dans le cas d'un dosage colorimétrique (visuel ou par sonde optique), au moins 10 gouttes d'indicateur coloré.

Ajouter un excédent de 5 ml de la solution d'hydroxyde de sodium nécessaire pour neutraliser la quantité d'acide sulfurique mise en œuvre. Procéder ensuite à la distillation. En fonction du matériel, les quantités de réactifs utilisées peuvent varier.

-Titrage

Effectuer le titrage à l'aide de la solution d'acide sulfurique 0.1 N soit en continu en cours de distillation, soit en fin de distillation sur l'ensemble du distillat. La détermination du point d'équivalence peut être réalisée par colorimétrie visuelle, colorimétrie automatique ou par pH-mètre.

-Expression des résultats

Teneur en azote

La teneur en azote exprimée en fraction massique de produit sec, en pourcentage (%), est obtenue à l'aide de la Formule (1) :

$$w_n = \frac{(V_1 - V_0) \times T \times 0.014 \times 100}{m} + \frac{100}{100 - w_h}$$

Où :

V_0 : est le volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique nécessaire pour l'essai à blanc.

V_1 : est le volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique nécessaire pour la prise d'essai.

0,014 : est l'expression, en grammes, de la quantité d'azote équivalant à l'utilisation de 1 ml d'une solution d'acide sulfurique 0,5 mol/l.

T : est la normalité de la solution d'acide sulfurique utilisée lors du titrage.

M : est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

w_h : est la teneur en eau déterminée conformément.

Calculer la teneur en protéines brutes du produit sec en multipliant la valeur obtenue lors de la détermination de la teneur en azote par un facteur de conversion adapté au type de céréales (5,7 pour le blé) (**ISO 20483-2013**)

3.9 Extraction d'huile de germe

Après avoir caractérisé le germe de blé en réalisant des analyses physico-chimiques sur les quatre échantillons (germe témoin non stabilisé et germes stabilisés à 60 °C, 90 °C, et 120 °C), nous avons procédé à l'extraction de l'huile de germe de blé. Cette extraction a été effectuée par une méthode d'extraction par solvant, en utilisant de l'éther de pétrole à froid.

-Extraction par solvant (éther de pétrole) à froid

Le germe de blé différemment stabilisé et le témoin ont d'abord été réduit en poudre par un robot broyeur, puis mélangé et extrait avec de l'éther de pétrole dans un rapport de 1:3 (m/V) à température ambiante pendant 2 heures d'agitation. Le surnageant a été séparé sous vide après filtration pour éliminer la farine de germe de blé et le solvant a été évaporé par un évaporateur rotatif (HEIDOLPH) pour récupérer l'huile. Le protocole (Figure 10) de Liu et al. (2023) a été adopté en apportant quelques modifications.



Figure 10 : Les étapes d'extraction d'huile de germe de blé par solvant (Originale, 2024).

3.10. Caractérisation de l'huile

Après l'extraction par solvant, nous avons procédé à la caractérisation de l'huile de germe de blé extraite des quatre échantillons. Les analyses effectuées incluent la détermination du rendement d'extraction, de l'indice d'acide, de l'indice d'iode, et de l'indice de peroxyde. De plus, nous avons mesuré la teneur en polyphénols et évalué l'activité antioxydant en utilisant la méthode DPPH, toutes deux réalisées par spectrophotométrie UV-vis. Ces analyses nous permettent d'évaluer la qualité et les propriétés fonctionnelles de l'huile obtenue en fonction des différentes conditions de stabilisation des germes de blé.

3.10.1 Rendement d'extraction

Le rendement est la masse de l'extrait obtenu après évaporation du solvant par rapport à la masse initiale du germe soumise à l'extraction. Le taux d'huile constant a été calculé par la formule suivante (**Carré, 1953**) :

$$R(\%) = (M_{\text{éxt}}/M_{\text{éch}}) \times 100$$

R: le rendement en %.

Méxt: la masse de l'extrait après évaporation du solvant en g.

Méch: la masse sèche de germe de blé en g

3.10.2 Indice de réfraction

-Principe

A l'aide d'un réfractomètre, on mesure directement l'angle de réfraction que l'on observe à la limite de réfraction totale l'huile étant maintenue dans des conditions d'iso-tropisme et de transparence.

-Mode opératoire

Premièrement on nettoie la lame du réfractomètre en utilisant du papier Joseph. Puis on passe à étalonner l'appareil avec de l'eau distillée dont l'indice de réfraction est égal à 1,33 et on nettoie la lame du réfractomètre en utilisant du papier Joseph. Pour effectuer la lecture on doit déposer quelques gouttes d'échantillon dans la lame de réfractomètre et régler le cercle de chambre sombre et claire dans la moitié. L'indice de réfraction a été déterminé comme suit:

$$N'' = N' - 0.00035 (t - t')$$

N'' : Indice de réfraction à température t'

N' : Indice de réfraction lu sur le réfractomètre.

t : Température de l'échantillon pendant l'analyse (température ambiante).

t' : Température égale à 40°C.

0,00035 : Variation de l'indice de réfraction des triglycérides par degré au voisinage de 20°C.

3.10.3 Indice d'acide (ISO 660 Deuxième édition 15-05-1996)

- Principe

Consiste à la neutralisation uniquement des acides gras libres par une solution de KOH à chaud en présence de phénolphtaleine ces derniers se caractérisent par le virage de la couleur vers le rose.



- Mode opératoire

Dans un Erlenmeyer, on pèse 10 g de l'huile à analyser puis on rajoute 75 ml de solution d'alcool neutralisée (éthanol) en ajoute quelques gouttes d'un indicateur coloré phénolphthaleine. On titre la solution avec le KOH à 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante (10 secondes) et noter le volume de KOH pour neutralisation.

-Calculs et expression des résultats

$$\text{Indice d'acide} = M_1 \times V \times N / P$$

$$\text{Acidité \%} = (M \times N \times V) / (p \times 10).$$

Où :

M₁: masse molaire de KOH = 56,1 g/mol.

M: masse molaire d'acide oléique = 282g/mol.

N: normalité de KOH à 0,1 N.

V: volume de KOH nécessaire au titrage.

P: poids de la prise d'essai.

3.10.4 Indice d'iode (AFNOR T60 203)

L'indice diode est le nombre de grammes d'iode fixés par 100 grammes d'huile.

-Principe

On additionne au corps gras en solution dans le chloroforme, un excès d'halogénure d'iode ou réactif de Wijs. On détermine l'excès d'iode par addition d'iodure de potassium et d'eau, on titre l'iode libéré par une solution de thiosulfate de Sodium (0,1 N).

-Mode opératoire

Introduire la prise d'essai (0,13 g d'huile) dans une fiole de 500 millilitres. Ajouter 20 millilitres de solvant pour dissoudre l'huile. Ajouter exactement 25 millilitres du réactif de Wijs, boucher, agiter le contenu et placer la fiole dans un endroit sombre pendant une heure. Préparer un essai à blanc avec le solvant et le réactif mais sans la prise d'essai. Une fois ce laps de temps écoulé, ajouter 20 millilitres de la solution d'iodure de potassium et 150 millilitres d'eau dans chaque fiole. Titrer avec la solution thiosulfate de sodium 0,1 N en présence d'empois d'amidon jusqu'à ce que la couleur jaune due à l'iode ait pratiquement disparu.

Ajouter quelques gouttes de la solution d'amidon et poursuivre le titrage jusqu'au moment où la couleur bleue disparaît après avoir agité vigoureusement le contenu (Wolf, 1968 ; AFNOR, 1981).

-Expression des résultats

L'indice d'iode est donné comme suit:

$$I_i = (12,96 C (V_1 - V_2)) / M$$

V_1 : volume, en millilitres, de la solution Na₂S₂O₃ utilisé pour l'essai à blanc.

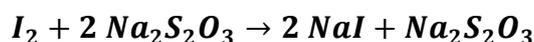
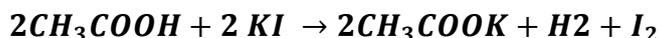
V_2 : volume, en millilitres, de la solution Na₂S₂O₃, utilisé pour la détermination.

M : masse, en gramme, de la prise d'essai.

3.10.5 Indice de peroxyde (ISO 3960 Quatrième édition 2007).

-Principe

Il consiste à un traitement d'une quantité d'huile en solution dans l'acide acétique et le chloroforme par une solution d'iodure de potassium (KI), le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré.



-Mode opératoire

Peser 5g d'huile à 0,01g près dans un erlenmeyer, ajouter 12 ml de chloroforme et 18 ml d'acide acétique puis incorporer à cette solution 1 ml d'iodure de potassium KI (0,5g dans 1 ml d'eau distillée). Agiter la solution pendant 1 minute et mettre à l'abri de la lumière pendant 5 minutes puis ajouter 75 ml d'eau distillée et agiter vigoureusement en présence d'empois d'amidon. Titrer avec le thiosulfate de sodium (Na S₂O) à 0,01 N jusqu'à l'apparition de la couleur transparente et parallèlement effectuer un essai à blanc (sans huile).

-Expression de calcul

L'indice de peroxyde est donné par la relation suivante :

$$I_p \text{ (méq g O}_2\text{/kg MG)} = (N \times (V_1 - V_0) \times 1000) / P$$

V_0 : volume de la solution de thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en ml.

V_1 : volume de thiosulfate de sodium utilisé en ml.

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0,01 N.

P: prise d'essai en gramme.

Ip: indice de peroxyde exprimé en milliéquivalent gramme d'oxygène actif par kilogramme de matière grasse.

3.10.6 Indice de saponification (NORME FRANÇAISE T60 206)

L'indice de saponification est la quantité de potasse exprimée en milligrammes nécessaires pour saponifier 1 gramme d'huile.

-Principe

La prise d'essai est soumise à une ébullition à reflux avec une solution d'hydroxyde de potassium puis titrée par l'acide chlorhydrique (HCL) en présence d'un indicateur coloré (phénolphthaléine).

- Mode opératoire

Peser au milligramme dans un Erlenmeyer à fond plat, 2 g d'huile. Ajouter 25 ml, exactement mesurés, de potasse alcoolique (0,5 N), et porter à ébullition sous un réfrigérant à reflux.

Il est conseillé d'ajouter dans l'Erlenmeyer un régulateur d'ébullition (pierre ponce, billes de verre...). Maintenir l'ébullition pendant une heure en agitant de temps en temps. Titrer l'excès d'alcali dans la solution savonneuse chaude avec de l'acide chlorhydrique (0,5 N) en présence de phénolphthaléine.

Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions pour titrer la liqueur alcoolique de potasse (Wolf, 1968 ., AFNOR, 1990).

-Expression des résultats

L'indice de saponification est donné par la formule suivante :

$$I_s = ((C_2 - C_1) \times N \times 56,1) / M$$

M: la masse en gramme de la prise d'essai.

N : Normalité de l'acide chlorhydrique

C₁ : le nombre de millilitres d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai à blanc.

C₂: le nombre de millilitres d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai avec l'huile

3.10.7 Dosage des polyphénols (spectrophotomètre UV-vis)

3.10.7.1 Extraction des polyphénols

L'analyse des composés phénoliques dans l'huile présente un grand intérêt étant donné, d'une part, leur rôle d'antioxydant naturels et, d'autre part, leur contribution à la saveur de l'huile (**Benrachou, 2013**).

Pour l'extraction liquide-liquide des composés phénoliques de l'huile nous avons opté pour le protocole de **Bakhouche et al. (2015)** en apportant quelques modifications. Une aliquote de 2,5 g de l'huile a été mélangée avec 5 ml de n-hexane et 5 ml de méthanol/eau (80/30, v/v). Le mélange est agité vigoureusement puis centrifugé à 3500 tours pendant 20 min, l'extrait polaire est évaporé à 35 °C en utilisant un rotavapeur jusqu'à l'obtention d'un résidu sec.

3.10.7.2 Dosage des composés phénoliques

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu (**Fu et al., 2011; in Mahmoudi, 2018**).

Une prise d'essai de 200 µl de chaque extrait à analyser a été mélangée successivement avec 1000 µl du réactif Folin-Ciocalteu (10% v/v) et 800 µl d'une solution de bicarbonate de sodium (Na₂CO₃) à 7,5 % (p/v) (pour favoriser un milieu alcalin et déclencher la réaction d'oxydoréduction).

Le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité au bain Marie à 40 °C pendant dix minutes. Les absorbances ont été lues à 760 nm avec un spectrophotomètre UV-Visible contre un blanc préparé par la même manière précédente en remplaçant l'extrait par 200 µl d'eau distillée. Une gamme d'étalonnage de six concentrations d'acide gallique allant de 10 à 100 µg/ml (p/v) a été préparée pour calculer la concentration des polyphénols dans chaque extrait (**Annexe 03**). La concentration en composés phénoliques totaux est exprimée en milligramme équivalent acide gallique par gramme d'huile.

3.10.7.3-Activité antioxydante des extraits phénoliques

L'activité antioxydante des extraits d'huile de germe a été évaluée in vitro par la méthode de DPPH. (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) (**Koh et al., 2012**).

Une prise d'essai de 2,7 ml d'une solution fraîche de DPPH· (6×10⁻⁵ mol/l dans le méthanol) a été ajoutée à 0,3 ml de chaque extrait à différentes concentrations (1 à 80 mg/ml). Le mélange a été agité fortement, incubé 30 min à l'obscurité et l'absorbance a été lue à 517 nm avec spectrophotomètre UV-Visible contre un blanc composé du méthanol et un contrôle constitué de 2,7 ml du DPPH· et 0,3 ml du méthanol.

L'activité antioxydante a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\mathbf{A \text{ antiox (\%) = } 100 \times (A0-AS/A0)}$$

A antiox: activité antioxydante (%).

A0: densité optique du contrôle (nm).

As: densité optique de l'échantillon (nm).

Le BHT (Butylhydroxytoluene) à différentes concentrations a été testé comme standard. Les IC50 des extraits et de standard ont été estimés à partir de l'équation de la courbe de tendance de chacun (IC50 de l'échantillon correspond à la concentration permettant 50% d'inhibition du DPPH.).

Chapitre 04 :

Résultats et discussion

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1 État des lieux sur la production du germe de blé

Au cours de la réalisation de notre projet de fin d'étude nous avons tout d'abord élaboré un questionnaire sur les sources, les variétés de blé utilisées, ainsi que la gestion et l'utilisation des sous-produits dans l'entreprise Agrodiv (Blida), l'obtention de ces informations peuvent nous aider dans notre étude pour comprendre quelques points intéressants sur la valorisation de germe de blé tendre. Les réponses obtenues sont mentionnées dans le **Tableau 07**.

Tableau 07 : Questionnaire sur la production de farine de blé tendre et la valorisation des sous-produits de l'entreprise Agroddiv.

Les informations	Entreprise questionnée (Agroddiv)
Statut juridique de l'entreprise	EPE/SPA filiale céréales centre CIETELL SMAILIA BLIDA.
Nombre d'employés	161 personnes.
Source de blé et variétés exploitées	l'OAIC / CCLS ELAFFROUNE. Variétés locales. Variétés importées de Russie.
Transformation des variétés	Les variétés sont mélangées lors du processus de transformation en raison de la faible quantité de blé local par rapport à l'importé.
Capacité de transformation	Capacité théorique : 3700 quintaux par jour, soit 851000 quintaux par an. Capacité réelle : 3480 quintaux par jour
Production de sous-produits	Production journalière : 780 quintaux
Gestion des sous-produits	Les sous-produits sont stockés dans des chambres et vendus en vrac après la production.
Prix de vente des sous-produits	1800 DA par quintal.
Clients des sous-produits	Les fabricants. Les éleveurs.
Problèmes de stockage et commercialisation	Aucun problème de stockage ou de commercialisation des sous-produits n'est rencontré.
Valorisation des sous-produits	L'entreprise ne refuse pas la valorisation des sous-produits.

L'entreprise questionnée (**Agroddiv**) est une l'EPE/SPA, filiale de céréales centre CIETELL SMAILIA BLIDA, qui emploie 161 personnes.

Le blé tendre utilisé par l'entreprise dans la production de farine provient de l'OAIC et du CCLS ELAFFROUNE, incluant des variétés locales et importées, notamment du blé local

(tendre maigre) et des variétés russes importées. Ces variétés sont mélangées lors de la transformation en raison de la faible quantité de blé local disponible par rapport aux importations.

La capacité théorique de transformation de l'entreprise est de 3700 quintaux par jour, soit 851000 quintaux par an, tandis que la capacité réelle est de 3480 quintaux par jour. Les sous-produits de transformation (son, germe, remoulages) atteignent 780 quintaux par jour, soit également 179400 quintaux par an. Ces sous-produits sont stockés dans des chambres et vendus en vrac.

Actuellement, le germe de blé est mélangé avec les autres sous-produits (son, remoulage) et stockés dans des chambres à température ambiante. Les sous-produits sont vendus en vrac à des fabricants et des éleveurs par un prix de vente de 1800 DA par quintal.

Le responsable de production a mentionné que l'entreprise ne rencontre aucun problème de stockage ou de commercialisation des sous-produits et ont déjà pensé à la valorisation de ces derniers.

4.2 Description du germe de blé stabilisé et non stabilisé

Nous avons utilisé la stabilisation thermique pour prolonger la durée de vie du germe de blé en inactivant les enzymes responsables de l'oxydation des lipides. Le **Tableau 08** présente une comparaison sur la couleur, l'odeur, le goût et la texture du germe de blé avant et après stabilisation, effectuée à trois températures différentes.

Tableau 08 : Description du germe de blé avant et après la stabilisation.

Traitement	Contrôle	Séchage par étuve		
		Germe stabilisé à 60 °C.	Germe stabilisé à 90 °C.	Germe stabilisé à 120 °C.
Paramètres	Germe non stabilisé			
Couleur	Jaune	Pas de changement	Léger changement (pale)	Changement notable (très pale)
Odeur	blé	Pas de changement	Pas de changement	Pas de changement
Goût	Légèrement sucré	Pas de changement	Pas de changement	Pas de changement
Texture	Aplaté dur	Aplaté dur	Aplaté dur	Aplaté fragile

Après la stabilisation de germe à trois températures et temps différents nous avons remarqué que :

Germe stabilisé à 60 °C. pendant 20 minutes : nous n'avons pas observé un changement dans la couleur, l'odeur, le goût sucré et la taille de plaquette, ainsi que la texture.

Germe stabilisé à 90 °C. pendant 12 minutes: nous avons observé un changement dans la couleur, de jaune au jaune clair mais l'odeur, le goût, la taille et la texture n'ont pas changé.

Germe stabilisé à 120 °C. pendant 8 minutes : la couleur devient très clair et pâle mais il n'y avait pas de changement dans l'odeur et le goût. Le germe devient plus fragile, plus petite et présente une texture sèche par rapport aux deux autres germes stabilisés à 60 °C. et à 90 °C.

4.3 Caractéristiques physico-chimique de la matière première (germe de blé stabilisé et non stabilisé)

4.3.1 pH, acidité titrable et activité d'eau

Les résultats du **Tableau 9** montrent une légère diminution du pH en fonction de l'augmentation de la température de stabilisation passant de (6,7) pour le témoin (germe non stabilisé) à (6,56) pour le germe stabilisé à 120 °C.

L'activité de l'eau du germe de blé diminue avec l'augmentation de la température de traitement thermique soit 0,63 pour le témoin à 0,33 pour le germe stabilisé à 120 °C pendant 8 minutes (**Tableau 9**).

On observe une diminution de l'acidité titrable du germe de blé en fonction de l'augmentation de la température de stabilisation. Le germe non stabilisé (Témoin) a enregistré le taux d'acidité le plus élevé à savoir 6,39 %, par contre le germe stabilisé à la température la plus élevée (120 °C.) pendant la durée la plus courte 8 min a enregistré l'acidité la plus faible soit 4,66 % (**Tableau 9**).

Tableau 09 : pH, activité de l'eau et acidité titrable de germe de blé stabilisé et non stabilisé.

Echantillons / Paramètres	Germe non stabilisé (*)	Germe stabilisé à 60°C (*)	Germe stabilisé à 90 °C (*)	Germe stabilisé à 120 °C (*)
pH	6,7±0,02	6,65±0,05	6,62±0,06	6,56±0,05
aw	0,63±0,003	0,53±0,012	0,47±0,02	0,33±0,009
Acidité titrable (%)	6,39±0,22	5,47±0,40	5,13±0,15	4,66±0,25

(*) : Moyenne de trois essais ±SEM

Les valeurs de pH de germe stabilisé et non stabilisé dans notre étude sont proches aux résultats rapportés par **Marti et al. (2014)** qui ont trouvé un pH de 6,66 pour le germe de blé frais et le germe stabilisé à 190 °C. pendant 1 min dans un séchoir au lit fluidisé.

Nos résultats montrent une diminution de l'activité de l'eau du germe de blé avec l'augmentation de la température de stabilisation thermique, ce qui est en concordance avec les résultats de **Marti et al. (2014)**. En revanche, ces auteurs ont enregistré une activité d'eau de germe de blé frais (0,58) plus faible que la nôtre (0,63).

Cette différence entre nos résultats et les résultats de **Marti et al. (2014)**, peut être due à la différence dans la nature de la matière première, le procédé de transformation et les conditions de traitement thermique de stabilisation.

Marti et al. (2014) ont trouvé une acidité de 6 % pour leur germe de blé frais, ce qui est proche de l'acidité de notre germe non stabilisé soit 6,39 %. Ces auteurs ont montré que le traitement thermique de germe stabilisé à 190 °C. pendant 1 min dans un séchoir au lit fluidisé diminue l'acidité à 5,3 %, ce qui est en accord avec nos résultats.

Les résultats de **Marti et al. (2014)** confirment que la stabilisation thermique (à des températures plus élevées et sur une durée plus courte) est efficace pour réduire l'acidité du germe. Ces chercheurs ont utilisé une méthode de stabilisation (séchoir au lit fluidisé) différente que la nôtre, mais les résultats observés sont similaires. Nous pouvons dire que la stabilisation thermique aide à réduire l'acidité de germe de blé.

4.3.2 Humidité et cendres totales

La détermination de l'humidité dans les différents échantillons de germes de blé est primordiale pour comprendre son comportement durant la période de stockage.

Les germes stabilisés montrent une réduction de l'humidité en fonction de l'augmentation de la température : 12,341 % pour le germe frais à 4,993 % pour le germe stabilisé à 120 °C (**Tableau 10**).

Les taux de cendres mesurés pour les différents échantillons de germe de blé sont représentés dans le **Tableau 10**. Nous observons que les taux de cendres totales dans tous les échantillons de germe de blé sont proches à savoir un intervalle de 4,094 à 4,394 %.

Tableau 10 : Taux d'humidité et de cendres totales de germe de blé.

Echantillons / Paramètres	Germe non stabilisé (*)	Germe stabilisé à 60°C (*)	Germe stabilisé à 90 °C (*)	Germe stabilisé à 120 °C (*)
Humidité (%)	12,351±0,306	9,660±0,158	6,489±0,168	4,993±0,150
Cendres (% MS)	4,394±0,058	4,096±0,051	4,094±0,023	4,240±0,109

(*): Moyenne de trois essais ±SEM

Le taux d'humidité de germe de blé frais enregistré dans notre étude (12,35 %) est supérieurs à ceux obtenus par **Barnes, (1983)** ; **Nessah, (1998)** ; **Alobaidi, (2003)** ; **Srivastava et al. (2007)** ; **Gachi, (2013)** ; qui ont rapporté des taux d'humidité allant de (9,81 à 11,4 %), inférieur à celui de **Magarino et al. (2015)** soit 14 % et proche à celui de **Attia et al. (2011)** qui ont trouvé un taux d'humidité de 12,46 %.

Le traitement thermique de stabilisation de germe de blé influe considérablement sur son taux d'humidité. **Magarino et al. (2015)** ont trouvé une valeur de 7,65 % pour un germe stabilisé à 160 °C. pendant 90s dans un séchoir à vapeur alors que **Marti et al. (2014)** ont rapporté un taux d'humidité de 5,2 % dans le germe traité à 190 °C. pendant 1 min dans un séchoir à un lit fluidisé. Dans une autre étude **Srivastava et al. (2007)** ont enregistré un taux d'humidité très faible à savoir 2,6 % pour un germe stabilisé à 100 °C. pendant 2 h dans une étuve a circulation d'air.

Ces résultats montrent que la stabilisation thermique est très efficace pour réduire les taux d'humidité, donc l'inactivation des enzymes, ce qui pourrait améliorer la conservation et la qualité de germe de blé pour l'extraction de l'huile.

Le taux de cendre de germe frais enregistré dans notre étude (4,349 %) est proche aux résultats exprimés par **Magarino et al. (2015)** ; **Nessah. (1988)** ; **Srivastava et al. (2007)** à savoir des taux de cendres allant de 4,0 % à 4,2 %. En revanche, notre résultat est inférieur aux résultats obtenus par **Abbou et al. (2023)** ; **Alobaidi, (2003)** ; **Attia et al. (2011)** ; **Ahmed messaoud, (2013)** qui ont rapporté des valeurs allant de 4,52 à 5,11 %.

Nous avons constaté une légère diminution de taux de cendres après la stabilisation thermique ce qui est en concordance avec les résultats de **Srivastava et al. (2005)** qui ont observé une diminution de taux de cendres de germe stabilisé à 100 °C. pendant 2 h de 4,2 % à 3,7 %. **Alobaidi, (2003)** a évoqué une diminution de taux de cendre de 5,11 % pour le germe frais à 5,02 % pour le germe stabilisé à 82 °C. Cela pourrait indiquer que la température a un léger effet sur les cendres.

Les différences entre nos résultats et les autres peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment les conditions de stabilisation thermique ou les variations naturelles dans la composition du germe de blé.

4.3.3 Teneur en lipides

À travers les résultats de la **Figure 11**, qui représente les teneurs en lipides obtenues par la méthode de Soxhlet, **nous** avons observé une diminution des teneurs en lipides avec l'augmentation de la température de stabilisation thermique pour les germes stabilisés à 60 °C. pendant 20 minutes (8,021%) et 90 °C. pendant 12 minutes (8,917%), tandis que le germe stabilisé à 120 °C. pendant 8 minutes (9,53 %) a gardé la valeur la plus proche à celle de témoin (10,034 %).

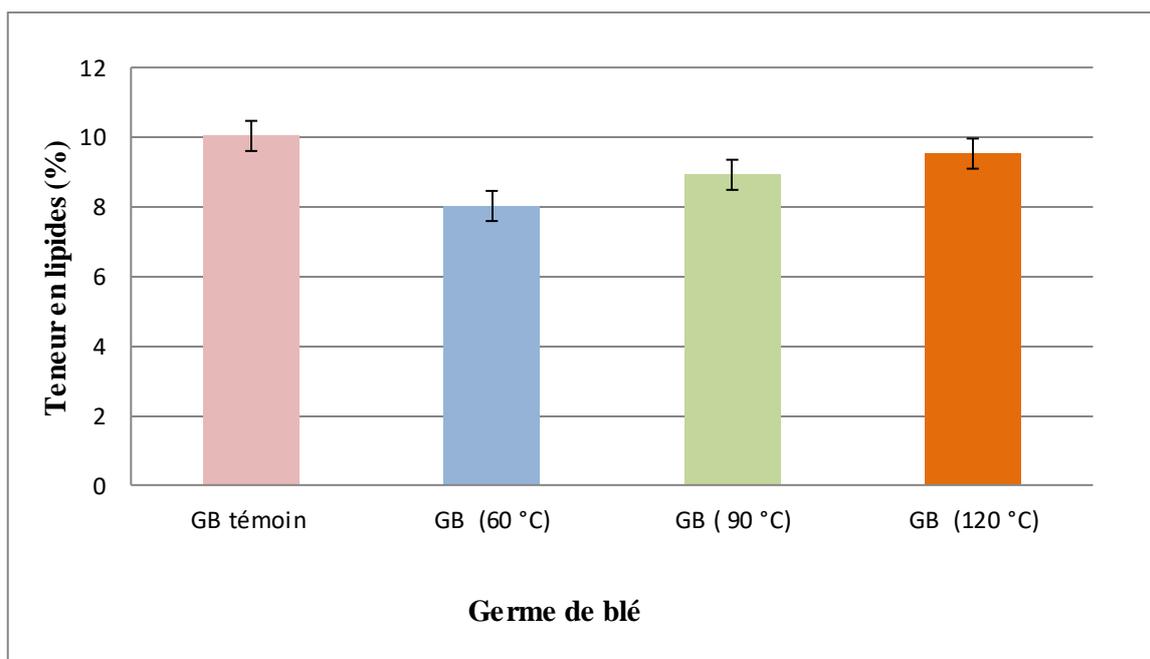


Figure 11 : Teneurs en lipides dans le germe de blé tendre stabilisé (à 60, 90 et 120 °C.) et non stabilisé

Les taux de lipides mesurés dans notre travail sont cohérents avec les résultats rapportés par **Nessah, (1998)** ; **Adrian, (2004)** ; **Srivastava et al. (2007)** ; **Mahmoud, (2015)** ; **Alsafi et al., (2021)** ; **Magariño et al. (2015)** à savoir des teneurs qui varient entre 6,6 % et 12%.

Le germe stabilisé à 60 °C. pendant 20 minutes a enregistré le taux de lipides le plus faible par rapport aux autres températures, cela pourrait évoquer que la stabilisation à une température moyenne avec une longue durée a un effet négatif sur la teneur en lipides.

Dib, (2013) a observé une diminution de taux de lipides en fonction de la température de stabilisation passant de 7,2 % pour le germe frais à 7,02 % et 6,9 % pour le germe stabilisé à 90 °C. pendant 15 minutes et le germe stabilisé à 120 °C. pendant 10 minutes.

La stabilisation thermique peut provoquer des pertes de lipides. Ces pertes ne sont pas considérées comme très importantes car le germe de blé contient encore une quantité importante des lipides selon **Kumar et al. (2011)**.

4.3.4 Teneur en protéines

Les teneurs en protéines de différents échantillons de germe de blé sont représentées dans la **Figure 12**. Les résultats obtenus révèlent le traitement de stabilisation a diminuer la teneur en protéines de 34,36 % pour le témoin à 33,55 % pour le germe stabilisé à 120 °C pendant 8 minutes.

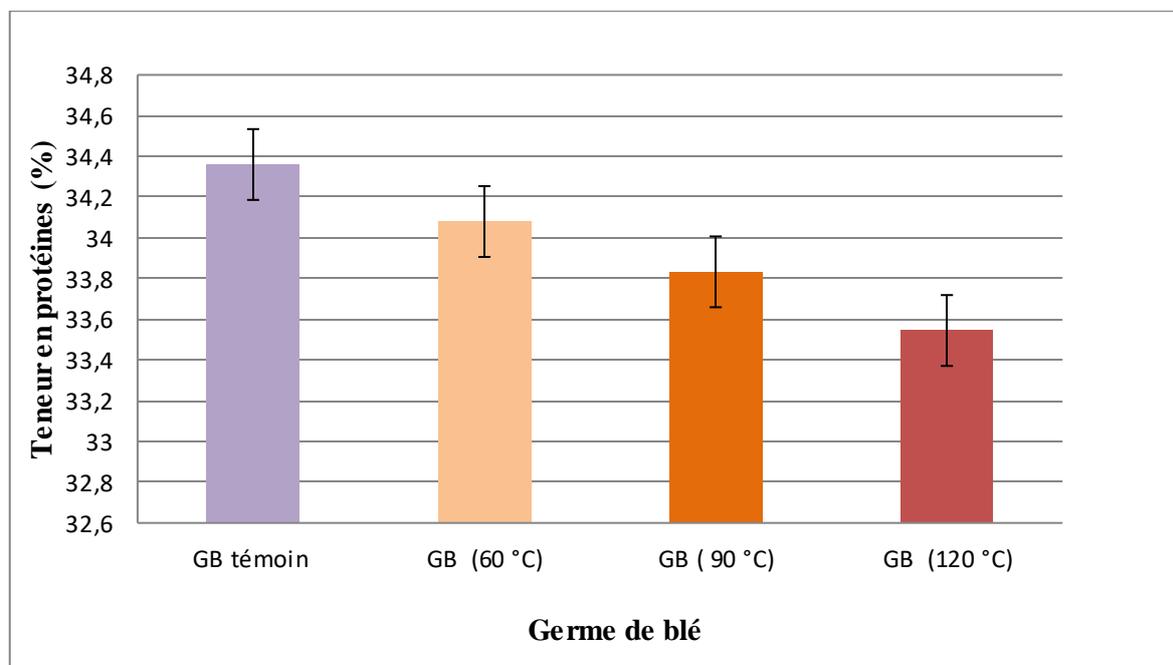


Figure 12 : Teneurs en protéines dans le germe de blé tendre stabilisé (à 60, 90 et 120 °C.) et non stabilisé.

Selon **Zhu et al. (2006)** le germe de blé est une source nutritive avec une teneur élevée en protéines avec un profil d'acides aminés bien équilibré.

D'après **Herriatachy et al. (1996)**, le germe de blé est une source importante de protéines végétales de grande qualité. Il est considéré comme la partie de la graine la plus riche en protéines.

Nous observons que les résultats des teneurs en protéines dans notre étude (33,55 % à 34,36 %) sont supérieurs à celles de **Srivastava et al. (2007)** ; **Attia et al. (2011)** ; **Kumar et al , (2011)** ; **Magarino et al. (2015)** ; **Majzooobi et al. (2022)** qui ont rapporté des taux de protéines de 26,7 %, 30,57 %, 31,04 % et 32,68 %. En revanche, nos résultats sont inférieurs à ceux trouvés par **Nessah, (1998)** qui a trouvé une valeur de 40 %.

Nos résultats sont en accords avec ceux de **Dib, (2013)** qui à évoquer une diminution de taux de protéines dans le germe stabilisé à 120 °C. pendant 10 minutes (28,96 %) et à 90 °C. pendant 15 minutes (29,60 %) par rapport à son échantillon témoin (31,38 %).

La stabilisation thermique a pour but de réduire l'activité enzymatique et de prévenir la dégradation des composants nutritifs comme les protéines.

4.4 Caractéristiques physico-chimiques de l'huile de germe de blé

Après les comparaisons des caractéristiques physico-chimiques de blé stabilisé à trois différents températures (60, 90 et 120 °C.) et de germe non stabilisé (témoin) avec les études précédentes, nous pouvons dire que nos résultats d'analyses physico-chimiques du germe de blé montrent une similarité dans tous les analyses réalisés (humidité, cendres, lipides, protéines, pH et l'activité de l'eau) avec des variations en fonction du traitement thermique appliqué (stabilisation).

Le but de notre étude est de valoriser le germe de blé par l'extraction de l'huile, en évaluant l'impact du traitement thermique sur les propriétés physico-chimiques du germe ainsi que sur le rendement d'extraction et la qualité d l'huile. Nous avons, aussi, comme but de déterminer le traitement thermique optimal qui donne le meilleur rendement et préserve les qualités de l'huile.

D'après les résultats obtenus nous pouvons dire que : parmi les échantillons de germe de blé stabilisés, le germe stabilisé à 120 °C. pendant 8 minutes se distingue comme le meilleur choix en termes d'humidité, cendres, pH et activité de l'eau, lipides. Nous supposons que le germe de blé stabilisé à 120°C. pendant 8 minutes pourraient être le meilleur choix pour l'extraction d'huile, car il présente une teneur en lipides relativement élevée tout en conservant une certaine valeur nutritionnelle.

Pour répondre à cette hypothèse nous avons réalisé des essais d'extraction d'huile pour chaque échantillon avec quelques analyses physico-chimiques des huiles extraites.

4.4.1 Rendement d'extraction

Nous avons travaillé avec quatre échantillons de germes de blé : un échantillon témoin non stabilisé et trois échantillons stabilisés respectivement à 60 °C. pendant 20 minutes, 90 °C. pendant 12 minutes, et 120 °C. pendant 8 minutes pour savoir l'impact de différentes conditions de stabilisation thermique par étuve sur le rendement en huile.

Après avoir réalisé les analyses physico-chimiques des germes de blé non stabilisés et stabilisés, nous avons procédé à l'extraction de l'huile en utilisant une méthode d'extraction à froid par solvant (éther de pétrole).

Les résultats des rendements d'extraction de l'huile de germe de blé sont rapportés dans le **Tableau 11**.

Des résultats du Tableau 11, il apparaît que dans l'ensemble le traitement thermique a augmenté le rendement d'extraction de l'huile (3,731 % à 5,375 %) en comparaison avec le témoin (2,865 %).

Tableau 11 : Rendements d'extraction des huiles de différents échantillons de germe de blé

Huiles	HGB témoin	HGB stabilisé à 60 °C.	HGB stabilisé à 90 °C.	HGB stabilisé à 120 °C.
Rendement (%)	2,865±0,122	3,731±0,018	4,286±0,147	5,375±0,125

HGB : Huile de germe de blé

Ces résultats indiquent que la stabilisation thermique à des températures plus élevées, en particulier à 120 °C, favorise une extraction plus efficace de l'huile en améliorant la libération des lipides contenus dans le germe de blé.

4.4.2 Indice de réfraction

Les résultats présentés dans le **Tableau 12** montrent que les différents traitements thermiques n'ont aucun effet sur l'indice de réfraction des huiles de germe de blé soit 1,4579 pour l'échantillon témoin non stabilisé et pour les échantillons stabilisés à 60 °C., 90 °C., et 120 °C.

Tableau 12 : Résultats d'analyses de l'indice de réfraction.

Huiles	HGB témoin	HGB stabilisé à 60 °C.	HGB stabilisé à 90 °C.	HGB stabilisé à 120 °C.
Indice de réfraction (26 °C.)	1,4579	1,4579	1,4579	1,4579

HGB : Huile de germe de blé

Nos résultats sont très proches à ceux rapportés par **Shakawati et al. (2013)** et **Mahmoud et al. (2015)** qui ont évoqué des indices de 1,47 et 1,4728 respectivement.

4.4.3 Indice d'acide

Les résultats de l'indice d'acide représentés dans la **Figure 13** révèlent que cet indice diminue en fonction de l'augmentation de la température de traitement passant de 14,015 mg/g pour l'huile de germe témoin à 6,171 mg/g pour l'huile de germe stabilisé à 120 °C. pendant 8 minutes.

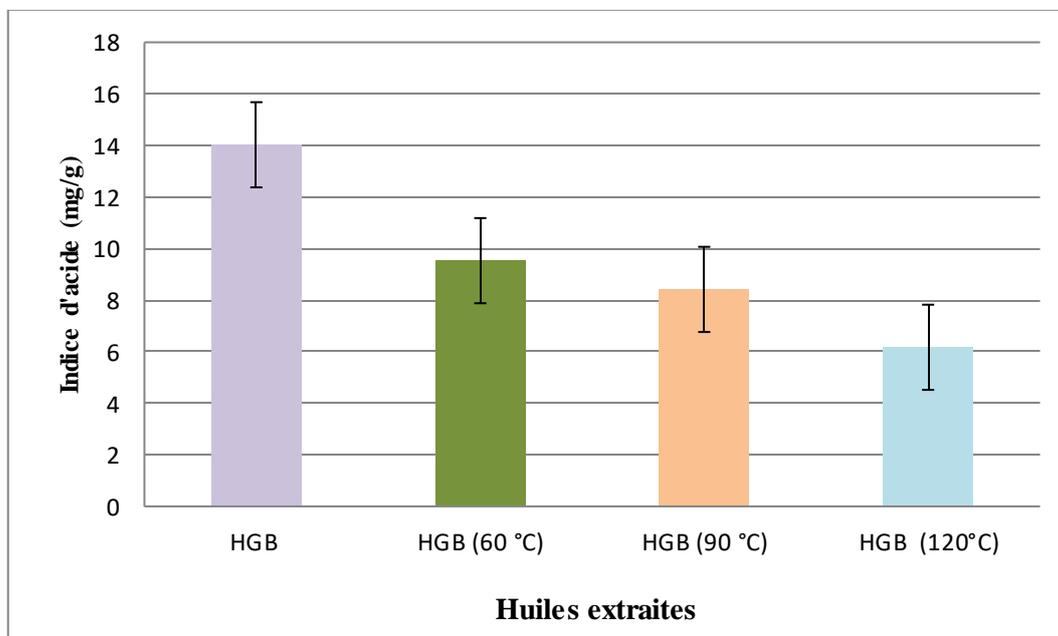


Figure 13 : Indice d'acide des huiles de germe de blé tendre stabilisé (à 60, 90 et 120 °C.) et non stabilisé. HGB : Huile de germe de blé

Notre résultat de l'indice d'acide de l'huile de germe témoin non stabilisé est légèrement plus élevés que celui rapporté par **Mahmoud et al. (2015)** qui ont trouvé une valeur de 13,88 mg/g, mais proche à celui de **Megahed, (2011)** qui a obtenus un résultat de 14,88 mg/g.

D'après nos résultats et ceux trouvés par **Mahmoud et al. (2015)** et **Megahed, (2011)** nous pouvons dire que les traitements thermiques appliqués aux germes de blé avant l'extraction de l'huile a réduit l'indice d'acide des huiles extraites. En conséquence, l'huile extraite des germes de blé stabilisés thermiquement présente une meilleure conservation et une durée de vie plus longue, ce qui est avantageux pour son utilisation.

4.4.4 Indice d'iode

L'indice d'iode est une mesure de l'insaturation dans les acides gras de l'huile, exprimée en grammes d'iode absorbés par 100 grammes d'huile. Un indice plus élevé indique une proportion plus élevée d'acides gras insaturés

Les résultats d'indice d'iode des huiles de germe de blé de la **Figure 14**, révèlent que cette indice augmente avec l'augmentation de la température de traitement de germe de 115,14 (gI₂/100g) à 120,129 (gI₂/100g).

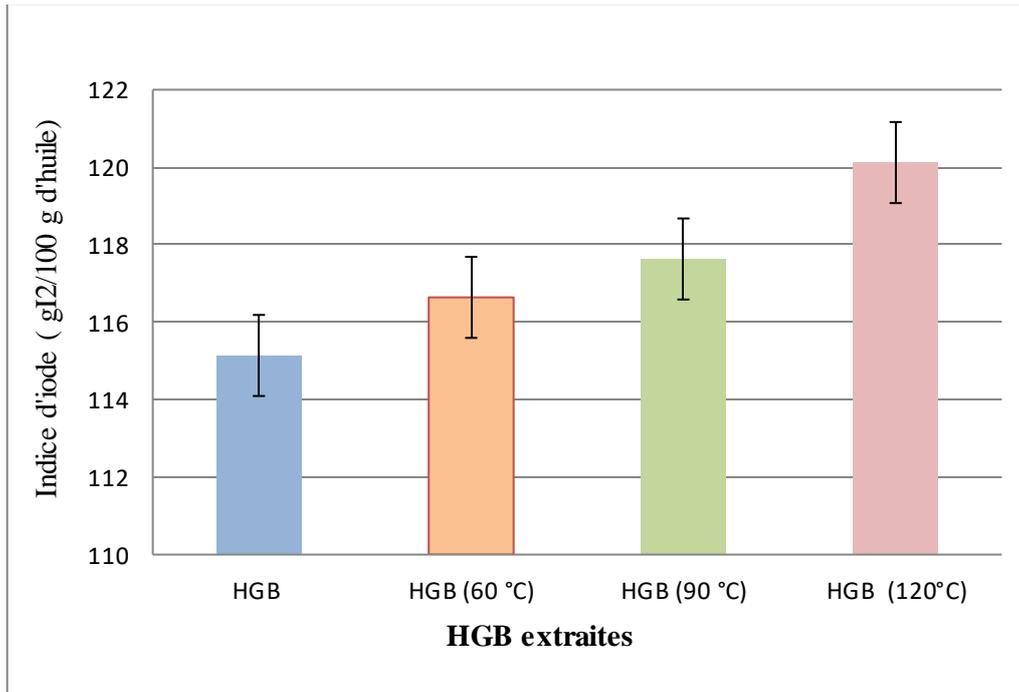


Figure 14 : Indice d'iode des huiles de germe de blé tendre stabilisé (à 60, 90 et 120 °C.) et non stabilisé. HGB : Huile de germe de blé

L'indice d'iode de l'huile de germe non stabilisé 115,14(gI₂/100g) est proche à celles rapportées par **Mahmoud et al. (2015)**, qui ont trouvé un indice d'iode de 115,47 (gI₂/100g) pour l'huile de germe non stabilisé en utilisant l'extraction par solvant à froid (hexane).

Masayuki, (1985) a enregistré un indice d'iode de 116 (gI₂/100g) pour l'huile de germe non stabilisé et extrait par solvant (Chloroforme - méthanol) à 65 °C. qui est proche à nos résultats. Cet auteur a trouvé un indice d'iode de 127 (gI₂/100g) en utilisant l'extraction par Soxhlet pendant 16 h (Hexane) et enfin il a trouvé un indice d'iode de 130 (gI₂/100g) en utilisant l'extraction de CO₂ supercritique à 40 °C. pendant 2 h.

Özcan et al. (2013) ont rapporté un indice d'iode de 132,00 (gI₂/100g) pour l'huile de germe non stabilisé extrait par pressage à froid, ce qui est nettement plus élevé que nos résultats, probablement leur méthode d'extraction pourrait préserver la teneur en acides gras insaturés ou leurs échantillon de germe de blé est plus riches en ces acides.

Selon **Peter et al. (2021)** qui ont mentionné que l'indice d'iode de l'huile de germe de blé est généralement entre 115-126 (gI₂/100g) nous pouvons dire que notre l'huile de germe de blé contient des teneurs élevée en acide gras insaturé (acide oléique, acide linoléique..).

4.4.5 Indice de peroxyde

Selon la **Figure 15** qui représente les résultats de l'indice de peroxyde des huiles de germe de blé, ce dernier est fortement influencé par la température de traitement. L'indice de peroxyde a diminué de 12 meq O₂/kg pour l'huile de germe non stabilisé à 3 meq O₂/kg pour l'huile de germe stabilisé à 120 °C. Ces résultats montrent que la stabilisation thermique réduit l'indice de peroxyde.

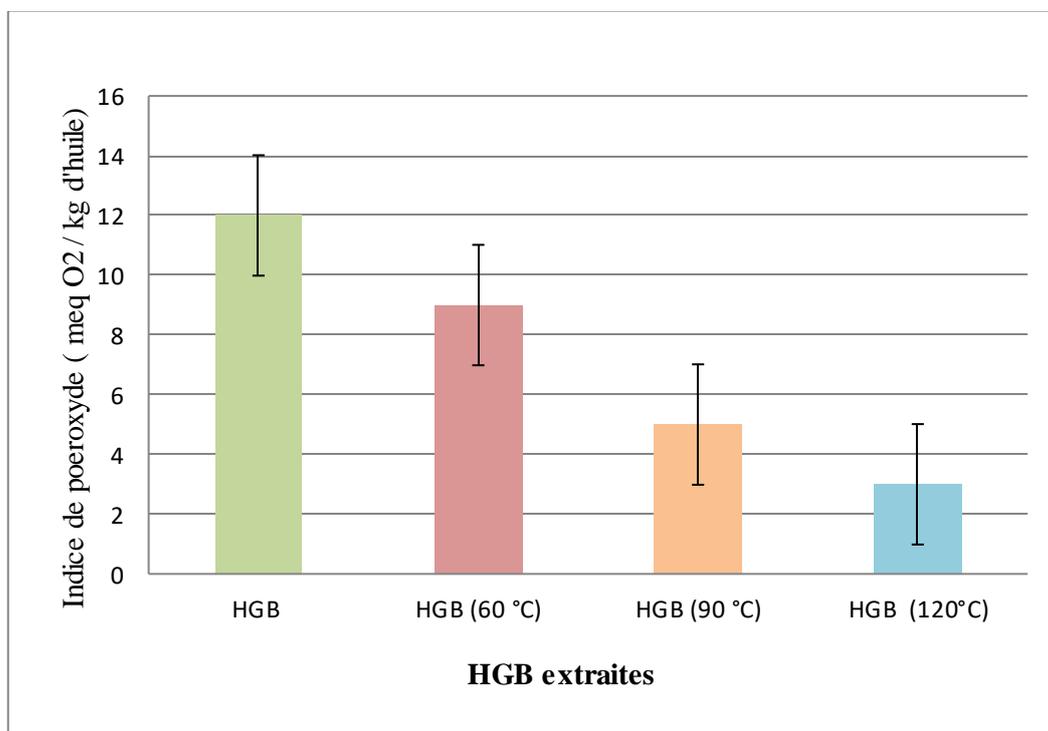


Figure 15 : Indice de peroxyde des huiles de germe de blé tendre stabilisé (à 60, 90 et 120 °C.) et non stabilisé. HGB : Huile de germe de blé

L'indice de peroxyde de 12 meq O₂/kg de l'huile de germe non stabilisé est plus élevé que celles rapportées par **Shakawati et al. (2013)** qui ont trouvé un indice de 5 meq O₂/kg en utilisant l'extraction par Soxhlet (hexane). dans le même sens, **Magarino et al. (2015)** ont évoqué un indice beaucoup plus bas de 1,9 meq O₂/kg pour l'huile de germe non stabilisé, également extrait par Soxhlet (hexane).

Özcan et al. (2013) ont rapporté un indice de peroxyde de 8,90 meq O₂/kg pour l'huile de germe non stabilisé extraite par pressage à froid un peu plus élevé mais il reste inférieur à nos résultats. En revanche, **Mahmoud et al. (2015)** ont trouvé un indice de peroxyde très élevé de 16,35 meq O₂/kg en utilisant l'extraction par solvant à froid (hexane) ce qui dépasse tous les autres résultats mentionnés.

Pour l'huile de germe stabilisé à 120 °C. l'indice de peroxyde est de 3 meq O₂/kg est similaire à celui trouvé par **Erim (2021)**, qui a obtenu un indice de 3,60 meq O₂/kg après stabilisation de germe dans un four à une température interne d'environ 120 °C. et extraction d'huile à froid par solvant (hexane). **Magarino et al. (2015)** ont rapporté un indice de peroxyde plus bas de 1,2 meq O₂/kg pour l'huile de germe stabilisé à 160 °C. pendant 90 secondes dans un séchoir en utilisant l'extraction d'huile par Soxhlet,

Ces résultats montrent que la stabilisation thermique de germe de blé a réduit l'indice de peroxyde de l'huile extraite, ce qui indique une diminution de l'oxydation. Les résultats sont cohérents avec les résultats précédents, tandis que les valeurs varient en fonction des méthodes d'extraction et des conditions de stabilisation sans oublier les conditions de stockage qui peuvent jouer un rôle sur la qualité d'huile.

L'indice de peroxyde de l'huile de germe stabilisé à 120 °C. est très proches à celui de **Erim (2021)**, confirmant que la stabilisation à cette température est efficace pour réduire l'oxydation. Cependant, les valeurs de **Magarino et al. (2015)** pour une stabilisation à une température plus élevée et une durée plus courte montrent qu'il est possible d'obtenir des indices de peroxyde encore plus bas, ce qui montre que l'optimisation des conditions de stabilisation pourrait encore améliorer la qualité de l'huile.

4.4.6 Indice de saponification

Les résultats des analyses de l'indice de saponification des huiles de germe de blé montrent une légère variation entre les échantillons (186,530 mg /g pour l'huile non stabilisée et 183,727, 187,935 et 185,130 mg /g pour les huiles des germes stabilisés à 60, 90 et 120 °C. respectivement (**Tableau 13**).

Tableau 13 : Résultats d'analyses de l'indice de saponification (mg / g d'huile).

Huiles	HGB témoin	HGB stabilisé à 60 °C	HGB stabilisé à 90 °C	HGB stabilisé à 120 °C
Indice de Saponification (mg / g d'huile)	186,530± 4,200	183,727±1,402	187,935±2,805	185,130±5,610

HGB : Huile de germe de blé

Shakawati et al. (2013) ont trouvé un indice de saponification de 186,50 mg KOH/g pour l'huile de germe de blé non stabilisé extraite par Soxhlet avec de l'hexane, ce qui est très proche à notre résultat pour l'huile de germe non stabilisé (186,530 mg KOH/g). Cette similitude

suggère que notre méthode d'extraction utilisée par l'éther de pétrole est comparable à l'extraction par Soxhlet en termes d'efficacité et de composition des triglycérides extraits.

Cependant, malgré que **Mahmoud et al. (2015)** ont utilisé une méthode semblable à la nôtre mais ils ont rapporté une valeur d'indice de saponification légèrement plus élevée de 191,22 mg/g pour l'huile de germe de blé non stabilisé. Cette différence pourrait être attribuée aux variations dans les échantillons de germe de blé ou aux conditions utilisées dans leur étude.

De même, **Özcan et al. (2013)** ont trouvé un indice de saponification de 197 mg KOH/g pour l'huile de germe de blé non stabilisé extraite par pression à froid.

Les résultats de **Masayuki (1985)** montrent également des variations en fonction des méthodes d'extraction utilisées. L'indice de saponification pour l'huile de germe de blé non stabilisé était de 183 mg /g avec l'extraction par solvant à 65 °C. (chloroform-méthanol), 182 mg /g avec l'extraction par Soxhlet pendant 16 h (hexane), et 176 mg /g avec l'extraction par CO₂ supercritique à 40 °C. pendant 2 h. Ces valeurs sont légèrement inférieures à nos résultats, ce qui pourrait être due à des différences dans les méthodes d'extraction utilisées ou les compositions spécifiques des échantillons de germe de blé.

Attia et al. (2011) ont trouvé un indice de saponification de 182,94 mg/g pour une huile de germe de blé stabilisé à 100 °C. pendant 30 minutes dans l'étuve et extraite par l'éther de pétrole, une valeur proche à la notre de l'huile de germe stabilisé à 60 °C.

Les résultats montrent que la stabilisation thermique à 60°C, 90°C et 120°C n'a pas un impact majeur sur l'indice de saponification de l'huile de germe de blé.

4.4.7 Polyphénols totaux

Les résultats des teneurs en polyphénols représentés dans le **Tableau 14** montrent que la stabilisation thermique des germes de blé influence sur la concentration en polyphénols des huiles extraites.

Le germe stabilisé à 60 °C. pendant 20 minutes présente la plus haute concentration en polyphénols de 441,885 µg/g, ce qui pourrait être dû à une meilleure libération ou préservation des composés phénoliques à cette température. Les huiles des germes stabilisés à 90 °C. et à 120 °C. montrent des concentrations en polyphénols de 210,315 µg/g et 255,842 µg/g respectivement ainsi le témoin affiche une concentration proche de 205,491 µg/g.

Tableau 14 : Teneurs en polyphénols totaux dans les huiles de germe de blé ($\mu\text{g/g}$).

Huiles	HGB témoin	HGB stabilisé à 60 °C	HGB stabilisé à 90 °C	HGB stabilisé à 120 °C
Dosage des polyphénols ($\mu\text{g/g}$)	205,491 \pm 5,807	441,885 \pm 4,605	210,315 \pm 1,614	255,842 \pm 3,105

HGB : Huile de germe de blé

Abathir et al. (2021) qui ont trouvé une concentration (50 $\mu\text{g/mL}$) inférieure à nos résultats de germe stabilisé et non stabilisé, par contre **Al-Musafer, (2009)** a évoqué des concentrations supérieures (556,6 $\mu\text{g/mL}$) pour une extraction à l'aide de méthanol et (426 $\mu\text{g/mL}$) pour une extraction à l'aide d'éthanol ce qui est proche au résultat de notre huile de germe stabilisé à 60 °C mais supérieurs aux autres huiles extraites à 90 °C. et 120 °C.

4.4.8 Activité antioxydante

Les résultats des tests de DPPH, exprimés en termes de concentration inhibitrice de 50 % (IC₅₀), révèlent des différences notables en fonction des traitements de stabilisation appliqués au germe de blé.

Les résultats illustrés dans la **Figure 16** révèlent des concentrations variant entre 26,659 $\mu\text{g/g}$ pour l'huile de germe stabilisé à 90 °C. et 51,441 $\mu\text{g/g}$ pour l'huile de germe stabilisé à 60 °C.

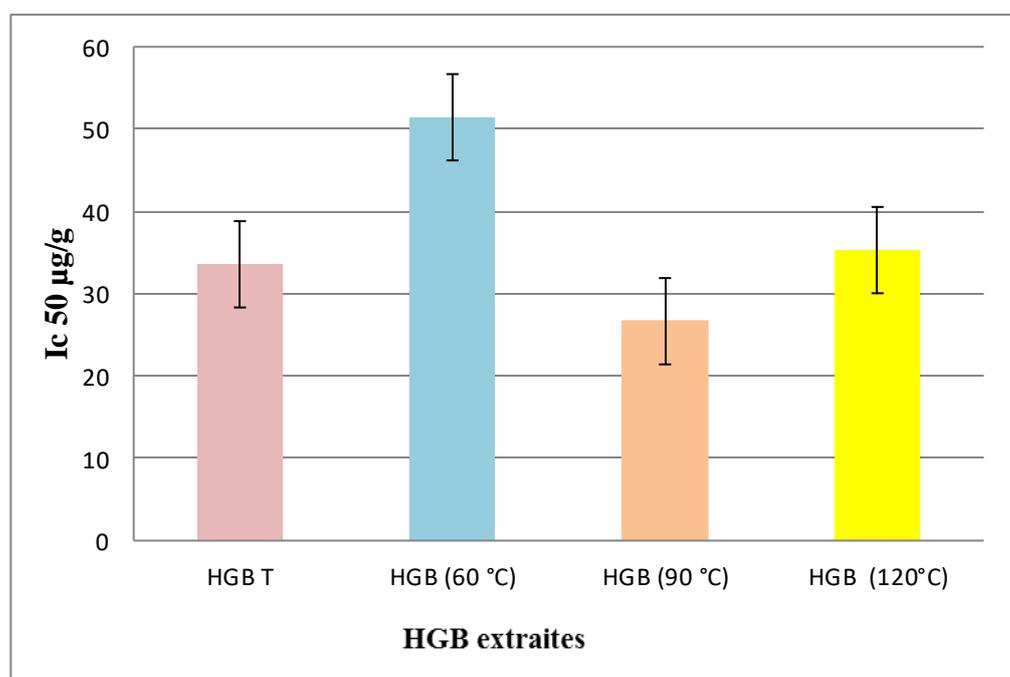


Figure 16 : Activité antioxydante des huiles de germe de blé (IC₅₀ $\mu\text{g/g}$).

D'après les résultats de la **Figure 15**, les concentrations de l'IC50 montrent que l'huile de germe stabilisée à 60 °C. présente la valeur la plus élevée : 51,441 µg/g, indiquant une plus faible activité antioxydante comparée aux autres échantillons. En effet, une IC50 plus élevée signifie qu'une plus grande quantité d'huile est nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres DPPH, ce qui traduit une efficacité antioxydante plus faible.

Les huiles de germe stabilisées à des températures plus élevées (90 °C. et 120 °C.) montrent des IC50 plus basses, avec des valeurs de 26,659 µg/g et 35,300 µg/g respectivement. Cela suggère que ces huiles possèdent une meilleure capacité antioxydante.

L'huile de germe de blé non stabilisé (témoin) a enregistré une IC50 de 33,572 µg/g, ce qui est supérieur à l'huile de germe stabilisé à 90 °C. mais inférieur à celle de germe stabilisé à 120 °C. Cela pourrait indiquer que la stabilisation thermique à des températures spécifiques peut améliorer ou diminuer l'activité antioxydante.

Conclusion

Ce projet de fin d'étude avait pour objectif l'évaluation l'impact de différents traitements thermiques sur les caractéristiques physico-chimiques de germe de blé, le rendement d'extraction, les caractéristiques physico-chimiques, les polyphénols et l'activité antioxydante des huiles extraites.

Nos résultats montrent que la stabilisation de germe de blé a diminué fortement le taux d'humidité et l'activité de l'eau alors qu'elle a diminué légèrement sa teneur en lipides et en protéines. Le germe de blé stabilisé à 120 °C présente les meilleures caractéristiques par rapport aux autres traitement thermiques : une humidité de 4,993 %, un taux de lipides de 9,53 % et une acidité de $4,66 \pm 0,25$ %.

La stabilisation thermique influence sur le rendement d'extraction des huiles et ses propriétés physico-chimiques. La stabilisation de germe de blé à 120 °C. pendant 8 minutes a permis d'obtenir le rendement le plus élevé $5,375 \pm 0,125$ % et les indices d'acide et de peroxydes les plus faibles 6,171 mg/g et 3 meq O₂/kg respectivement.

L'huile de germe stabilisé à 60 °C. pendant 20 min est la plus riche en polyphénols totaux $441,885 \pm 4,605$ µg/g alors que l'huile de germe stabilisé à 90 °C. présente l'activité antioxydante la plus élevée IC₅₀ = 26,659 µg/g.

Les résultats des analyses physico-chimiques de germes stabilisés et non stabilisé et les huiles issues ont confirmé l'efficacité de la stabilisation thermique par étuve et de l'extraction d'huile par éther de pétrole dans le contexte de notre étude.

En perspective il est recommandé de tester d'autres méthodes de stabilisation et d'extraction de l'huile de germe de blé, d'effectuer l'analyse de fibres pour le germe, et d'autres analyses de l'huile (profile en acide gras par GC, vitamine E et B par HPLC, densité, indice de viscosité, indice de TOTOX).

Annexes

ANNEXE 01

Questionnaire sur la production et la valorisation du germe de blé

Belal Lina

Cherchali Nesrine

Étudiantes Master 2 professionnel en technologie alimentaire

Préparation du mémoire de fin d'étude sur la valorisation du germe de blé 2023/2024

ISTA, université Blida1

Date de visite : 29 avril 2024

Nom de l'entreprise: AGRODIV Blida

Adresse : Rue Chahid Taoug Mohammed (01 chemin Javal) Blida

Monsieur

Dans le cadre de la réalisation de notre mémoire de master intitulé «Valorisation de germe de blé par l'extraction de l'huile» nous avons l'honneur de vous adresser ce questionnaire à remplir pour avoir des informations sur la production et la valorisation du germe de blé. Nous vous remercions pour votre collaboration.

1. Quel est le statut juridique de votre entreprise ?
2. Quel est le nombre des employés dans votre entreprise ?
3. Quelle est la source de blé utilisé dans votre entreprise (fournisseurs) ?
4. Quelles sont les variétés de blé exploitées?
5. Transformez-vous les variétés séparément ou en mélange?
6. Quelle est votre capacité de transformation théorique (journalière et annuelle) ?
7. Quelle est votre capacité de transformation réelle (journalière et annuelle) ?
8. Quelle sont les quantités (journalières et annuelles) de sous-produits (son, germe, remoulages...) produites dans votre entreprise ?
9. Comment l'entreprise gère-t-elle les sous-produits issus du processus de transformation de blé (son, germe, remoulages...) ?
10. Quelles sont les principales utilisations de germe de blé dans votre entreprise (avant et maintenant) ?
11. A quel prix vous vendez vos sous-produits (son, germe, remoulages...) ?
12. Quels sont vos clients de sous-produits (son, germe, remoulages...) ?
13. Avez-vous des problèmes de stockage et de commercialisation des sous-produits (son, germe, remoulages..) ?
14. Pensez-vous à la valorisation des sous-produits (son, germe, remoulages...) dans votre entreprise?

ANNEXE 02

Matériel, solvants et réactifs utilisées

Matériel	Marque	Solvant et Réactifs	Marque
-Etuve	BINDER	-Méthanol CH_3OH	LOBA CHEMIE
-Appareil d'extraction de type SOHXLET	BEHR	-Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	EDEN LABO
-Rota-vapeur	BEHR	-Chloroforme CHCl_3	PROLABO
-Appareil de dosage de protéine DHJELDAHL	BEHR	-éther de pétrole	BIOCHEM
-Spectrophotomètre UV-Visible	JENWAY	-Acide sulfurique H_2SO_4	EDEN LABO
-Aw-mètre	NOVASINA	-Acide borique H_3BO_3	VWR
-PH-mètre	METTLER TOLRDO	-Hydroxyde de sodium NaOH	BIOCHEM
-Centrifugeuse	HETTICH	-Sulfate de potassium K_2SO_4	SPECILAB
-Distillateur	BEHR	-Acide acétique CH_3COOH	BIOCHEM
		-Acide chlorhydrique HCl	PROLABO
			HONYWELL

ANNEXE 03

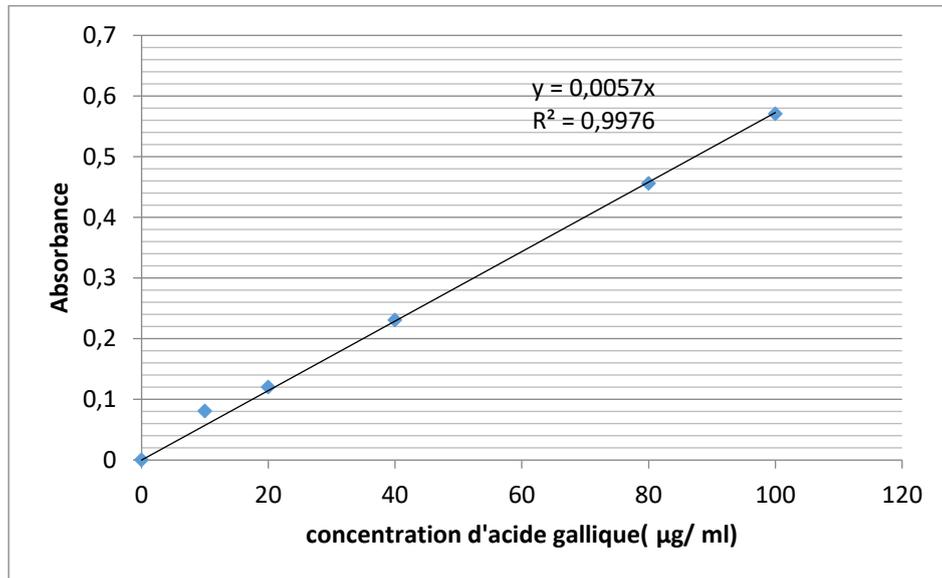


Figure a1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (µg/ ml)

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A/

- Aafi, A. 1996.** Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). *Centre Nationale de la recherche Forestière*.10p.
- Abathir,S.,Ali Kudhair, J.2021.** Extraction and Assessment of Antioxidative Activity from Wheat Germ oil. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. Vol 13 (1): 1-10pp.
- Abbou, H ., Brahim, N . 2023.** Formulation des pâtes alimentaires enrichies avec germe de blé cas de Tliti. Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.129p.
- Adrian, J. 2004.** La composition du germe de blé et sa valeur nutritionnelle. *Ind. des céréales*. 913p.
- AFNOR NFV03-712.** Céréales et produits céréaliers. Détermination de la teneur en matières grasses totales (1984).
- AFNOR. 1990.** Gras d'origines animales et vegetales - détermination de l'indice de saponification.
- AFNOR. (1981-1982).** Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. NF T60-203. Paris, la Défense. 327 p.
- Ahmed Messaoud, N. 2013.** Enrichissement du yaourt brassé en germe de blé tendre. Mémoire de master. Faculté des sciences agrovétérinaire département des sciences agronomiques.137p.
- Al-Musafer, AMSM. 2009.** Extraction d'antioxydants à l'aide de micro-ondes du fer, du grain de blé, du germe et du son, et étude de leur effet sur la rhéologie.
- Alobaidi, L. 2003.** Développement d'un procédé d'extraction en deux étapes pour la récupération de l'huile de germe de blé. Mémoire de master. Université de Bagdad.107p.
- Alsafi, A ., Al-Rikabi, A. 2021.** Extraction and assessment of antioxidative activity from wheat germ oil. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. Vol (13): 1-10 pp.
- Ananya, P ., Saumya, D ., Piyush, V et al. 2023.** A Rigorous Analysis of the Pharmacological Properties, Extraction, Stabilization Method, and Nutritional Content of Wheat Germ Oil. *Open Journal of Nutrition and Food Sciences*. Vol 5: 21 – 33pp.
- Arslan, D ., Demir, M ., Acar, A ., Arslan, N. 2020.** Investigation of Wheat Germ and Oil Characteristics with Regard to Different Stabilization Techniques. *Food biotechnology* .Vol 58(3): 348-355pp.

Arshad, M ., Anjum, F ., Zahoor, T. 2007. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry* .Vol (102): 123-128 pp.

Attia, A., Rezaq, A., Ahmed, F. 2010. Additional effect of defatted wheat germ protein isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. *Australian journal of basic and applied sciences*. Vol 4(8): 3139-3147pp.

Attia, R., Abou-Gharbia H. 2011. Evaluation and Stabilization of Wheat Germ and Its Oil Characteristics. *Food Science and Technology Dept.* vol. (8): 31-39 pp.

Aykoyd, W., Doughty, J. 1970. Le blé dans l'alimentation humaine F.A.O. ROME.

B /

Bakhouch, A. 2015. New challenges in analytical determination of olive oil polyphenols. Potential use as markers linked to pédoclimatique, agronomic and technological conditions. Doctoral thesis. University of Granada. Spain. 351p.

Benrachou, N. 2013. Etude des caractéristiques physico-chimiques et de la composition biochimique d'huiles d'olive issues de trois cultivars de l'est algérien. Thèse de doctorat. Biochimie Appliquée. Université Badji Mokhtar Annaba. 112p.

Boudreau, A., Menard, G. 1992. Le Blé Éléments Fondamentaux et Transformation. Canada : Les presses de l'université de Laval. 439 p.

Boukida, F., Folloni, S., Ranieri, R., Vittadini. 2018. A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 120-133pp.

Boulfane, S., Maata, N., Anouar, A., Hilali, S. 2015. Caractérisation physico-chimique des huiles d'olive produites dans les huileries traditionnelles de la région de la Chaouia-Maroc. *Journal of Applied Biosciences*. Vol 87: 8022-8029pp.

Bourson, Y. 2009. Mouture de blé tendre et technique d'obtention de la farine, édition techniques de l'ingénieur.

Brandolini, A., Hidalgo, A. 2012. Wheat Germ: Not Only a By-Product. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Vol 63 :71-74pp.

Bremenský, M., Nitrayová, S., Patrál, P., Heger, J. 2013. The quality of sorghum grain in aspect of utilization amino acids in pigs. *Anim Feed Sci Technol*. Vol 186(1-2):120p.

Barnes, P.1983. Wheat germ oil. *Lipids in cereal technology*. London (UK): Academic Press. 389-400 pp.

Bruneton, J. 1993. *Pharmacognosie: phytochimie, plantes médicinales*. Tec & DocLavoisier. Paris. 915p.

C/

Carré, P. 1953. *Précis de technologie et de chimie industrielle*. Paris : Ed Ballière .475p.

Chapoutot, P., Rouille, B., Sauvart, D., Renaud, B. 2018. Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger. INRA productions animales. Vol 31 (3): 201-220 pp.

Cong, L., Yi, S., Lei, Y., Yuxian, Ch., Rigala, J., Hao, W., Jinghong, Sh., and Jilite, W. 2022. The Hypolipidemic and Antioxidant Activity of Wheat Germ and Wheat Germ Protein. *Molecules*.Vol 27(7).

D/

Daniel, P. 2018. Les huiles végétales : diversité d'usages et filières en compétition. *Le déméter*. Paris .53-66pp.

Dapkeveciuc, A., Venskutonis, R., Van beek, T., Linssen, J. 1998. Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania. *Journal of Science Food and Agriculture*. Vol 77(1): 140-146pp.

Do Tiên, T. 2016. Évaluation des performances de la chromatographie sur couche mince haute performance (HPTLC) dans l'analyse (qualitative et quantitative) des métabolites secondaires dans les extraits naturels. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, Nice. France. 202p.

Dunford, NT. 2005. *Germ Oils from Different Sources*. In book: Bailey's industrial oil and fat products.1-33pp.

Dunford, N., Eisenmenger, M. 2008. Bioactive components of commercial and supercritical carbon dioxide processed wheat germ oil. *Journal of the American oil chemists society*.Vol 85(1): 55-61pp.

Dunford, N. 2009. Wheat germ oil. *Journal: INRA, Moreau & A. Kamal-Eldin (Eds.), Gourmet and health-promoting specialty oils*. 359-376pp.

E/

Evan, Sh., 1938. Thérapie à l'huile de germe de blé : II. Préservation de la puissance, influence sur le travail, besoins saisonniers. 609-614pp.

F /

FAO, 2023. Situation alimentaire mondiale. Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales [En ligne] Disponible sur : (<https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>). (Page consulter le 12 mai 2024 à 23 :45).

FAO. 2008. FAO agricultural statistiques. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations [En ligne]. Disponible sur : (<<http://faostat.fao.org>>). (Page consulter le 25 mai 2024 à 13 : 30).

Feillet, P. 2000. *Le grain de blé composition et utilisation*. Paris : Institut national de la recherche agronomique 147, rue de l'université .308 pp.

Frederic, F., Abert, M., Tixier, A., Carre, P., Pages, X., Chemat, F. 2013. Les agrosolvants pour l'extraction des huiles végétales issues de graines oléagineuses. *EDP Sciences*. Vol 20(4) :1-6pp.

Fu, L., Xu, B., Xu, X., Gan, R., Zhang, Y., Xia, E. and Li, H. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*. VOL 129: 345-350PP.

G/

Gachi, S. 2013. Etude des caractéristiques physico-chimiques, technologiques et microbiologiques des farines enrichis en germe de blé tendre. Essai d'incorporation en biscuiterie. Faculté de la science de la nature et de la vie Département de Sciences Agronomiques.

Godineau, E. 2014. Le germe de blé quels sont ses bienfaits santé. [En ligne] Disponible sur : (<<https://www.topsante.com/minceur/nutrition-minceur/aliments-minceur/le-germe-de-ble-quels-sont-ses-bienfaits-sante-74087>>). (Page consulter le 07 juin 2024)

Godon, B., Willm, C. 1990. *Les industries de première transformation des céréales*. Paris: Tec & Doc. Lavoisier. 679 p

H/

Hassan, H., Afify, A., Basyiony, A., Ahmed, G. 2010. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Journal of basic and applied sciences*.Vol 4(2): 348-358pp.

Herbert, W., Peter, K., Scherf, k. 2020. *Wheat an exceptional crop : chemistry, utilization, nutritional and health aspects*. Elsevier Science. 329p.

Herriatachy, NS., Griffin, VK., Gnanasambandam, R .1996. Preparation and functional properties of a protein isolate from defatted wheat germ. *Cereal Chem*. Vol (73) : 364-367 pp.

Howard, B., Hung, Y. 2011. Analyse de la fonctionnalité des ingrédients et optimisation de la formulation des pâtes complétées par de la farine d'arachide. *Journal des sciences alimentaires*. Vol : 76.

Hoseney, R. 1986. *Principles of Cereal Science and Technology* .American Association of Cereal Chemists.327p.

I/

ISO. Organisation Internationale de Normalisation: 3960 Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de l'indice de peroxyde Détermination avec point d'arrêt iodométrique 2007.

ISO 204883. Céréales et légumineuses. Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes-Méthode de Kjeldhal. 2013.

ISO 660 : Corps gras d'origines animales et végétales- Détermination de l'indice d'acide et de l'acidité. 1996.

J/

Jalil, A., Hamid, E., Allaw, A. 2021. Effects of Octacosanol, Wheat Germ Oil and Rice Oil Supplementation on Egg Quality Traits of Laying Quail. *Série de conférences IOP Sciences de la Terre et de l'environnement*. Vol 910(1): 012095.

Jamieson, G., Baughman, W. 1932. Wheat germ oil. *Agricultural and Food Sciences, Chemistry*. Vol 9 (6): 136-138pp.

JORA, 2013. Journal officiel de la république algérienne N° 08, 52 ème année.

K/

Kadous, M., Mahgoub, S., Shehata, W. 2014. The Utilization of Wheat Germ in Burger Preparation. *Annals of Agric. Sci., Moshtohor*. Vol 52(1) : 19-25pp.

Kamm, B., Kamm, M. 2004. Principles of biorefineries. *Appl Microbiol. Biotechnol*. Vol 64: 137-145pp.

Kashif, Gh., Özcan, M., AL-Juhami, F., Babiker, E., Sarker, I., Ahmed, A., Asif, M. 2016. Nutritional Composition, Extraction and Utilization of Wheat Germ Oil. *European journal of lipid science and technology*. Vol 119(7).

Khosroshahi, E., Razavi, S. 2023. Wheat germ valorization by fermentation: A novel insight into the stabilization, nutritional/functional values and therapeutic potentials with emphasis on anti-cancer effects. *Trends in Food Science & Technology*. Vol 131(9) :175-189pp.

Koh, P., Mokhtar, R., and Iqbal, M. 2012. Antioxidant potential of Cymbopogon citrates extract: alleviation of carbon tetrachloride-induced hepatic oxidative stress and toxicity. *Hum. Exp. Toxicol*. Vol 31: 81-91pp.

Kiger, J.L., Kiger, J.G. 1967. *Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime*. Paris: Dunod. 676 p.

Kim, N., Lee, D. 2002. Comparison of different extraction methods for the analysis of fragrances from lavender species by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. Vol 982: 31-47pp.

Kumar, P., Yadava, R., Gollen, B., Kumar, S., Verma, R.K., and Yadav, S. 2011. Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review. *Life sciences and medicine*. vol (22) : 1-10 pp.

L/

Lacharme, F. 2011. Les produits cosmétiques biologiques: labels, composition et analyse critique de quelques formules. Thèse :Sciences pharmaceutiques.

Lebet, V. 2004. Utilisation industrielle du germe de blé. Importance de la stabilisation. Ind des céréales n°137. 14-16pp.

Leenhardt, F., Anthony, F., Bernard, L., Elyett, G., Edmond, R., Andrzej, M., Elisabeth, C., Christian, D et Christian, R. 2008. Wheat Germ Supplementation of a low Vitamin E Diet in Rats Affords Effective Antioxidant Protection in Tissues. *Journal of the American College of Nutrition*. Vol 27(2): 222-228pp.

Legrand, G. 1993. *Manuel de préparateur en Pharmacie*. Masson, Paris.644p.

Liu, X., Chi, CH., Zhou, S., Jiang, Y. 2023. Comparison of wheat germ and oil characteristics and stability by different stabilization techniques. *Biotechnology Research & Development Center*.1-9pp.

Luque, J., Luque, M. 2004. Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: An expeditive approach for solid sample treatment-Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *Journal of chromatography*. Vol 1034 (1-2): 237-242pp.

M/

Magariño, M., Mateo, C., Nolasco, S. 2015. Kinetics of tocopherol degradation during the storage of wheat germ oil . *The canadian journal of chemical engineering 1999* .Vol (93): 1-6 pp.

Mahmoudi, S., Khali, M., Benkhaled, A., Boucetta, I., Dahmani, Y., Attallah, Z., Belbraouet, S.2018. Fresh figs (*Ficus carica* L.): pomological characteristics, nutritional value, and phytochemical properties. *Eur. J. Hortic. Sci*. Vol 83 : 104-113pp.

Mahmoud, A., Mohdaly, A., Elneairy, N. 2015. Wheat Germ: Nutritional Value, Antioxidant Potential and Antibacterial Characteristics. *Food Science and Technology* .Vol 6: 265-277pp.

- Majzoobi , M., Ghiasi, F., Eskandari, M. et Farahnaky, A. 2022.** Roasted Wheat Germ: A Natural Plant Product in Development of Nutritious Milk Pudding; Physicochemical and Nutritional Properties. *Foods*. Vol (11) :1-11 pp.
- Majzoobie, M., Darabzadeh, N., Farahnaky, A. 2012.** Effects of percentage and particle size of wheat germ on some properties of batter and cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*. Vol 14(4): 827- 836pp.
- Marti, A., Cristine, M., Torri, Let al. 2014.** Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. Vol 59(2): 1100-1106pp.
- Masayuki, T., Toshifumi, T., Masahito, Sh., Takeshi,k. 1985.** Extraction d'huiles de germe de blé avec du dioxyde de carbone supercritique.Agricole. *Biol. Chem.* Vol (8) :2367-2372pp.
- Massawe, E., Geiser, K., Ellenbecker, M., Marshall, J. 2008.** Technical performance evaluation of the potential biobased floor strippers. *Journal of Cleaner Production*. Vol 16: 12-21pp.
- Megahed, M. 2011.** Etude sur la stabilité de l'huile de germe de blé et l'activité lipase du germe de blé pendant le stockage périodique. *Agricole. Biol.* Vol (1) : 163-168pp.
- Meier GJ. 1993.** Non-aqueous cleaning solvent substitution. In: National technology transfer conference and exposition (4th), Anaheim, CA, United States Department of Energy, Washington, DC. 7–9 December, pp. 223–231.
- Michielin, E., Bresciani, L., Danielski, L., Yunes, R., Ferreira, S. 2005.** Composition profile of horsetail (*Equisetum giganteum* L.) oleoresin: Comparing SFE and organic solvents extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*. Vol 33(2):131-138pp.
- Mielke, T. 2011.** *Oil word annual*. ISTA, Hamburg : 77-109pp.
- Mosiniak, M., Roger, P., Roland, J. 2024.** Du blé au pain. [En ligne] Disponible sur : (<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/du-ble-au-pain>). (Page consulter le 02 juin 2024).
- N/
- Nara, J., Burkholder, W. 1983.** Influence of the Molting Cycle on the Aggregation Response of Trogoderma-Glabrum (Coleoptera, Dermestidae) Larvae to Wheat-Germ Oil.*Environmental Entomology*. Vol (12) : 703-706 pp.
- Nessah, N. 1998.** Extraction et caractérisation du germe de blé: Application en diététique. Thèse d'ingénieur. Blida. 101p.
- Nurt, H., Good, B., Willm, C. 1991.** La mouture de blé tendre. In: *les industries de première transformation des céréales*. Ed Lavoisier. Paris : Tec &Doc. 333-361pp.

O/

Ozcan, M., Antonella, R., Dessi, M., Muringo, B., El juhaimi, F., Piras, A. 2013. Quality of Wheat Germ Oil Obtained by Cold Pressing and Supercritical Carbon Dioxide Extraction. *Czech Journal of Food Sciences*. Vol 31(3): 236-240pp.

P/

Paul, C. 2007. Céréales et alimentation : une approche globale Agriculture Environnement Alimentation et Céréales. Institut national de la recherche agronomique 07. 1-4 pp.

Peter, O., Charles, M. 2021. In Agricultural Waste Diversity and Sustainability Issues. *Academic press*.

Pinarli, I., Ibanoglu, S., Öner, M. 2004. Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. *Journal of Food Engineering*. Vol 64(2): 249-256pp.

Piras, A., Rosa, A., Falconieri, D., Porcedda, S., Dessi, M., Marongiu, B. 2009. Extraction de l'huile de germe de blé par CO₂ supercritique. *Molécules*. Vol 14(7) : 2573-2581pp.

Pomeranz, Y. 1988. *Wheat : chemistry and technology*. American association of cereal chemists. Vol (2) : 562pp.

R/

Rogers, R., Seddon, K. 2003. Ionics liquids as green solvents: Progress and prospects. *ACS publications* .Vol 856 : 1-4pp.

Romain, J., Thomas, C., Pierre, S., Gérard, B. 2007. *Science des aliments*. Paris: Tec & Doc. Lavoisier. Vol (2):456p.

Rombaut, N. 2013. Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile aspects qualitatifs et quantitatifs application aux graines de lin et aux pépins de raisin. Thèse de doctorat. France : Université de technologie de Compiègne.

Roudaut, H., Lefrancq, E. 2005. *Alimentation théorique*. France. ISBN1629-7954. Collection dirigée par Figarella, J. et Calas A. 155p

S/

Sakhawat, A., Shumaila, U., Nasreen, Z., Naseem, Z., Nazir, S., Ammara, Y., Tehseen, Y. 2013. Nutritional evaluation and stabilization studies of wheat germ. *Pakistan Journal of food sciences*. Vol (23) : 148-152pp.

Shewry, P. 2009. The health grain programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition bulletin*. Vol 34(2) : 225-231pp.

Siraj, N. 2022. Wheat germ oil. *Food Science and Technology*.Vol 52(2) :1145-1151pp.

Sovová, H., Stateva, R. 2011. Supercritical fluid extraction from vegetable materials. *Reviews in Chemical Engineering*.Vol 27(3-4): 79-156.

Srivastava, K., Sudha, M., Baskaran, V., Leelafathi, K. 2007. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *European Food Research and Technology*.Vol 224 (3) : 365-372pp

Sudha, M., Srivastava, K., Leelafathi, K. 2007. Studies on pasting and structural characteristics of thermally treated wheat germ. *European Food Research and Technology*.Vol (225): 351-357pp.

Surget, A., Barron, C. 2005. Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales n° 145*. 1-5pp.

Swetman, T. 2008.Extraction de l'huile. Practical Action the schumacher Centre Bourton - Dunsmore Rugby.

V/

Vasconcelos, M., Bennett, R., Castro, C., Cardoso, P., Saavedra, M et Rosa, E. 2013. Étude de la composition, de la stabilisation et du traitement des sous-produits industriels du germe de blé et du maïs. *Cultures et produits industriels*. 292-298 pp.

W/

Williams, A., John, R. 2000. Clifford. *Supercritical Fluid Methods and Protocols*. Humana. 270p.

Wolff, J . 1968. *Manuel d'analyse des corps gras*. Paris : Azoulay. 517p.

y/

Yiqiang, G., Aidong, S., Yuanying, N., Tongyi, C. 2001. Study and development of a defatted wheat germ nutritive noodle. *European Food Research and Technology*. Vol 212(3) :344-348pp.

Z/

Zhi-hui, Z., Wei-long, Ch., Xiu-de, L., Xin, W., Fang-wei, Y., Jun-song, X., Yi-xuan, L., Guo-ping, Zh. 2023. Extraction, bioactive function and application of wheat germ proteins /peptides. *National center for biothechnology information*.

Zhu, K., Zhou, H. 2005. Purification and characterization of a novel glycoprotein from wheat germ water- soluble extracts. *Process Biochemistry*. Vol (40): 1469-1474pp.

Zhu, K., Zhou, H., Qian, H. 2006. Proteins Extracted from Defatted Wheat Germ: Nutritional and Structural Properties. *Chimie des céréales*.Vol 83(1):69-75pp.