

République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche

Scientifique

Université M'Hamed Bougera de BOUMERDES

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Domaine : Science et Technologie.

Filière : Génie des Procédés.

Spécialité : Génie alimentaire.

THEME

Essais d'extractions et Caractérisation physico-chimique et biologique de l'huile de germe de blé.

Présenté par :

DJANATI NACERA

Devant le jury composé de :

Président : **HACHMI MESSAOUD**

Examineur : **ZIDANI SOFIANE** (MCA)

Encadreur : **BENAKMOUM AMAR**

_ Année universitaire 2023/2024 _

Remerciement

Au terme de ce travail j'adresse mes plus sincères remerciements a Dieu, louange a Allah le tout puissant, celui qui m'a donné la force, le courage et la patience d'achever ce modeste ouvrage.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers **M. Benakmoum**, ses conseils éclairés et sa patience tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa passion pour le domaine et son engagement envers notre réussite ont été une source d'inspiration constante. Je suis également reconnaissant envers ma famille et mes amis pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de ce parcours académique.

Je tiens par la présente à exprimer ma plus profonde gratitude à toute l'équipe de Sosemie pour votre soutien inestimable et votre collaboration précieuse tout au long ,et je tenais à vous en témoigner ma reconnaissance la plus sincère.en particulier **M.TOUMI KHALED**.

Une pensée particulière à tous les enseignants qui ont contribué à assurer notre formation au sein de l'université, en particulier à **M. Hachmi**.

Dédicace

Je dédie ce modeste de travail :

À mes parents, piliers solides de ma vie et de mon parcours académique. Votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été ma source de motivation tout au long de ces années.

À mon mari, mon plus grand soutien. Votre amour, votre encouragement et votre foi en moi ont été ma force motrice dans les moments difficiles.

À mes sœurs (Zineb, Zoulikha, Nour, Rahma et Mina) et à mes frères (Zinou et Mouh).

À mes amies (Mariem, Salsabil et Hanane).

À tous les professeurs en génie alimentaire, Le principal d'entre eux est M. Hachmi.

Résumé

Dans le domaine de la santé et de la nutrition, les huiles végétales jouent un rôle essentiel. Cette étude porte sur l'extraction et la caractérisation physico-chimique de l'huile de germe de blé en utilisant la méthode Soxhlet assistée par micro-ondes, avec divers solvants (hexane, éthanol, acétone).

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'extrait d'huile de germe de blé tendre, obtenu à partir de la société Eurl de Sosémie. L'huile de germe de blé a été analysée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et par la spectroscopie UV-VIS. Les résultats indiquent que l'huile de germe de blé dur présente un faible rendement de 6,58 %.

L'analyse spectroscopique UV-VIS a révélé trois pics principaux : à 230 nm attribués aux acides gras et dérivés d'acides carboxyliques, à 270 nm correspondant aux tocophérols et stérols, et entre 300-350 nm dus aux acides gras insaturés conjugués et aux caroténoïdes.

Le spectre FTIR a identifié les groupes fonctionnels majeurs, confirmant la présence de triglycérides et d'autres composés. Les propriétés physico-chimiques de l'huile, telles que l'indice de saponification (190 mg KOH/g), l'indice d'iode (123 g I₂/100 g), l'indice d'acide (20 mg KOH/g), l'indice de peroxyde (12 meq/kg), l'indice de réfraction (1.400) et la densité (0.925 g/mL), ont été déterminées et sont conformes aux standards attendus pour ce type d'huile.

Mots clés : Germe de blé tendre, huile de germe de blé tendre, méthode Soxhlet par micro-ondes.

Abstract

In the field of health and nutrition, vegetable oils play a crucial role. This study focuses on the extraction and physico-chemical characterization of wheat germ oil using microwave-assisted Soxhlet method, employing various solvents (hexane, ethanol, acetone).

This study aims to evaluate the extracted wheat germ oil obtained from Eurl de Sosémie. Wheat germ oil was analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and UV-VIS spectroscopy. The results indicate a low yield of 6.58% for hard wheat germ oil.

UV-VIS spectroscopic analysis revealed three main peaks: at 230 nm attributed to fatty acids and carboxylic acid derivatives, at 270 nm corresponding to tocopherols and sterols, and between 300-350 nm due to conjugated unsaturated fatty acids and carotenoids.

FTIR spectrum identified major functional groups, confirming the presence of triglycerides and other compounds. The physico-chemical properties of the oil, such as saponification index (190 mg KOH/g), iodine value (123 g I₂/100 g), acid value (20 mg KOH/g), peroxide value (12 meq/kg), refractive index (1.400), and density (0.925 g/mL), were determined and meet expected standards for this type of oil.

Keywords: Soft wheat germ, soft wheat germ oil, microwave-assisted Soxhlet method.

ملخص

في مجال الصحة والتغذية، تلعب الزيوت النباتية دورًا أساسيًا. يركز هذا الدراسة على استخلاص وتوصيف الفيزيائي الكيميائي لزيت بذور القمح باستخدام طريقة سوكليت بمساعدة الميكروويف وباستخدام مذيبات متنوعة (هكسان، إيثانول، أسيتون).

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم زيت بذور القمح الناعم المستخرج من شركة إيورل دي سوسيمي. تم تحليل زيت بذور القمح باستخدام الطيف الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) وطيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV-VIS) تشير النتائج إلى حصول زيت بذور القمح الصلب على نسبة استخلاص منخفضة تبلغ 6.58%.

أظهر تحليل الطيف UV-VIS ثلاث ذروات رئيسية: عند 230 نانومتر يُعزى إلى الأحماض الدهنية ومشتقات أحماض الكربوكسيل، عند 270 نانومتر يتماثل مع توكوفيرولات وستيروالات، وبين 300-350 نانومتر بسبب الأحماض الدهنية غير المشبعة المتصلة والكاروتينويدات.

كشف الطيف FTIR عن تحديد المجموعات الوظيفية الرئيسية، مؤكدًا وجود الجليسيريدات الثلاثية ومركبات أخرى. تم تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت، مثل مؤشر التصبن (190) ملغ/كOH/غرام، قيمة اليود (123) جرام I₂/100 جرام، قيمة الحموضة (20) ملغ/كOH/غرام، قيمة البيروكسيد (12) ميكرويكيفالنت/كيلوغرام، معامل الانكسار (1.400)، والكثافة (0.925 غ/مل).

الكلمات الرئيسية: بذور قمح ناعمة، زيت بذور قمح ناعم، طريقة سوكليت بمساعدة الميكروويف

Table des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Introduction	
Partie I : synthèse bibliographique	
Chapitre 01 généralité sur le blé	
I. généralité	04
1. Histologique	05
2. Classification botanique	06
3. Structure et la composition du grain de blé	06
4. Composition chimique du grain de blé	07
II. Germe de blé	08
1. Description	08
2. Composition chimique et valeur nutritionnelle	09
III. Huile de germe de blé	13
1 Définition	13
2. Composition nutritionnelle	14
3. Utilisations	15
IV. Méthode Soxhlet	16
1. Principe	16
2. Applications	17
3. Effet du traitement par micro-ondes sur huile de germe de blé tendre	18
Chapitre 02 : Les activités biologiques	
Généralité sur les activités biologiques	
1. Activité antioxydant	18
a. Antioxydants naturels	18
b. Activité Antioxydante Synthétique	20
Partie II : Expérimental	
Chapitre 01 : Matériel et méthodes	
I. Matériel	21
I.1. Matériel végétal	21
I.1.1. Extraction de germe de blé tendre	22

I.2. Matériel de laboratoire	27
I.3. Réactifs chimiques et solvants	27
II.1. Extraction d'huile de germe de blé	27
II.1. 1. Les solvants utilisés	30
III. Les techniques d'analyse	31
1. La spectroscopie FTIR	31
2. La spectroscopie UV-visible	32
II.2. Détermination de rendement	33
Chapitre 02 : Résultats et discussion	
I. Étude de la matière première	34
II. Détermination des rendements	34
1. Rendement de préparation de germe de blé tendre	34
2. Rendement d'huile de germe de blé tendre	34
3. L'analyse spectroscopie UV-VIS	35
4. Spectre FTIR de l'extrait d'huile de germe de blé	37
5. Propriétés physico-chimiques de l'huile de germe de blé	39
Conclusion	
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

N°	Titres
01	récapitulatif de la classification botanique du blé
02	Composition biochimique du germe de blé
03	La composition en acides gras des lipides du germe pour 100 grammes.
04	Éléments Minéraux du Germe de Blé
05	Rapport des vitamines en mg pour 100 g de germe de blé
06	Répartition des enzymes dans le germe de blé
07	La composition en acides gras de l'huile de germe de blé
08	Paramètres physico-chimiques de l'huile de germe de blé

Liste des figures

N°	Titres
01	Composition histologique du grain de blé
02	Principe de fonctionnement de l'appareil de Soxhlet
03	Structure chimique de tocophérols
04	Structure de l'acide ascorbique
05	Structure de l'acide ascorbique
06	Structure chimique bêta-carotène
07	Squelette de base des flavonoïdes
08	Protocole d'extraction de germe de blé tendre
09	Protocole d'extraction d'huile de germe de blé
10	Spectre UV-VIS de l'extrait d'huile de germe de blé.
11	Spectre FTIR de l'extrait d'huile de germe de blé.

Liste des photos

N°	Titres
01	Le germe de blé tendre
02	Nettoyage de blé
03	Broyez de blé
04	Tamisez de blé
05	Appareil spectroscopie FTIR
06	Appareil spectroscopie UV_VIS

Liste des abréviations

- **BHA** : butylhydroxyanisole
- **BHT** : le butylhydroxytoluène
- **Méch** : Masse sèche de l'échantillon végétal en g.
- **Mext** : Masse de l'extrait après évaporation du solvant en g.
- **mm** : millimètre.
- **nm** : nanomètre.
- **Kg** : kilogramme.
- **mg**: milligramme.
- **µl**: microlitre.
- **µm**: micromètre
- **ms** : matière sèche
- **CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse.
- **Hplc** : Chromatographie en phase liquide à haute performance.
- **FT-IR** : Spectroscopie Infrarouge par Transformée de Fourier.
- **UV-VIS** : Spectroscopie Ultraviolet-Visible.

Introduction

Les huiles végétales forment un ensemble très diversifié de corps gras, chaque type se distinguant par sa composition, ses qualités et ses goûts uniques. Chacune possède des propriétés physico-chimiques spécifiques, un mode de fabrication particulier et une composition en acides gras, vitamines et autres composés mineurs qui lui est propre. Ces caractéristiques confèrent à chaque huile des avantages nutritionnels et des usages particuliers.

Ces huiles se démarquent par leurs propriétés organoleptiques, leur teneur en acides gras bénéfiques pour la santé, leur richesse en vitamines liposolubles et leurs nombreuses applications, tant culinaires que non culinaires. La diversité des huiles végétales permet de répondre à des besoins nutritionnels variés et pratiques, chaque huile offrant ses propres avantages (Gorusupudi et al., 2013).

Les céréales, quant à elles, sont des plantes cultivées pour leurs grains, essentiels dans l'alimentation humaine et animale depuis des millénaires. Principalement de la famille des graminées, ces plantes incluent des variétés telles que le blé, le maïs, le riz et l'orge, parmi les plus répandues dans le monde. Leur cycle de développement varie selon la période de plantation (Masbah H et al., 2019).

L'agriculture du blé est une industrie majeure à l'échelle mondiale, avec une production atteignant des millions de tonnes chaque année. Pour obtenir une production abondante et de qualité, il est crucial de surveiller toutes les étapes du cycle du blé, de la sélection de la variété à la moisson, en passant par la protection contre les bioagresseurs. Toutefois, cette industrie fait face à des défis environnementaux et économiques, notamment liés aux déchets et autres ressources non valorisées.

Parmi ces déchets figure le germe de blé, souvent éliminé lors du processus de mouture, bien qu'il représente une source potentielle de nutriments et de bénéfices écologiques. Le grain de blé se compose de trois parties : l'enveloppe ou son riche en fibres, l'amande qui représente plus de 80 % du grain et est essentiellement composée d'amidon, et le germe, contenant tous les éléments nécessaires à la formation d'une nouvelle plante et concentrant de nombreux nutriments. Il faut environ 1000 kg de blé pour obtenir 1 kg de germe de blé.

Grâce à diverses techniques d'extraction, il est possible d'obtenir de l'huile de germe de blé, une huile naturelle aux nombreux bienfaits pour la santé. Cette huile peut être consommée comme complément alimentaire ou utilisée dans la préparation d'aliments, de produits cosmétiques et autres articles divers (Moule, 1971).

Ce mémoire s'attache à explorer les différentes méthodes d'extraction de l'huile de germe de blé, tout en soulignant les avantages considérables et les impacts environnementaux positifs de cette pratique. Il met en lumière les bénéfices nutritionnels exceptionnels de l'huile de germe de blé, ainsi que ses nombreuses applications dans les industries alimentaire et cosmétique.

I. Le blé

Le blé est une céréale cultivée depuis des milliers d'années appartenant au genre *Triticum*. Ce sont des plantes annuelles de la famille des graminées. C'est l'une des cultures les plus importantes au monde et constitue un aliment de base pour de nombreuses populations et joue un rôle important dans la sécurité alimentaire mondiale.

Le blé, une plante herbacée annuelle, peut pousser jusqu'à une hauteur d'environ 1 mètre. Son cycle de vie s'étend sur environ 6 mois. Cultivé dans de nombreuses régions du globe, les principaux pays producteurs de blé comprennent, l'Europe avec 730 millions de quintaux (près du 1/4 de la production mondiale), l'U.R.S.S. avec plus de 930 millions de quintaux (1/4 de la production mondiale), les U.S.A. avec 430 millions de quintaux (1/7 de la production mondiale).

Le blé est une source importante de nutriments, notamment :

- **Glucides** : Source d'énergie pour le corps
- **Protéines** : Essentielles à la croissance et au développement des muscles
- **Fibres** : Favorisent la digestion et le transit intestinal
- **Vitamines et minéraux** : Contribue au bon fonctionnement de l'organisme. (Surget et al 2014)

Le rapport « Perspectives de récolte et situation alimentaire », qui fournit une analyse prospective de la situation alimentaire à travers le monde, prévoit une production en baisse de la production céréalière en Afrique du Nord, notamment en Algérie. (Masbah H et al2019)

Les résultats des récoltes céréalières 2024 dépendent, en effet, essentiellement des conditions météorologiques pendant le reste de la saison. Cela dit, la tendance est à la baisse ces dernières années. Les chiffres le démontrent d'année en année. La FAO évalue, d'ailleurs, la production céréalière en Algérie durant la saison 2022/2023 à 3,6 millions de tonnes, soit une baisse de 12% en 2022 et moins de 20% par rapport à la moyenne. (FAO 2024)

1. Histologique

Le grain de blé a une structure histologique caractéristique :

- Les grains de blé sont de forme ovoïde, plus ou moins allongée (Figure 01).
- Poids entre 20 et 50 mg.
- Longueur comprise entre 5 et 8 mm, de largeur entre 2 et 4 mm
- D'épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm.
- Couleur des blés vari du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, et le climat.
- Face dorsale plus ou moins bombée.
- Face ventrale, comportant un sillon profond.
- Partie supérieure, de courts poils forment la brosse.
- Partie inférieure, le germe est visible sur la face dorsale. (Surget et al 2014)

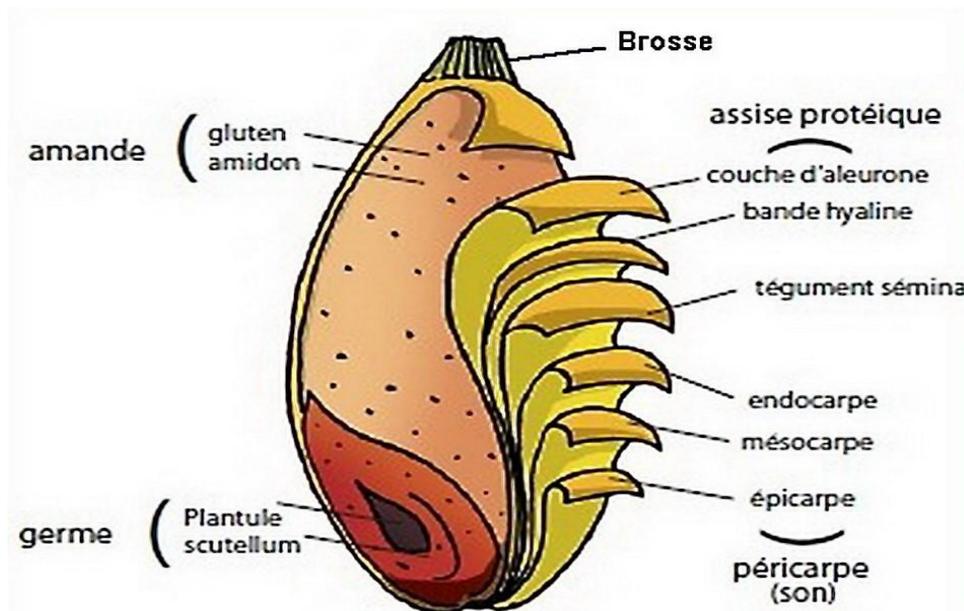


Figure 01 : Composition histologique du grain de blé (Z. Šramková et al 2009)

2. Classification botanique

Le blé est une plante annuelle, ce qui signifie qu'elle accomplit son cycle de vie en un an. Elle a un système racinaire fibreux, qui lui permet de puiser l'eau et les nutriments du sol. La tige du blé est creuse et cylindrique, et elle est divisée en nœuds et entre-nœuds. Les feuilles du blé sont linéaires et allongées, et elles portent des gaines à leur base. **(Hervé Levesque 2004)**

Tableau 01 : récapitulatif de la classification botanique du blé :**(Michel Chauvet 1996)**

Rang taxonomique	Nom	Description
Embranchement	Plantae	Végétaux
S/Embranchement	Angiospermes	Plantes vasculaires
Division	Magnoliophytes	Angiospermes
Classe	Liliopsida	Monocotylédones
Sous-classe	Commelinidae	
Ordre	Poales	Graminées
Famille	Poaceae	Graminées
Genre	Triticum	Blés

3. Structure et la composition du grain de blé

Le grain de blé est constitué de trois parties principales :

- **Enveloppe (13-17 %) :** C'est la couche externe dure et protectrice du grain. Elle est riche en fibres et en minéraux.

Structure des enveloppes :

- Le péricarpe (4%), constitué de trois couches : épicarpe, mésocarpe et endocarpe.
- Le tégument séminal (2%).
- L'assise protéique (7 à 9%).

Propriétés des enveloppes :

- Elles présentent une membrane à la fois souple et dure à briser.
- L'assise protéique adhère fortement à l'amande du grain, rendant difficile sa séparation.
- Le sillon du grain empêche une séparation complète par abrasion.

Composition des enveloppes :

- Le péricarpe et le tégument séminal sont riches en cellulose et en minéraux.
 - L'assise protéique est riche en protéines, lipides, vitamines et minéraux.
- **Albumen amylicé (endosperme) :** C'est la partie la plus importante du grain, représentant environ (80 à 85 %) de son poids du grain de blé, appelé également « amande ». Il est constitué de grains d'amidon entourés d'un réseau de gluten. L'albumen peut être vitreux et dur (dans le cas du blé dur), ce qui nous donne de la semoule.
- **Germe (embryon ,3 %) :** C'est la petite partie située à l'extrémité pointue du grain. Elle contient l'embryon de la future plante de blé et est riche en protéines, en lipides et en vitamines. (Srivastava et al 2007)

4. Composition chimique du grain de blé

Le grain de blé est composé principalement d'amidon (environ 70% de la matière sèche totale), qui se trouve principalement dans l'albumen amylicé. Les autres composants majeurs incluent :

_ Protéines : 10 à 15%, principalement sous forme de gluténine et de gliadine.

_ Pentosanes (hémicelluloses) : 8 à 10%

_ Lipides : 2 à 6%

_ Cellulose : 2 à 4%

_ D'eau : 12-14 % et des micronutriments

_Minéraux : 1,5 à 2,5%, incluant le potassium, le phosphore, le magnésium, le fer, le zinc et le cuivre.

_Vitamines : principalement des vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B5 et B6), ainsi que de la vitamine E et de l'acide folique et des substances à activités hormonales.

(Masbah H et al 2019)

II. Germe de blé

1. Description

Le germe de blé est la partie embryonnaire du grain de blé. C'est la partie qui donne naissance à une nouvelle plante de blé si elle est plantée dans un sol fertile et bien arrosé. Sur le plan nutritionnel, le germe de blé est particulièrement riche en vitamines, minéraux, protéines et graisses saines.

Le germe de blé est la partie intérieure et la plus petite du grain de blé, située sous l'enveloppe externe (le son) et le reste du grain (l'endosperme). Il est souvent de couleur jaune pâle à dorée. Visuellement, il ressemble à de petits morceaux granuleux. Sa texture est légèrement moelleuse. **(Mohamed G et al 2011)**

Le germe de blé a un arôme distinctif de grain ; Il a une saveur douce et légèrement noisétée. Il se présente sous forme de plaquettes écrasées minces de teinte, de 3 à 6 mm de dimension. **(Huili Yan et al 2021)**

En raison de sa richesse en nutriments, le germe de blé est souvent utilisé comme ingrédient dans diverses préparations culinaires et cosmétiques et en pharmacie comme complément nutritionnel. **(Xiaojun L et al 2019)**

2. Composition chimique et valeur nutritionnelle

Le germe de blé est la composante principale de grain de blé. La plupart des nutriments à l'exception de l'amidon sont concentrés dans le germe. **(Hassan et al., 2010)**, qui représente 2,5 à 3,8 % du poids total du grain de blé, est un autre sous-produit important de la mouture, qui est séparé de l'endosperme pendant la mouture en raison de sa sensibilité à l'oxydation et de ses propriétés boulangères défavorables **(Brandolini, A.2012)**.

Il est indéniable que de nombreuses études ont souligné l'importance et l'intérêt de ce précieux composant en tant qu'élément d'enrichissement et de supplémentation, souvent hautement valorisé. Il est riche en tocophérols, en vitamines du groupe B et en huile composée d'une grande proportion d'acides gras insaturés. Le germe de blé constitue également une source potentielle de minéraux et il fournit trois fois plus de protéines, sept fois plus de matières grasses, quinze fois plus de sucres et six fois plus de minéraux par rapport à la farine de blé. **(UMAR ARSHAD et al 2008)**. La composition chimique du germe de blé est représentée dans le **tableau n°2**.

Tableau 02 : Composition biochimique du germe de blé (en g pour 100 g de matière digestible) **(Xiaojun et al 2019)**

Paramètre	GERME
Humidité (%)	11.4 ±0.2
Protéine (%)	25.11-31.4± 0.5
Lipides (%)	7.3- 9±0.2
Cendre (%)	4.2±0.1
Fibres (%)	
Soluble	2.8± 0.1
Insoluble	15.6± 0.2
Vitamine E mg/100g	15.80-22.0
Carbohydate (%)	51.99±1.0

Les valeurs sont des moyennes ± écarts types (n = 4), sur base de la matière sèche (ms)

2.1. Protéines

Le germe de blé contient entre 25,11 et 31,4% de protéines sur matière sèche. Ces protéines sont principalement composées de globulines (18,9%) et d'albumines (30,2%). Comparées aux protéines du gluten, les protéines du germe de blé contiennent moins d'acide glutamique et de proline, mais ont une teneur en lysine beaucoup plus élevée. En revanche, les gliadines et les gluténine du gluten ont une faible teneur en acides aminés basiques. (Zhu et al 2006)

2.2. Humidité

2.2.1. Teneur en eau

La teneur en eau est un facteur crucial lors du stockage du grain. Le germe de blé contient en moyenne $11,4 \pm 0,2$ grammes d'eau pour 100 grammes de matière sèche, mais des valeurs plus élevées peuvent être observées, allant de 12% à 13%.

2.2.2. Variations de la teneur en eau

Les variations de la teneur en eau des germes de blé s'expliquent principalement par les conditions de récolte et de conditionnement du blé avant mouture. (Kumar et al 2011)

3. Lipides

3.1 Teneur en lipides

La teneur en lipides du germe de blé se situe entre 7,3 et 9% (. Ces lipides peuvent être classés en deux catégories principales : les lipides polaires et les lipides non polaires, qui représentent respectivement environ 4,88 % et 23,97 % des lipides totaux du grain de blé. (Xiaojun L .2019)

3.2 Composition des lipides

- **Lipides polaires** : Les lipides polaires du germe de blé sont principalement constitués de glycolipides (0,53 %) et de phospholipides (4,35 % des lipides du germe).
- **Lipides non polaires** : Les lipides non polaires, quant à eux, sont majoritairement représentés par les triglycérides (Mohamed G et al 2011).

3.3 Composition en acides gras

La composition en acides gras des lipides du germe est détaillée dans le tableau suivant :

Acide gras	Teneur (%)
Acide palmitique	18
Acide stéarique	0,40
Acide palmitoléique	0,2
Acide oléique	10 ,9
Acide linoléique	58
Acide linoléique	57

Tableau 03 : La composition en acides gras des lipides du germe pour 100 grammes. (Šramková Z et al 2009)

4. Minéraux

Le germe de blé est une source précieuse de nombreux minéraux essentiels à l'organisme. Voici sa composition en minéraux pour 100 grammes : (UMAR Arshad et al2008)

Minéraux	Teneur (%)	Quantité par 100g
Magnésium	68%	256,0 mg
Potassium	46%	922,0 mg
Phosphore	37%	920,0 mg
Fer	61%	8,6 mg
Manganèse	73%	11,0 mg
Zinc	43%	7,7 mg
Cuivre	23%	0,9 mg
Sélénium	58%	58,0 µg

Tableau 04 : Éléments Minéraux du Germe de Blé (mg pour 100 g de germe)

Du tableau, nous concluons que le phosphore et le potassium font partie des minéraux les plus importants présents dans le germe de blé. (Xiaojun L et al 2019)

4.1 Vitamines

Effectivement, le germe de blé est une excellente source de vitamines liposolubles du fait de sa teneur élevée en lipides. Parmi ces vitamines, on trouve :

- **La vitamine E** : Le germe de blé est l'une des sources les plus riches en vitamine E, un antioxydant puissant qui aide à protéger les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres.
- **Les vitamines liposolubles** : le germe de blé est également une bonne source de vitamines hydrosolubles, telles que les vitamines B1, B2, B3 B9 et B6. Ces vitamines sont essentielles à la production d'énergie, au métabolisme et à la fonction nerveuse. (Xiaojun L et al 2019)

Tableau 05 : Rapport des vitamines en mg pour 100 g de germe de blé (Xiaojun L.2019)

B1	B5	B3	B6	B9	E
1,32 mg	1,35 mg	1,68 mg	0,83 mg	143 µg	10,2 mg

µg : microgrammes

Mg : milligrammes

Le germe de blé contient également des traces de vitamine B2 (riboflavine) et de vitamine B12 (cobalamine). Cependant, il ne contient pas ou peu de vitamine A, vitamine D et vitamine K. (Brandolini A,2012)

5. Enzymes

Le germe de blé est riche en enzymes, qui jouent un rôle crucial dans la digestion et l'absorption des nutriments. Voici quelques-unes des principales enzymes trouvées dans le germe de blé :

- **Amylases** : Ces enzymes décomposent l'amidon en sucres simples. Elles sont essentielles pour le processus de digestion des glucides.

- **Protéases** : Ces enzymes hydrolysent les protéines en acides aminés. Elles aident à la digestion des protéines et à l'absorption des acides aminés.
- **Lipases** : Ces enzymes décomposent les graisses en acides gras et en glycérol. Elles facilitent la digestion des lipides. **(Xiaojun et al 2019)**

Tableau 06 : Répartition des enzymes dans le germe de blé **(Šramková et al 2009)**.

Les enzymes	Germe
Lipase	+++
Protéase	+++
Lipoxygénase	+++
Oxydase	+++
Estérase	++
β amylase	+

+++ : présence importante

++ : présence notable

+ : présence

III. Huile de germe de blé

III.1 Définition

L'huile de germe de blé est une huile végétale extraite du germe du grain de blé, qui représente environ 2,5% du poids du grain. Sa couleur varie entre le jaune d'or et l'orange, selon la variété de blé et les conditions de culture et possède une saveur légèrement noisettée. Elle est riche en nutriments, notamment en vitamine E, en acides gras essentiels, en minéraux et en antioxydants. **(Yanping Z et al2018)**

III.2. Composition nutritionnelle

L'huile de germe de blé est riche en nutriments essentiels, tels que :

- **Vitamine E** : Un antioxydant puissant qui combat les radicaux libres et protège les cellules des dommages.
- **Acides gras essentiels** : L'huile de germe de blé est une précieuse source d'acides gras, offrant une combinaison équilibrée d'acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés.

_ Les acides gras saturés, présents à hauteur de 14 à 19%, sont principalement représentés par l'acide palmitique et l'acide stéarique.

_ Les acides gras monoinsaturés, tels que l'acide oléique (12 à 23%), sont considérés comme bénéfiques pour la santé cardiovasculaire.

_ L'huile de germe de blé est remarquablement riche en acides gras polyinsaturés, notamment l'acide linoléique(oméga-6), (52 à 59%) et l'acide alpha-linolénique (oméga-3), (4 à 10%), qui jouent un rôle essentiel dans divers processus biologiques, dont la santé cérébrale et cardiovasculaire. Cette composition en acides gras diversifiée confère à l'huile de germe de blé des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles bénéfiques pour la santé humaine. **(Xiaojun et al 2019)**

Tableau 07 : La composition en acides gras de l'huile de germe de blé. (**Dossier technique et réglementaire.2019**)

Acides gras	Dénomination	% Acides gras totaux
C16 :0	L'acide palmitique	10 à 12%
C18 :0	L'acide stéarique	2 et 3%
C18 :1 ω 9	L'acide oléique	12 à 23%
C18 :2 ω 3	L'acide linoléique	52 à 59%
C18 :3n3	L'acide alpha-linolénique	4 à 10%

- **Minéraux** : Magnésium, potassium, fer, zinc et manganèse, essentiels pour diverses fonctions corporelles.
- **Antioxydants** : Lutéine, zéaxanthine et tocophérols, qui protègent les cellules contre le stress oxydatif. (Yanping Z et al 2018)

III.3. Utilisations

- L'huile de germe de blé est extraite du germe du grain de blé. Elle est réputée pour sa richesse en nutriments, notamment en vitamines (comme la vitamine E), en acides gras essentiels et en antioxydants. Cette huile est largement utilisée dans divers domaines, y compris la nutrition, la cosmétique et la médecine vétérinaire.
- L'huile de germe de blé est utilisée comme ingrédient dans diverses préparations alimentaires en raison de sa richesse en nutriments. Elle peut être ajoutée aux salades, smoothies, céréales et produits de boulangerie pour enrichir leur valeur nutritionnelle.

- Dans les exploitations biologiques, l'huile de germe de blé est parfois utilisée comme composant dans des formulations de contrôle des insectes. Ses propriétés antioxydantes peuvent aider à protéger les cultures contre les dommages causés par les radicaux libres générés par les infestations d'insectes et les traitements chimiques.
- L'huile de germe de blé est utilisée dans la fabrication de produits pharmaceutiques en raison de ses propriétés bénéfiques pour la santé. Elle est incluse dans les suppléments diététiques pour améliorer la santé cardiovasculaire, renforcer le système immunitaire, et favoriser la guérison des blessures grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes. (Karabacak.M et al 2011)

IV. Les méthodes d'extraction l'huile de germe de blé

Méthode Soxhlet

La méthode Soxhlet est une technique d'extraction largement utilisée en chimie pour extraire les composés volatils ou semi-volatils d'une substance solide. Voici une brève explication de ses principes et de ses applications :

1. Principe

La méthode Soxhlet repose sur le principe de la distillation continue. Un solvant est chauffé dans un ballon en bas de l'appareil et évaporé. La vapeur monte alors dans le ballon d'extraction où se trouve l'échantillon solide à extraire. À ce stade, le solvant vaporisé traverse l'échantillon et se charge en composés à extraire. Ensuite, le solvant chargé de composés est entraîné dans un réfrigérant, où il se condense et retourne dans le ballon en bas. Là, le solvant condensé dissout les composés extraits, formant une solution dans le ballon en bas. Ce cycle de chauffage, d'évaporation, de condensation et de retour du solvant se répète jusqu'à ce que l'extraction soit complète. (Fui-S,et al.2013)

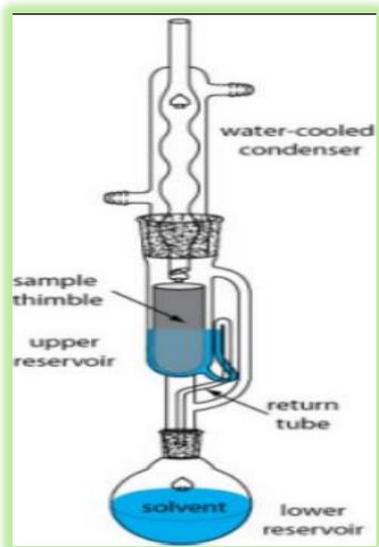


Figure 02 : Principe de fonctionnement de l'appareil de Soxhlet. (TP.Dr. DJAALAB 2016)

2. Applications

- Extraction d'huiles essentielles à partir de plantes.
 - Extraction de lipides à partir de matières grasses.
 - Purification de composés organiques.
 - Analyse de résidus de pesticides dans les aliments.
 - Préparer des extraits concentrés d'échantillons solides pour des techniques d'analyse chromatographique comme la CPG et HPLC ou Spectroscopie FT-IR, La spectroscopie UV-visible... ;. (Chang Kee Lim et al 2010)
- ✓ Il est très important de mentionner que dans notre méthode d'extraction de l'huile de germe de blé par la méthode Soxhlet est assisté **par un micro-ondes**.

3. Effet du traitement par micro-ondes sur huile de germe de blé tendre

Les micro-ondes jouent un rôle crucial dans le processus d'extraction de l'huile de germe de blé. En effet, l'utilisation des micro-ondes permet non seulement une extraction efficace et rapide de l'huile, mais elle contribue également à préserver la qualité des composants sensibles, tels que les tocophérols et autres antioxydants.

Ce type de traitement thermique réduit le temps d'extraction tout en minimisant les processus de dégradation oxydative et hydrolytique, ce qui est essentiel pour maintenir l'intégrité chimique et nutritionnelle de l'huile extraite.

De plus, les micro-ondes peuvent favoriser une meilleure récupération des composés volatils et augmenter le rendement global de l'extraction, offrant ainsi une méthode avantageuse pour l'industrie alimentaire et cosmétique. (S.P. Meriles et al.2022).

Les activités biologiques

Les activités biologiques regroupent l'ensemble des processus chimiques et physiques qui se déroulent au sein des êtres vivants. Elles sont à la base de toutes les fonctions vitales, telles que la croissance, la reproduction, la respiration, la digestion, la photosynthèse, la locomotion, la communication, etc. (Yanping Z et al 2018).

I. Activité antioxydant

Les antioxydants sont des substances qui retardent ou inhibent l'oxydation d'un substrat, Ce qui la rend unique est sa capacité à agir même en présence de très faibles quantités dans le milieu où elle intervient. (Karabacak.M et al2011)

1. Antioxydants naturels

Les antioxydants non-enzymatiques sont des molécules de faible poids moléculaire qui peuvent neutraliser les radicaux libres. Ils sont obtenus principalement par l'alimentation et comprennent :

- **Vitamines :**

- **Vitamine E (Tocophérol) :** Un antioxydant liposoluble qui protège les membranes cellulaires contre les dommages oxydatifs.

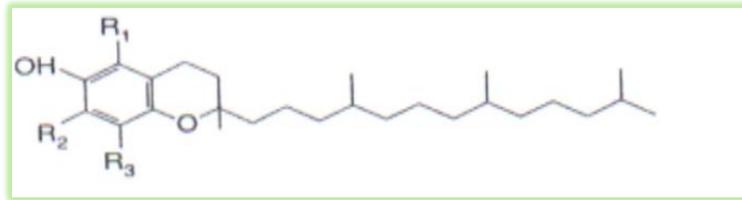


Figure 02 : Structure chimique de tocophérols (JKN Lee al., 2004)

- **Vitamine C (Acide Ascorbique) :** Un antioxydant hydrosoluble qui régénère la vitamine E et neutralise les radicaux libres dans les fluides corporels.

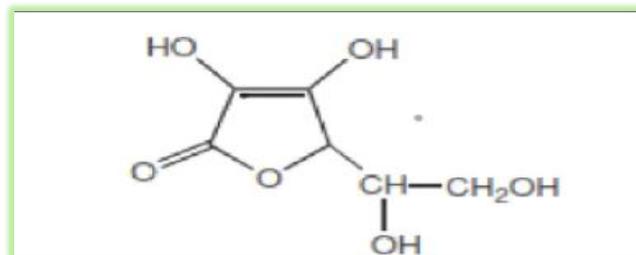


Figure 02 : Structure de l'acide ascorbique (Diallo. 2005)

- **Caroténoïdes** : Pigments végétaux tels que le bêta-carotène, la lutéine et le lycopène, qui ont des propriétés antioxydantes et protègent contre les dommages photo-oxydatifs. (Karabacak.M et al 2011)

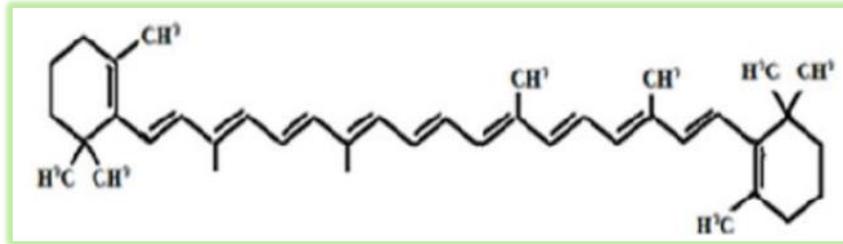


Figure 03 : Structure chimique bêta-carotène. (Marc NICOL et al 2000)

- **Polyphénols** : sont des composés chimiques que l'on trouve naturellement dans de nombreux aliments d'origine végétale telle que (fruits, légumes, céréale), les polyphénols (comme les flavonoïdes) ont des propriétés antioxydantes puissantes. (Sonia c et al 2011)

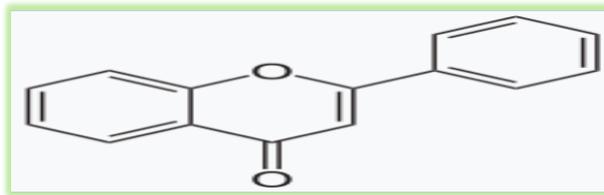


Figure 04 : squelette de base des flavonoïdes. (Sonia c et al 2011)

2. Activité Antioxydante Synthétique

Dans l'industrie alimentaire, les antioxydants synthétiques tels que :

- **Butylhydroxytoluène (BHT)** : Utilisé comme conservateur pour prévenir l'oxydation des graisses et des huiles dans les produits alimentaires et cosmétiques.
- **Butylhydroxyanisole (BHA)** : Est largement utilisé dans l'industrie alimentaire, notamment dans les huiles, les graisses, les céréales, les snacks, et d'autres aliments transformés pour prolonger leur durée de conservation en évitant le rancissement dû à l'oxydation.. (Yanping Z et al 2018)

Objectif

Le but de notre étude est d'analyser les caractéristiques physico-chimiques du germe de blé tendre et d'extraire l'huile de germe de blé en utilisant la méthode de Soxhlet assisté par micro-ondes avec des solvants spécifiques.

Les analyses spectroscopiques FT-IR et UV-VIS sont employées pour caractériser les composants chimiques de l'huile ainsi obtenue.

I. Matériel

I.1. Matériel végétal

Notre échantillon végétal est le germe de blé tendre extrait du grain de blé tendre fourni par la société EURL Sosémie (Photo 01).



Photo 01 : Le germe de blé tendre

I.1.1. Extraction de germe de blé tendre

Pour extraire le germe de blé, On cite ce qui suit les étapes par chronologie :

1) Nettoyez le blé

Le nettoyage du blé s'effectue généralement en plusieurs étapes :

- **Triage initial** : Le blé est d'abord trié pour éliminer les gros débris tels que les cailloux et les morceaux de paille. Cela peut se faire manuellement ou à l'aide d'un tamis.
- **Lavage** : Le blé est ensuite lavé à l'eau courante pour enlever la poussière et les petits débris. Il est important de bien égoutter le blé après le lavage pour éviter de le rendre trop humide pour la mouture.
- **Séchage** : Le blé peut être séché à l'air libre ou au moyen d'un séchoir. Le séchage permet de prolonger la durée de conservation du blé et de le rendre plus facile à moudre.



Photo 02 : Nettoyage de blé. (Selon eurl de sosémie)

2) Broyez le blé : Passez le blé dans le moulin à grains en utilisant un réglage fin. Le but est de broyer le blé en une fine farine tout en gardant les germes intacts.



Photo 03 : Broyez de blé

3) Tamisez la farine : Tamisez la farine de blé broyée à l'aide d'un tamis fin. Le germe de blé plus gros que la farine restera sur le tamis.



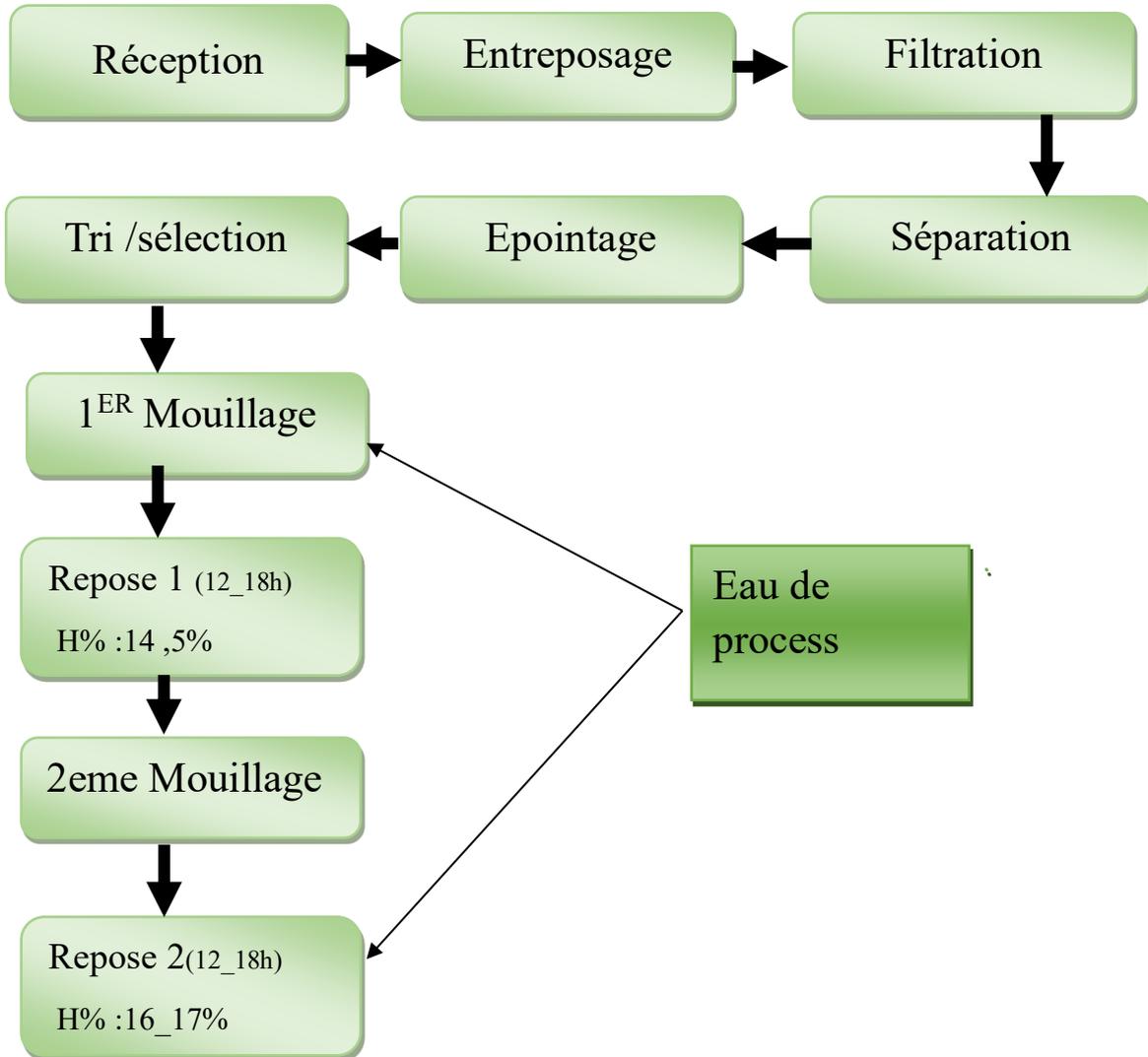
Photo 04 : Tamisez de blé

4) Récupération de germes : Il descend du tamis à travers de grands tubes et est considéré comme un déchet et est collecté dans un cylindre avec le son. Comme le montre le schéma suivant : (selon de société sosémie)



- Les étapes d'extraction du germe de blé chez Sosémie sont contrôlées par le système STEP 7. Il permettrait de surveiller et de réguler les paramètres du processus, tels que la vitesse des machines, les températures, les niveaux de pression, etc., pour garantir une production efficace et de haute qualité.

➤ La 1^{ère} étape : Processus nettoyage



➤ La 2ème étape : Récupération de germes

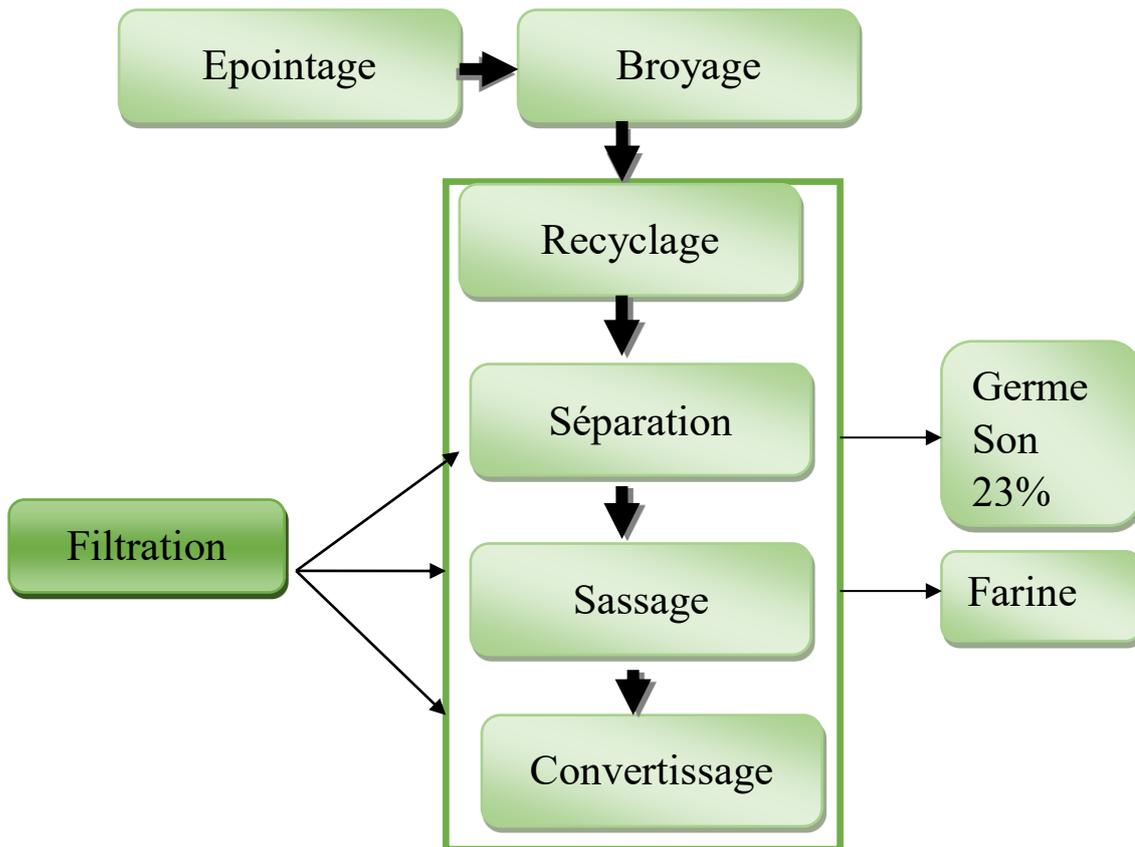


Figure 02 : Protocole d'extraction de germe de blé tendre (selon la société sosémie)

I.2. Matériel de laboratoire

- Balance analytique
- Micro-ondes (Bec Benzène)
- Soxhlet
- Spectromètre FT-IR
- Spectromètre UV-VIS

I.3. Réactifs chimiques et solvants

- Hexane
- Acétone
- Éthanol

II.1. Extraction d'huile de germe de blé

L'extraction d'huile de germe est réalisée par méthode de Soxhlet assister par micro-ondes

1. **Préparation de l'échantillon** : La quantité de matière végétale, dans ce cas 22,766 g, est placée dans une cartouche de cellulose. Cette cartouche servira de support pour contenir le matériau végétal pendant l'extraction
2. **Assemblage de l'extracteur Soxhlet** : La cartouche de cellulose contenant l'échantillon est insérée dans l'extracteur Soxhlet. En partie haute de l'extracteur, un fluide frigorigène est fixé pour permettre la condensation et le reflux du solvant. En partie basse, un ballon à col rodé est fixé, contenant 250ml des solvants (150ml hexane,100ml acétone,25ml éthanol) pour extraire l'huile de germe.

3. **Extraction par Soxhlet** : Le cycle d'extraction démarre. Allumez le micro-ondes, faisant s'évaporer les solvants qui monte dans la colonne de reflux jusqu'à atteindre la cartouche de cellulose. Le solvant dissout les composants solubles dans l'huile de germe et redescend dans le ballon par condensation.

4. **Répétition du cycle** : Ce cycle est répété plusieurs fois, souvent jusqu'à épuisement complet de la matière végétale ou jusqu'à ce que le rendement d'extraction désiré soit atteint. Chaque cycle permet une extraction plus complète des composants solubles.

5. **La distillation** : Pour éliminer le solvant résiduel de l'extrait, on retire d'abord la cartouche de cellulose. En effet, la chaleur évapore les solvants, laissant derrière eux les composants extraits de l'huile de germe et permet de récupérer les solvants dans un extracteur Soxhlet.

6. **Récupération de l'extrait** : À la fin de l'extraction, l'extrait est récupéré du ballon. Il est ensuite transféré dans un tube de verre. En suivant ces étapes, on obtient ainsi un extrait d'huile de germe de blé purifié et dépourvu de solvant.



22,766 g de germe de blé + 250ml solvants
(hexane,acétone,ethanol).



Extraction d'huile de germe par appareil de Soxhlet avec plusieurs cycle a été répété jusqu'à l'épuisement complet.



À la fin de l'extraction, Retirez la cartouche de la cellulose, la chaleur est appliquée, les solvants s'évaporent, permettant ainsi de récupérer les composés extraits dans un extracteur Soxhlet.



Dans la fin, nous obtenons de l'huile de germe de blé.

Figure 03 : Protocole d'extraction d'huile de germe de blé

I.2. Les solvants utilisés

Hexane : (Forte solubilité des lipides) L'hexane est un solvant non polaire qui a une affinité élevée pour les lipides, comme l'huile de germe de blé. Sa capacité à dissoudre efficacement les lipides permet d'obtenir un rendement élevé d'huile lors de l'extraction.

Acétone : L'acétone est un solvant aprotique polaire qui possède également une bonne capacité d'extraction des lipides. Sa nature aprotique lui permet de dissoudre des composés neutres et polaires, ce qui le rend efficace pour extraire l'huile de germe de blé tout en minimisant l'extraction d'autres composants indésirables. Il est souvent utilisé en combinaison avec l'éthanol pour obtenir une huile de germe de blé plus pure.

Ethanol : L'éthanol est un solvant polaire qui a la capacité de dissoudre une large gamme de composés, y compris les lipides comme l'huile de germe de blé. Sa polarité lui permet de s'associer aux molécules d'huile et de les solubiliser, les rendant ainsi facilement extractibles de la matrice végétale.

Il est important de noter que le choix des solvants et de leurs proportions peut varier en fonction des propriétés chimiques des composés cibles et des exigences spécifiques de l'extraction. (Nurhan T, Minquan Z et al 2003)

Analyses physico-chimiques de l'huile

La densité relative : La densité relative est mesurée à une température de 20°C. Elle représente un paramètre qui nous renseigne sur la pureté de l'huile. Nous avons effectué plusieurs mesures sur les différents échantillons obtenus par les différentes méthodes.

Indice de réfraction :

L'indice de réfraction (IRf) a été mesuré à une température de 20°C. C'est un paramètre qui nous renseigne sur la qualité d'huile. L'indice de réfraction varie en fonction du degré d'insaturations des acides gras qui composent l'huile. [29], [27] Nous avons mesuré les indices de réfraction pour toutes les fractions d'huiles obtenus par les différentes méthodes (Tableau 8) : En comparant l'IRf de huiles de graines de grenade avec les IRf d'autres huiles végétales, on remarque que, l'indice de réfraction de l'huile de graines de grenade est le plus élevé.

Ainsi on peut prédire que l'huile de graines de grenade d'après la littérature est riche en acide polyinsaturé. [27]

Viscosité :

La viscosité a été mesurée à 25 ° C avec un viscosimètre capillaire (Ubbelohde par SCHOTT GERATE AVS 400). Pour la mesure de la viscosité, une quantité appréciable d'huile est requise. Dans notre cas, nous n'avons pu mesurer que la viscosité cinématique pour l'huile extraite par presse et par ultrasons. A partir de la viscosité cinématique, nous en avons déduit par calcul la viscosité dynamique.

Indice de peroxyde :

L'indice de peroxyde (IP), mesure le nombre d'O₂ actif consommé dans les chaînes organiques d'un corps gras. Il permet donc d'évaluer l'état de conservation, et le degré d'oxydation des acides gras insaturés présents dans l'huile végétale. Plus l'IP est élevée, plus la matière grasse est oxydée et donc l'huile s'en trouve altérée.

[27],

Si l'indice de peroxyde est inférieur à 10 meq d'O₂/kg, nous pouvons dire que l'huile est fraîche et de bonne qualité. Et si l'indice de peroxyde se trouve dans la plage de 20 à 40 méqO₂/kg, l'huile devient rance et altérée. [28].

II. Les techniques d'analyse

1. La spectroscopie FTIR

Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est une méthode analytique avancée largement utilisée dans l'analyse des huiles. Cette technique permet d'étudier les interactions moléculaires des composants présents dans les huiles en mesurant leur absorption d'énergie infrarouge à différentes longueurs d'onde. Ces mesures fournissent des informations précieuses sur la composition chimique des huiles, leur pureté, leur stabilité et leurs propriétés fonctionnelles.

L'application de la spectroscopie FTIR aux huiles offre une approche non destructive et rapide pour identifier et quantifier différents constituants tels que les acides gras (saturés et insaturés), les antioxydants, les phytostérols, et autres composés bioactifs. En analysant les spectres FTIR des huiles, les chercheurs peuvent évaluer leur qualité, détecter la présence d'impuretés ou de contaminants, surveiller les processus d'oxydation et suivre les changements chimiques induits par le stockage ou le traitement. **(G. Squeo, et al.2019)**

En utilisant cette technique, les chercheurs peuvent identifier spécifiquement les acides gras présents, tels que les acides linoléique et linoléique, ainsi que d'autres composés bioactifs comme les tocophérols et les phytostérols. De plus, la spectroscopie FTIR peut être utilisée pour évaluer la qualité de l'huile de germe de blé en détectant la présence d'impuretés, d'oxydation ou d'autres altérations chimiques qui pourraient affecter sa stabilité et ses propriétés nutritionnelles.

Cette approche analytique est particulièrement précieuse dans le domaine de la recherche alimentaire et des sciences des lipides, contribuant à mieux comprendre les aspects nutritionnels et fonctionnels de l'huile de germe de blé, tout en facilitant son contrôle qualité dans diverses applications industrielles et cosmétiques. **(E. Zahir et al.2014)**



Photo 05 : Appareil spectroscopie FTIR. (Institut algérienne de pétrole)

2. La spectroscopie UV-visible

La spectroscopie UV-visible appliquée à l'huile est une méthode analytique utilisée pour étudier les propriétés optiques et chimiques des composants présents dans l'huile. Cette technique exploite la capacité des molécules présentes dans l'huile à absorber la lumière dans la région UV-visible du spectre électromagnétique, généralement entre 200 et 800 nanomètres.

Lorsqu'une huile est exposée à une source de lumière UV-visible, certains composants absorbent sélectivement la lumière à des longueurs d'onde spécifiques, en fonction de leur structure moléculaire. Cette absorption est mesurée par un spectrophotomètre UV-visible, qui produit un spectre caractéristique montrant l'intensité de l'absorption en fonction de la longueur d'onde. **(E. Zahir et al.2014)**

La spectroscopie UV-visible constitue un outil puissant pour caractériser et évaluer l'huile de germe de blé, offrant des informations détaillées sur sa composition, sa qualité et ses propriétés fonctionnelles. Elle joue un rôle essentiel dans la recherche scientifique ainsi que dans le développement et le contrôle qualité des produits utilisant cette huile précieuse. (R. Niu et al.2022)

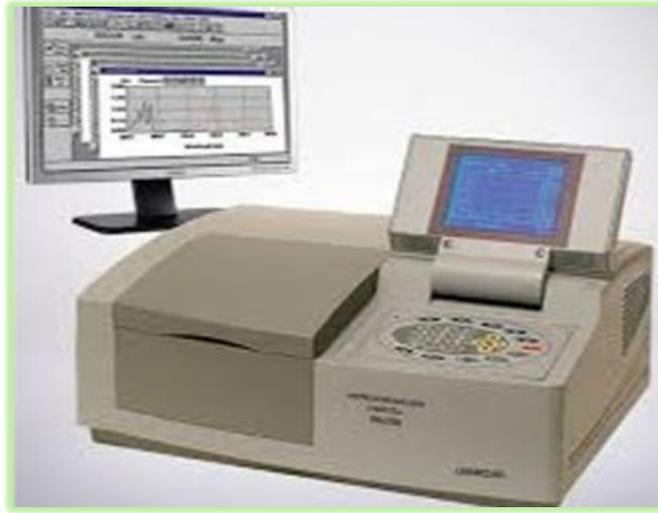


Photo 06 : Appareil spectroscopie UV-visible. (R. Niu et al.2022)

III. Détermination de rendement

Pour déterminer le rendement de l'extraction, vous pouvez utiliser la formule suivante :

$$R (\%) = 100 (M_{ext}/M_{éch})$$

- **R** : le rendement en %.
- **M_{ext}** : la masse de l'extrait après évaporation du solvant en g.
- **M_{éch}** : la masse sèche de germe de blé en g. (Falleh et al., 2008)

I. Étude de la matière première

Les matières premières utilisées sont : les germes de blé, extraits de blé tendre, d'où nous avons extrait l'huile de germe de blé.

II. Détermination des rendements :

1. Rendement de préparation de germe de blé tendre

Le rendement du germe de blé est de 14 %. Extrait du blé tendre, il a un rendement de 65,50%, ce qui montre un faible rendement du germe de blé (déclaration EURL Sosemie).

Donc le germe de blé tendre obtenue par 100g de blé tendre donne un rendement 2,11%.

Ce résultat est confirmé par des études de (Nurhan D. et al.2003) qui ont publié que le rendement de germe à partir des graines est d'environ 2 à 3 %.

2. Rendement d'huile de germe de blé tendre

L'extraction par Soxhlet a permis d'obtenir une huile de germe de blé d'un rendement de 6,58% par rapport à la matière sèche du germe. La couleur de l'huile obtenue variait entre jaune et orange.

Ce rendement est inférieur aux résultats (**Nurhan D et al 2003**), qui ont obtenu des rendements de 10 à 14%, respectivement. Il est également inférieur aux résultats d'autres études, qui ont rapporté des rendements allant jusqu'à 14%.

Les variations de rendement pour l'extraction de l'huile de germe de blé pourraient s'expliquer par divers facteurs, tels que la variété de blé utilisée, les conditions de culture, les paramètres d'extraction et la méthode de détermination de l'huile. Il est également important de considérer la façon dont le solvant diffuse dans le germe de blé lors de l'utilisation de l'appareil Soxhlet, ainsi que le nombre de cycles d'extraction réalisés. De plus, les propriétés chimiques des solvants utilisés, notamment leur nature et leur polarité, peuvent également influencer les rendements obtenus. (**Xiaojun Liu et al .2019**).

La couleur de l'huile de germe de blé peut varier en fonction de divers facteurs, tels que la maturité du germe, les conditions de séchage et les conditions d'extraction. La couleur orange-marron obtenue dans cette étude est dans la gamme attendue pour l'huile de germe de blé. (**Huili et al 2020**)

3. L'analyse spectroscopie UV-VIS

Basé sur l'analyse du spectre UV-visible de l'huile de germe de blé et en tenant compte des composants typiques de cette huile, voici les classes potentielles de composés responsables des pics observés :

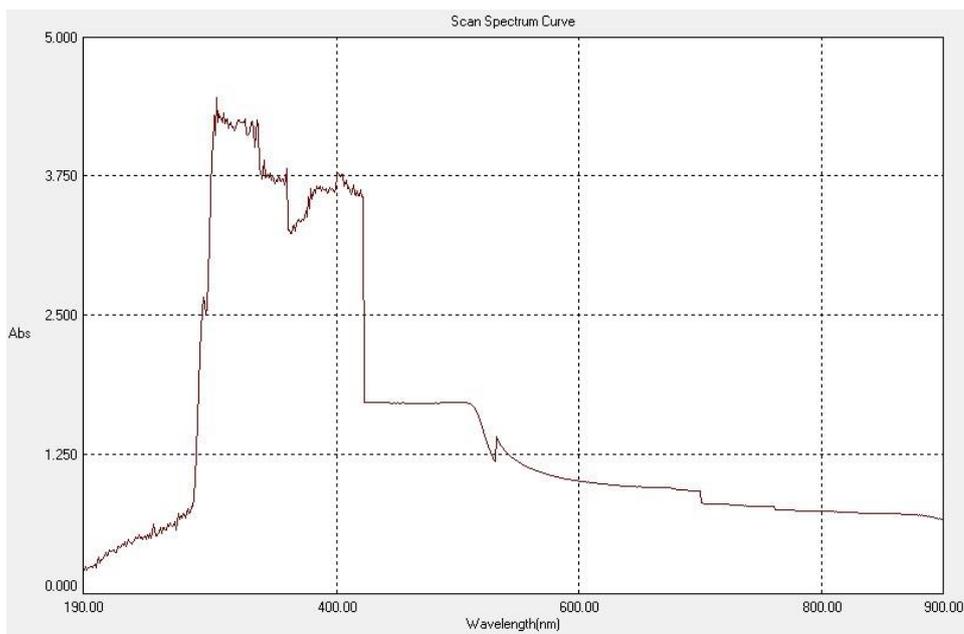


Figure 10 : Spectre UV-VIS de l'extrait d'huile de germe de blé.

Les pics	Valeurs
01	230 nm
02	270 nm
03	300-350 nm

- 1) **Pic 1 (230 nm)** : acides gras : La présence de groupes carbonyle (C=O) dans les acides gras insaturés, en particulier l'acide linoléique et l'acide linoléique, contribue probablement à ce pic par des transitions (n- π).
 - ✓ Dérivés d'acides carboxyliques : Les groupes carbonyle (C=O) présents dans les acides gras sont probablement responsables du Pic 1.

- 2) **Pic 2 (270 nm)** : Les tocophérols (Vitamine E) et les stérols sont des composés qui absorbent à cette longueur d'onde en raison de la présence de leurs anneaux aromatiques. Les transitions (π - π) se produisent autour de cette région pour les tocophérols, qui sont des antioxydants importants, et pour les stérols tels que le β -sitostérol.
 - ✓ Composés aromatiques : Les anneaux aromatiques dans les tocophérols et les stérols sont des sources potentielles pour le Pic 2.

- 3) **Pic 3 (300-350 nm)** : Acides gras conjugués : Les acides gras insaturés sous forme conjuguée, où les doubles liaisons alternent avec des liaisons simples, présentent une délocalisation électronique étendue. Cela peut conduire à des bandes d'absorption plus larges dans la gamme de 300 à 350 nm.

Caroténoïdes : De petites quantités de caroténoïdes, des pigments avec des systèmes de doubles liaisons conjuguées étendues, peuvent également être présentes et contribuer à ce pic large.

 - ✓ Systèmes conjugués : La présence de doubles liaisons conjuguées dans les acides gras insaturés et potentiellement les caroténoïdes est une explication probable pour le Pic 3 large.

4. Spectre FTIR de l'extrait d'huile de germe de blé

Le spectre FTIR est un outil précieux pour l'analyse de la composition chimique des huiles végétales. L'analyse du spectre FTIR de l'huile de germe de blé extraite a permis d'identifier les principaux groupes fonctionnels présents dans l'huile et de confirmer sa composition en triglycérides.

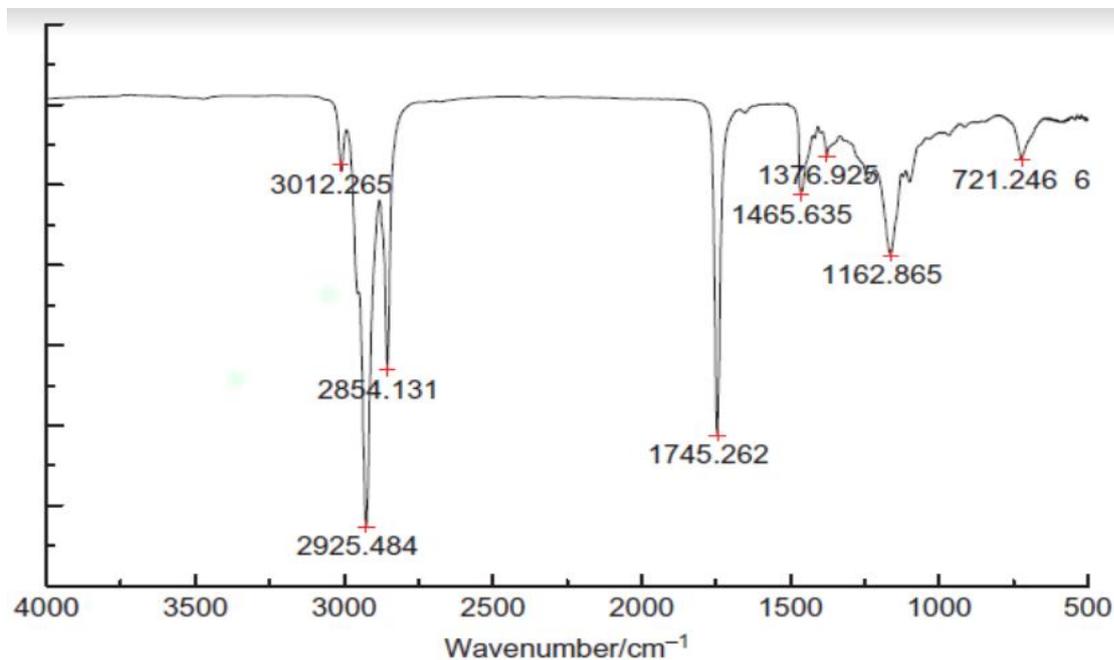


Figure 11 : Spectre FTIR de l'extrait d'huile de germe de blé.

Le spectre de l'huile de germe de blé présente une série de pics caractéristiques de différents composés. Les principaux pics et leurs attributions possibles sont les suivants :

Région 4000-3000 cm⁻¹:

- **3012,265 cm⁻¹** : Cette bande est due aux vibrations d'étirement des liaisons C-H des alcanes et des alcènes. Elle est caractéristique de la présence d'acides gras saturés et insaturés.

- **2925,484 cm^{-1}** : Cette bande est également due aux vibrations d'étirement des liaisons C-H des alcanes et des alcènes.
- **2854,131 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations symétriques des liaisons C-H des méthylènes et des méthines.
- **Région 2000-1500 cm^{-1}**
 - **1745,262 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations d'étirement des liaisons C=O des esters, caractéristiques des triglycérides, principaux constituants de l'huile de germe de blé.
 - **1656,35 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations d'étirement des liaisons C=C des alcènes.
 - **1465,635 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations de déformation en ciseaux des liaisons C-H des méthylènes.
- **Région 1500-1000 cm^{-1}**
 - **1376,925 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations de déformation en ciseaux des liaisons C-H des méthyles.
 - **1246,246 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations d'étirement des liaisons P=O des phospholipides.
 - **1162,865 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations d'étirement des liaisons C-O des esters.
- **Région en dessous de 1000 cm^{-1}**
 - **721,246 cm^{-1}** : Cette bande est due aux vibrations de déformation hors plan des liaisons C-H des cycles aromatiques.

5. Propriétés physico-chimiques de l'huile de germe de blé

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques sont représentés dans le tableau

Tableau 08 : Paramètres physico-chimiques de l'huile de germe de blé

Indice	Valeur
Indice de saponification	190 mg KOH/g
Indice d'iode	123 g I ₂ /100 g
Indice d'acide	20 mg KOH/g
Indice de peroxyde	12 meq/kg
Indice de réfraction	1.400
Densité	0.925 g/ml

a. Evaluation de l'indice d'huile de germe de blé

- Indice de saponification** : L'indice de saponification de l'huile de germe de blé, mesuré à **190 mg KOH/g**, se situe dans la plage attendue pour ce type d'huile (**entre 180 et 200 mg KOH/g**). Cette valeur indique que l'huile est riche en acides gras, sous forme libre ou estérifiée.
- Indice d'iode** : L'indice d'iode de l'huile de germe de blé, mesuré à **123 g I₂/100 g**, est légèrement supérieur à la plage attendue pour ce type d'huile (**entre 100 et 120 g I₂/100 g**). Cette valeur suggère une teneur élevée en acides gras insaturés, ce qui peut rendre l'huile plus susceptible à l'oxydation.

3. **Indice d'acide** : Avec un indice d'acide de **20 mg KOH/g**, l'huile de germe de blé se situe dans la plage attendue pour ce type d'huile (**entre 0 et 50 mg KOH/g**). Cette valeur indique une huile de bonne qualité, contenant une quantité modérée d'acides gras libres.
4. **Indice de peroxyde** : Les peroxydes sont des composés instables qui peuvent rancir l'huile. Avec un indice de peroxyde de **12 meq/kg**, l'huile de germe de blé présente une valeur légèrement supérieure à la plage attendue pour ce type d'huile (**entre 0 et 10 meq/kg**). Cette observation suggère que l'huile a pu subir une légère oxydation.
5. **Indice de réfraction** : Mesure de la façon dont la lumière se courbe lorsqu'elle traverse l'huile. L'indice de réfraction de l'huile de germe de blé, mesuré à **1.475**, se situe dans la plage attendue pour ce type d'huile (**entre 1.470 et 1.480**). Cette propriété permet de distinguer l'huile de germe de blé d'autres huiles végétales.
6. **Densité** : Cette valeur est dans la plage attendue pour l'huile de germe de blé (**0.915-0.925 g/ml**). Elle indique la masse de l'huile par unité de volume.

Références bibliographiques

1. **Gorusupudi Aruna., Baskaran Vallikannan.** (2013) Wheat germe oil : A potentiel facilitator to improve lutein bioavailability in mice.
2. **SURGET Anne, BARRON Cécile.** (2005) Le point sur l'Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales*, (145), 3-7.
3. **Masbah Harrag, Boulfred Youssef.** (2019). La sécurité alimentaire en Algérie : Une étude analytique sur les céréales [Food Security in Algeria : An analytical study on céréales].
4. **FAO.** (2024). FAO GIEWS Country Brief on Algeria.
5. **Xiaojun Liu , Chengye Chi , Shengmin Zhou *, Yuanrong Jiang**(2019). Comparison of wheat germ and oil characteristics and stability by different stabilization techniques. *LWT - Food Science and Technology*, 191, 115664. Available online 18 December 2023
6. **Hervé Levesque, Jean-François Madre.**(2004).Le blé, une plante domestique au génome polyploïde complexe. *Journal of Archaeological Science*.
7. **Michel Chauvet.** (1996). La domestication des plantes Université d'été INRA, Thonon-les-Bains,
8. **Srivastava, Alok K., Sudha M L., Baskran, V. et Leelavathi krishnarau.** (2007). Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *European Food Research and Technology*, 224, 365-372.
9. **Zuzana Šramková, Edita Gregová, Ernest Šturdík.** (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain.: 115 - 138
10. **Mohamed G. Megahed.**(2011).Study on stability of wheat germ oil and lipase activity of wheat germ during periodical storage. *AGRICULTURE AND BIOLOGY JOURNAL OF NORTH AMERICA* : 163-168
11. **Zhu, Ke-Xue , Zhou, Hui-Ming, Qian, Hai-Feng,**(2006), Proteins Extracted from Defatted Wheat Germ: Nutritional and Structural Properties .*Cereal Chemistry*, 83, 69-75.
12. **BOYELDIEU Jean,** Le grain des céréales ses utilisations. Hachette. Paris

13. **Umair Arshad Ahmad., Surryia Z. Fatima., Anjum Malik., TAHIR Zaman., HAQ Nawaz.**2008. Nutritive Value of Cookies Containing Wheat Germ Oil. Pakistan Journal of Life and Social Sciences 6 (2): 127-134
14. **Hassan Mohamed Mahmoud, Afify Abdel-Salam, Basyiony Ahmed El-Sayed.**(2010), Ghada T.Nutritional and Functional Properties of Defatted Wheat Protein Isolates
15. **Brandolini Andrea, Hidalgo, A.** (2012). Wheat germ: not only a by-product. International Journal of Food Science & Nutrition, 63(Suppl 1), 71-74.
16. **Šramková Zuzana, Gregová Eva, Šturdíka Emília.** (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca, 2(1), 115-138.
17. **Kumar Praveen, Kumar Ram Yadava, Gollen Bhupendra, Sanjay Kumar, Rajesh Kumar Verma, Suresh Yadav.** (2010). Nutritional Contents and Medicinal Properties of Wheat. Life Sciences and Medicine Research, 2011,10
18. **Umar Muhammad Arshad, Zakir Saima, Farooq Mahmood Anjum, Tariq Zahoor, Haq Nawaz.** (2008). Nutritive Value of Cookies Containing Wheat Germ Oil. Pakistan Journal of Life and Social Sciences, 6(2), 127-134.
19. **Yanping Zou, Yuanyuan Gao, Hui He, Tiankui Yang.** (2018). Effect of roasting on physico-chemical properties, antioxidant capacity, and oxidative stability of wheat germ oil. LWT - Food Science and Technology, 191, 115664. Available online 18 December 2023.
20. **Karabacak, Mürsel, Kanbur, Murat, Eraslan, Gökhan, Soyer Sarica, Zeynep.** (2011). The antioxidant effect of wheat germ oil on subchronic coumaphos exposure in mice. Erciyes University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Pharmacology and Toxicology, Kayseri, Turkey.. 2119–2125
21. **Hanen Falleh a, Riadh Ksouri a, Kamel Chaieb b, Najoua Karray-Bouraoui c, Najla Trabelsi a, Mondher Boulaaba a, Chedly Abdelly** (2008). Phenolic composition of Cynara cardunculus L. organs, and their biological activities, C. R. Biologies. 331, 372-379
22. **Chang Kee Lim.** (2010). High-Performance Liquid Chromatography and Mass Spectrometry of Porphyrins, Chlorophylls and Bilins. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
23. **Guillaume george ,** (2017), La chromatographie en phase gazeuse: principe.
24. **Huili Yan , Qiyu Lu** (2020).Physicochemical properties of starch-wheat germ oil complex and its effects on water distribution and hardness of noodles. LWT 135 110211.

25. **Nurhan Turgut Dunford, Minquan Zhang.** (2003). Pressurized solvent extraction of wheat germ oil .publié dans Food Research International.pages 905-909.
26. **Moule, C.** Phytotechnie Spéciale II : Céréales. La Maison Rustique, Paris. (1971)
27. **Diallo, Amadou.** (2005). Etude de la phytochimie et des activités biologiques de syzygium guineense WILLD(MYRTACEAE). Thèse de doctorat en pharmacie. Univercité de Bamako, pp :13-14
28. **JKN Lee, DB Min ,NS Koo** (2004). Reactive oxygen species, aging and antioxidativeNutraceuticals. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 3: 21-33
29. **Marc NICOL, M. MAUDET.**(2000) .Caroténoïdes et vitamine A. Actualités . Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 7, Numéro 3, 266-70, Mai - Juin 2000, Dossier : Les vitamines liposolubles
30. **Sonia Collin ,Jean Crouzet.**(2011). Polyphé nols et proce de s transformation des polyphé nols au travers des proce de s applique s a l'agro-alimentaire : Print Book, français.
31. **Fui-Seung Chin, Khim-Phin Chong, Atong Markus and Nyet Kui Wong .** (2013)Tea Polyphenols and Alkaloids Content Using Soxhlet and Direct Extraction Methods. World J. Agric. Sci., 9 (3): 266-270.
32. **Dr. DJAALAB.** (2016). Extraction des matières grasses selon la méthode Soxhlet. Page 2. Fiches techniques TP. I. Module d'alimentation. Maître de Conférences.
33. **Dossier technique et réglementaire.** Triticum vulgare germ oil.N°CAS: 68917-73-7 / 841012-44-2. N°EINECS/ELINCS : 281-689.
34. **Silvina Patricia Meriles , Maria Cecilia Penci , Sebastien Curet , Lionel Boillereaux , Pablo Daniel Ribotta .** (2022). Effect of microwave and hot air treatment on enzyme activity, oil fraction quality and antioxidant activity of wheat germ. Elsevier Ltd : 386 132760.
35. **Giacomo Squeoa , Silvia Grassib, Vito Michele Paradisoa, Cristina Alampreseb Francesco Caponioa.**(2019). FT-IR extra virgin olive oil classification based on ethyl ester content. Elsevier Ltd. All rights reserved. 149–156.
36. **Panagiota Lixourgioti , Kirstie A. Goggin , Xinyu Zhao, Denis J. Murphy , Saskia van Ruth Anastasios Koidis.**(2022). Authentication of cinnamon spice samples using

FT-IR spectroscopy and chemometric classification. Published by Elsevier Ltd. 0023-6438.

37. **Erum Zahir, Rehana Saeed, Mehwish Abdul Hameed, Anjum Yousuf.**(2014) Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy. Production and hosting by Elsevier. S3872 .
38. **Ruihao Niu, Jingyi Wang, Jianwei Zhou, Huan Cheng, Jianle Chen, Wenjun Wang, Donghong Liu, Enbo Xu .**(2022). "Extrusion-controlled lipid retention and distribution of wheat germ and its application combining exogenous starch." Food Chemistry, Volume 426 ;, 127808.

Conclusion

Notre étude conclut que l'extraction Soxhlet micro-ondée a permis de révéler son efficacité dans l'isolement des composants lipidiques du germe de blé, c'est-à-dire d'une huile riche en bioactifs.

La spectroscopie FT-IR a repéré les bandes d'absorption clés des groupes fonctionnels de l'huile. On y trouve des groupes carbonyle, hydroxyle et des liaisons C-H, preuve de triglycérides et d'acides gras.

L'analyse UV-Vis a aussi révélé des composés phénoliques et des pigments naturels comme les caroténoïdes et chlorophylles. Ces derniers jouent un rôle dans les propriétés antioxydantes de l'huile. Ainsi, les résultats montrent que l'huile de germe de blé est abondante en composés favorables à la santé, ce qui promet d'accroître encore plus son utilisation dans la production d'aliments et de cosmétiques.

En somme, cette recherche n'a pas seulement validé l'efficacité de la méthode de Soxhlet pour extraire l'huile du germe du blé mais aussi présenter une caractérisation détaillée des constituants chimiques. Les méthodes spectroscopiques utilisées se sont avérées cruciales pour repérer et doser les composés bioactifs, indiquant la voie à suivre pour des futures applications et des recherches sur les avantages potentiels de cet extrait d'huile.