

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة الجليلي بونعامة خميس مليانة

**Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de Technologie**



**Mémoire de fin d'études**

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

**Filière :** Génie des procédés

**Option:** Génie pharmaceutique

**Thème :**

***Etude biochimique de l'influence du séchage sur la valeur nutritionnelle de deux variétés de blé dur Algériennes (Bousseleme et Siméto).***

**Devant le jury composé de :**

-D<sup>r</sup> HEMIS. M

Président

-M<sup>r</sup> MEKHANEG .B

Encadreur

-M<sup>r</sup> LARBI BOUAMRENE .O.

Examineur

**Présenté par :**

-M<sup>lle</sup> GOUASMI Razika.

-M<sup>lle</sup> BADAOUI Naima.

**Année universitaire : 2016 / 2017**

# Dédicaces

**Je dédie ce travail en premier lieu,**

**A** mes parents pour leur amour, leurs encouragements et leurs sacrifices pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection. Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement durant toutes mes études.

**A** mes chers frères : **Yasine, Abde elkadar et Billel.**

**J**e voudrai remercier aussi tous mes *familles*. Qui m'ont toujours soutenu et encouragé pour réaliser ce modeste travail.

**A** tous mes amis, je cite particulièrement : Khadija, Abir, Malika et mon binôme Naima.

**J**e remercie tous ceux qui m'avaient aidée d'une façon ou d'une autre, ou encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire, qui était, pour moi, une expérience inoubliable et enrichissante.

**RAZIKA**

# Dédicaces

**Je m'incline devant Dieu tout puissant qui m'a ouvert la  
Porte du savoir et m'a aidé la franchir.**

**Je dédie ce modeste travail:**

**A mes très chers parent, qui ma tout appris, pour toutes les  
sacrifices qu'ils se sont donnés pour me voir réussir dans la vie.  
Mes seule frères Mohamed et mes sœurs Zohra, Kheira, et Naima,**

**A tous ma famille Hakima, Latifa, AhmedAbdelrazzak,  
Loay. Mohamed amine et Oussama en reconnaissance de leur  
affection toujours constante.**

**Mes binôme Razika, et mes camarade Abir, Khadija et  
Malika.**

**Tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire**

**NAIMA**

# Remerciement

Tout d'abord, louange à «ALLAH» le tout puissant de nous avoir donné la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à notre promoteur **Mr "MEKHANEG B"**. Qui a accepté avec toute modestie de nous encadrer. Nous le remercions pour son aide, sa patience, ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de nos plus profonds respects et notre profonde gratitude.

Nous exprimons notre reconnaissance aux membres du jury le président **Dr HEMIS M** et **Mr LARBI BOUAMRANE O** examinateur qui ont accepté de juger ce travail.

Nous ne pouvons bien sûr oublier tous nos enseignants de graduation auxquels nous sommes reconnaissantes de nous avoir donné toutes les connaissances et formation toute au long de nos parcours universitaire.

Nous remercions tout le personnel de l'ITGC de Bir Oualde Khelifa et l'OAIC de Khemis Miliana pour les facilités qu'ils nous ont apportées pour la réussite de ce travail.

Nous remercions toute l'équipe de groupe "SIM" de Mouzaya « Blida » pour leur aide précieuse et instantanée et pour leur soutien et leur gentillesse durant ce mémoire on cite particulièrement **Mr "RBAI R"** et **Mr "HAFSAOUI H"**.

Nous tenons à remercier les ingénieurs de laboratoire de Khemis Milana « génie des procédés » pour nous avoir donné les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à toute notre famille. Ce travail n'aurait pas été mené à terme sans les concessions et les encouragements de notre famille. Nous disons merci.

Enfin, nos remerciements les plus sincères s'adressent aux nombreuses personnes avec lesquelles nous avons eu l'occasion de travailler et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

## ملخص

الحبوب هي جزء مهم من الموارد الغذائية والتبادلات الاقتصادية. سهولة الزراعة يمكن أن تحقق الأمن الغذائي والتي تعزز خيارات التخزين. والهدف من عملنا هو استخراج البروتينات والدهون والنشا من نوعين من القمح الصلب بوسلام وسيميتو ودراسة تأثير التجفيف الميكروويف على القيمة الغذائية ومعدل الإنبات. معدل الإنبات المواتية للنوعين بوسلام وسيميتو هو 93% و 88% على التوالي في مناطق ذات كثافة من 0.3 W/g مع زمن يقدر ب4 دقائق. محتوى البروتين لكل أصناف القمح الصلب (17.30%) بوسلام و سيميتو (17.60%) لا يخضع لتعديلات بعد التجفيف في مناطق ذات كثافة 0.3 W/g في زمن قدره 4 دقائق. مجموعة القمح الصلب بوسلام وسيميتو والغنية على حد سواء بالأحماض الدهنية مثل C18:2ω6 حمض اللينوليك: حمض الأوليك C18:1ω9 (54.35% ، 55.09%) إلى (22.92% ، 21.80%) على التوالي مقارنة مع الأحماض الدهنية الأخرى.

**كلمات البحث:** القمح الصلب، التجفيف بلميكروويف، والبروتين القيمة الغذائية.

## Résumé

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires et des échanges économiques. La facilité de la culture permet d'atteindre une sécurité alimentaire qui est renforcée par les possibilités de stockage. L'objectif de notre travail est l'extraction des lipides protéines et amidon de deux variétés blé dur Bousseleme et Siméto, ainsi que l'étude de l'influence de séchage par micro onde sur la valeur nutritionnelle et le taux de germination. Le taux de germination favorable des deux variétés Bousseleme et Siméto sont de 93% et 88% respectivement à une densité de 0.3w/g avec un temps 4minutes. La teneur en protéines pour les deux variétés Bousseleme (17.30%) et Siméto (17.60%) n'ont pas subit de modification après séchage à une densité de 0.3w/g avec un temps de 4 minutes. Huile de blé dur de la variété Bousseleme et Siméto sont riche en deux acide gras tel que l'acide linoléique C18:2ω6 et l'acide oléique C18:1ω9 (54.35%, 55.09) à, (22.92 %, 21.80 %) respectivement par apport au autre acide gras.

**Mots clés :** blé dur, séchage par micro-onde, protéine, valeur nutritionnelle.

## Summary

Cereals constitute an important part of food resources and economic exchanges. The ease of cultivation makes it possible to achieve a food security which is reinforced by the possibilities of storage. The objective of this work is to extract protein and starch lipids from two Bousseleme and Siméto durum wheat varieties and to study the influence of microwave drying on nutritional value and germination rate. The favorable germination rate of the two varieties Bousseleme and Siméto are 93% and 88% respectively at a density of 0.3w / g with a time 4min. The protein content for the two varieties Bousseleme (17.30%) and Siméto (17.60%) did not change after drying at a density of 0.3w / g with a time of 4 minutes. Durum wheat oil of the Bousseleme and Siméto variety are rich in two fatty acids such as C18: 2ω6 linoleic acid and C18: 1ω9 oleic acid (54.35%, 55.09) to (22.92%, 21.80%) respectively by to the other fatty acid.

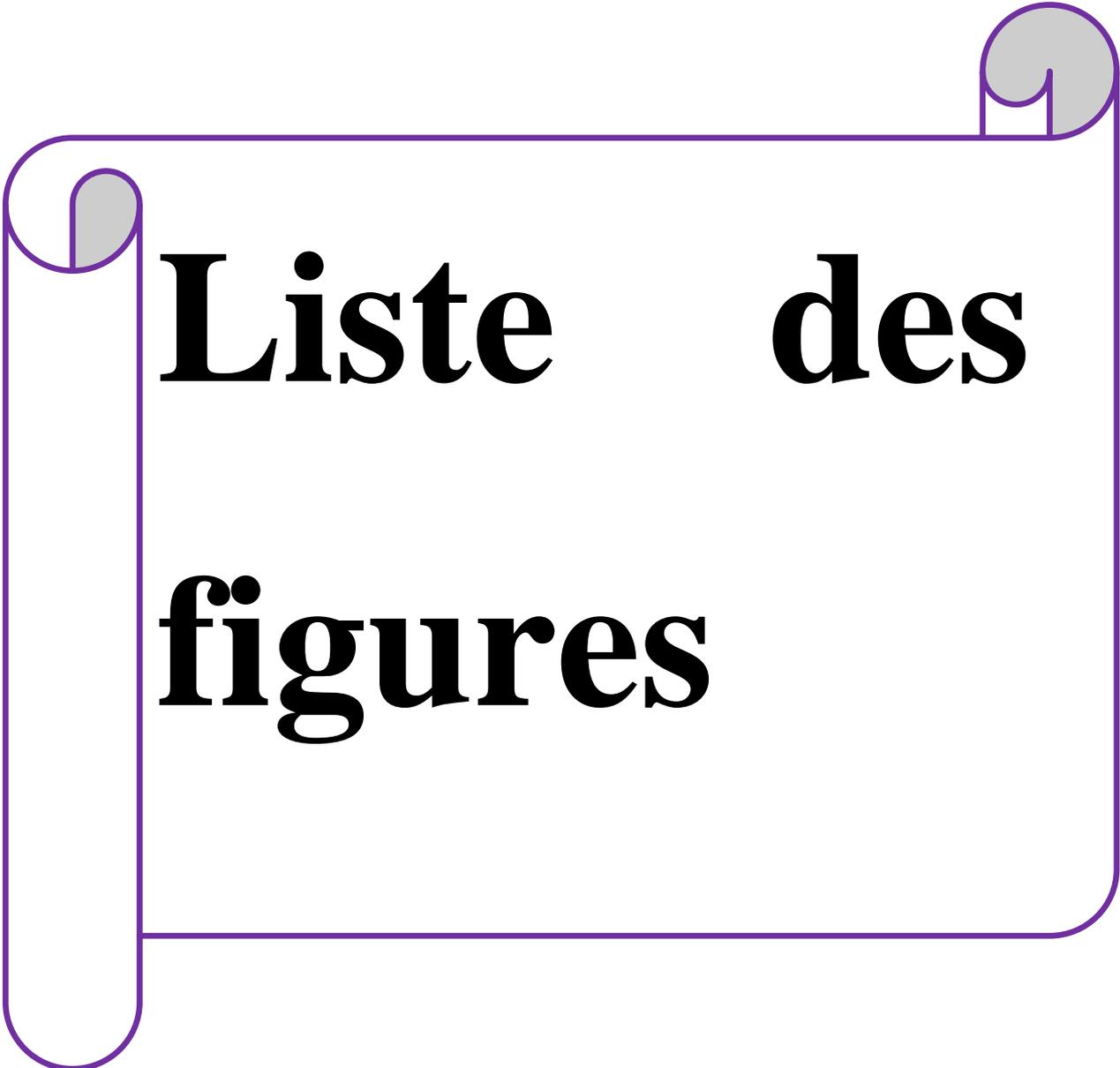
**Key words:** durum wheat, Microwave drying, protein, nutritional value.



**Liste des  
tableaux**

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1.</b>	Classification botanique du blé.....	<b>7</b>
<b>Tableau 2.1.</b>	Distribution histologique des principaux constituants de grain de blé.....	<b>19</b>
<b>Tableau 2.2.</b>	Composition en acides aminés des protéines de blé (en grammes pour 16 grammes d'azote).....	<b>22</b>
<b>Tableau 2.3.</b>	Composition en acides gras des lipides des grains de blé (en pourcentage du total des acides gras).....	<b>24</b>
<b>Tableau 2.5.</b>	Proportion des vitamines en mg pour 100 g de germe de blé.....	<b>26</b>
<b>Tableau 5.1.a.</b>	Humidité des graines de blé dur.....	<b>45</b>
<b>Tableau 5.1.b.</b>	Humidité des graines de blé dur algérien .....	<b>46</b>
<b>Tableau 5.2.</b>	Résultats de test de germination.....	<b>47</b>
<b>Tableau 5.3.</b>	Paramètres physico- chimique d'huile de blé dur.....	<b>49</b>
<b>Tableau 5.4.</b>	Résultat d'analyse biochimique de blé dur.....	<b>50</b>
<b>Tableau 5.5.</b>	Puissance absorbée réel et densité de la puissance de MO.....	<b>51</b>
<b>Tableau 5.6.</b>	Rendement en huiles végétales de blé dur « Bousseleme » après séchage en fonction de la matière végétale.....	<b>52</b>
<b>Tableau 5.7.</b>	Rendement en huiles végétales de blé dur « Siméto » après séchage en fonction de la matière végétale.....	<b>53</b>
<b>Tableau 5.8.</b>	Résultats de test de germination.....	<b>54</b>
<b>Tableau 5.9.</b>	Paramètres physico-chimiques des huiles de blé dur de variété Bousseleme.....	<b>56</b>
<b>Tableau5.10.</b>	Paramètres physico-chimiques des huiles de blé dur de variété Siméto.....	<b>56</b>
<b>Tableau5.11.</b>	Teneur en eau après séchage.....	<b>57</b>
<b>Tableau5.12.</b>	Valeur de protéine de blé dur après séchage.....	<b>58</b>
<b>Tableau5.13.</b>	Teneur en amidon après séchage.....	<b>58</b>
<b>Tableau5.14.</b>	Compose en acide gras de blé dur en %.....	<b>59</b>



**Liste des  
figures**

## Liste des figures

<b>Figure 1.1.</b>	Photo descriptive d'épillet et fleur de blé dur.....	<b>5</b>
<b>Figure 1.2.</b>	Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé.....	<b>6</b>
<b>Figure 1.3.</b>	Coupe d'un grain de blé.....	<b>7</b>
<b>Figure1.4.</b>	Stades phénologiques du blé.....	<b>14</b>
<b>Figure3.1.</b>	Déférence entre séchage conventionnelle et par micro onde.....	<b>31</b>
<b>Figure 4.1.</b>	Opération pour l'extraction d'huile.....	<b>36</b>
<b>Figure 4.2.</b>	Séchage par micro onde.....	<b>43</b>
<b>Figure 5.1.</b>	Teneur en eau de variété Bousseleme.....	<b>46</b>
<b>Figure 5.2.</b>	Teneur en eau de variété Siméto.....	<b>46</b>
<b>Figure5.3.</b>	Rendement en huile pour les deux variétés.....	<b>47</b>
<b>Figure 5.4.</b>	Taux de germination pour les deux variétés.....	<b>48</b>
<b>Figure 5.5.</b>	Rendement en huile pour la variété Bousseleme.....	<b>52</b>
<b>Figure5.6.</b>	Rendement en huile pour la variété Siméto.....	<b>53</b>
<b>Figure 5.7.</b>	Taux de germination de blé dur de variété Bousseleme.....	<b>55</b>
<b>Figure 5.8.</b>	Taux de germination de blé dur de variété Siméto.....	<b>55</b>

A decorative border resembling a scroll, with a purple outline and grey shaded areas at the top and bottom corners, framing the text.

# **Liste des abréviations**

## Liste des abréviations

**CPG** : chromatographie en phase gazeuse.

**D**: densité.[W /g]

**Eq** : Equation.

**FID** : détecteur à ionisation flamme.

**g**: gramme.

**G** : Taux de germination.

**GHz**: Giga hertz.

**h**: heure.

**H** : Taux d'humidité.

**I<sub>A</sub>**: Indice d'acide.

**I<sub>E</sub>** : Indice d'ester.

**INA** : Institut National d'Agronomie.

**I<sub>s</sub>** : Indice de saponification.

**ITGC** : Institut Technique de Grande Culture.

**m** : masse de la prise d'essai. [Kg]

**M<sub>E</sub>**: masse d'huile obtenue. [Kg]

**mg** : Milligramme.

**MHz** : Méga hertz

**min** : Minutes

**m<sub>MV</sub>**: masse de la prise d'essai de matière végétale utilisée. [Kg]

**ml** : Millilitre

**MO** : Microonde

**N**: Le nombre de grains germés.

**NO** : Le nombre de graines utilisées pour chaque essai.

**P** : Puissance. [W]

**P<sub>0</sub>**: Poids de l'échantillon avant séchage. [Kg]

**P<sub>1</sub>**: Poids de l'échantillon après séchage. [Kg]

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**R** : Rendement.

**T<sub>i1</sub>** : Température initiale. [°C]

**T<sub>i2</sub>** : Température finale. [°C]

**V**: Volume. [m<sup>3</sup>]

**W**: Watt.

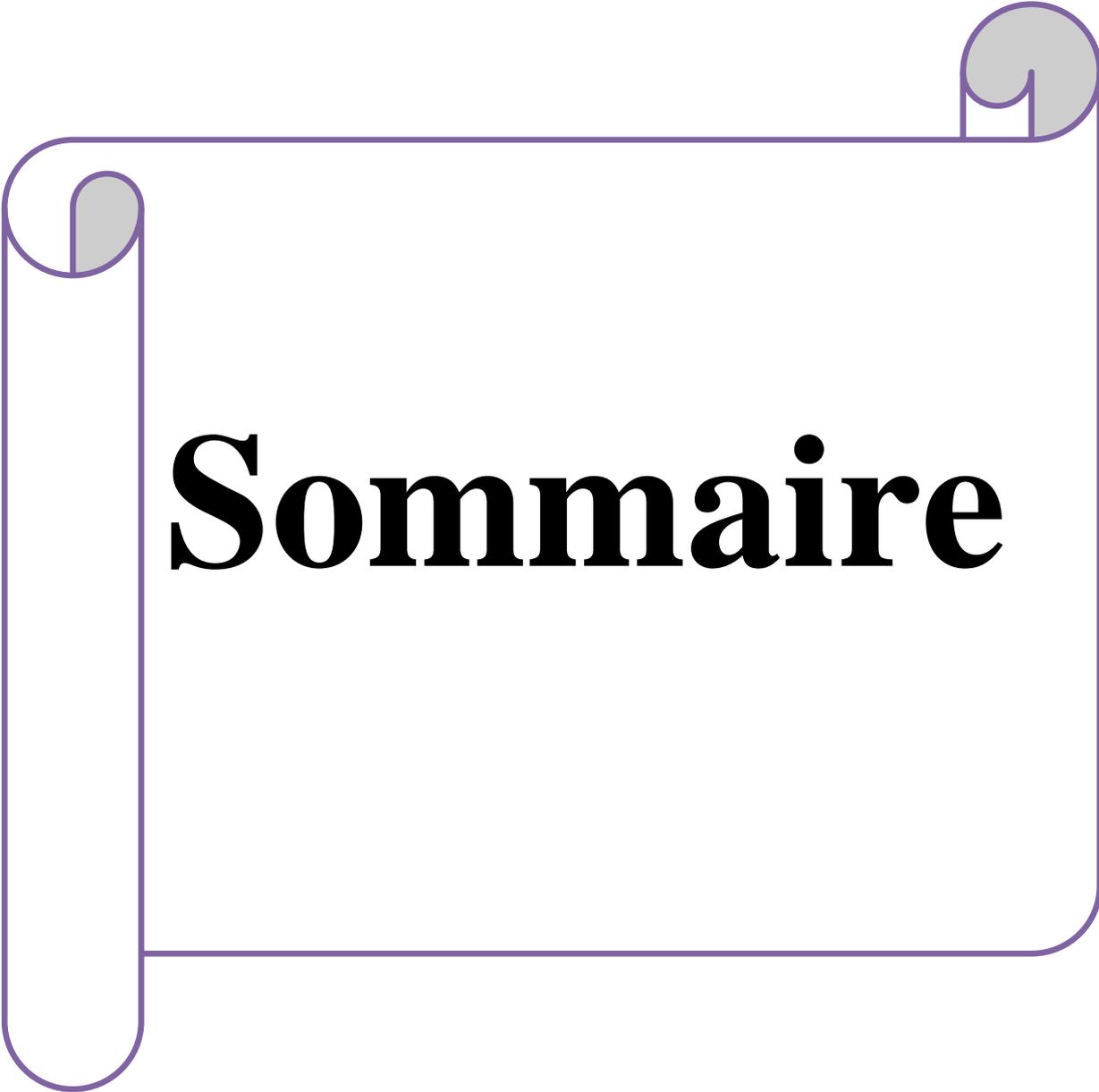
**μl** : Microlitre.

**μm** : Micromètre.

**%** : Pourcentage.

**°C** : Degré Celsius.

**ΔT<sub>1</sub> et ΔT<sub>2</sub>** : température des deux récipients respectivement.



# **Sommaire**

## Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

### Partie Bibliographique

#### Chapitre I : Blé dur

I.1.Généralités.....	3
.	
I.1.1.Historique de blé dur.....	3
I.1.2. Morphologie et histologie du grain de blé.....	3
I.1.2.1.Morphologie.....	3
I.1.2.1.1. Appareil racinaire.....	4
I.1.2.1.2. Tige et feuille.....	4
I.1.2.1.3.Épi.....	4
I.1.2.1.4. Épillets.....	4
I.1.2.2.Histologie.....	5
I.1.2.2.1.Les enveloppes.....	5
I.1.2.2.2.L'endosperme (amande ou albumen).....	6
I.1.2.2.3. Le germe (embryon).....	6
I.1.3.Classification et origine du blé dur.....	7
I.1.3.1.Classification botanique.....	7
I.1.3.2.Origine génétique.....	8
I.1.3.3.Origine géographique.....	8

I.1.4. Exigences du blé.....	8
I.1.4.1.Exigences édaphique.....	8
I.1.4.2.Exigences climatiques.....	9
I.1.4.2.1.Température.....	9
I.1.4.2.2.Eau.....	9
I.1.4.2.3. Lumière.....	9
I.1.4.2.4.Fertilisation.....	10
I.1.5.Phénologie d blé.....	11
I.1.5.1.Période végétative.....	11
I.1.5.1.1.Stade de semis.....	11
I.1.5.1.2.Stade germination- levée .....	11
I.1.5.1.3. Stade levée-tallage.....	11
I.1.5.2.Période reproductrice.....	12
I.1.5.2. 1.Stade montaison – gonflement.....	12
I.1.5.2.1.Stade d'épiaison.....	12
I.1.5.2.2. Stade épiaison – fécondation.....	12
I.1.5.3.Période de formation et de maturation.....	13
I.1.5.3.1.Grossissement du grain.....	13
I.1.5.3.2.Maturation du grain.....	13
I.3.Importance du blé dur.....	14
I.3.1. Importance alimentaire.....	14
I.3. 2. Importance économique.....	15
I.4.production de blé dur.....	15
I.4.1.Dans le monde.....	15
I.4.2.En l' Algérie.....	16
I.5.variétés du blé dur utilisé en Algérie.....	17

## **Chapitre II : La valeur nutritionnelle de blé dur**

II.1.Généralités.....	18
II.2.Composition chimique du grain de blé.....	18

II.2.1. Glucides.....	19
II.2.1.2. Fibres.....	20
II.2.1.3. pentosanes.....	20
II.2.2. Protéine.....	21
II.2.3. Gluten.....	23
II.2.4. Lipides.....	23
II.2.5. Minéraux.....	24
II.2.6. Enzymes.....	25
II.2.7. Vitamine.....	26

### **Chapitre III : Séchage**

III. 1. Séchage.....	27
III.1.1. Définition.....	27
III.1.1.2. Objective de séchage.....	27
III.1.1.3. Mode de séchage.....	27
III.1.1.3.1. Séchage direct appelé aussi séchage par convection.....	27
III.1.1.3.2. Séchage indirect ou par conduction.....	27
III.1.1.3.3. Séchage par rayonnement.....	28
III.1.1.3.4. Séchage sous vide.....	28
III.1.1.3.5. Séchage par perte diélectrique.....	28
III.1.1.3.6. Séchage par lyophilisation.....	28
III.1.1.3.7. Séchage a l'air libre.....	28
III.1.1.3.8. Séchage par micro onde.....	29
III.1.1.4. Mécanisme de séchage.....	29
III.1.1.4.1. Séchage par entraînement.....	29
III.1.1.4.2. Séchage par ébullition.....	29
III.1.1.4.3. Séchage par air chaud.....	29
III.2. Micro-onde.....	30
III. 2.1. Définition.....	30
III.2.2. Equipement de micro-onde.....	30
III.2.1. Equipement de micro-onde.....	30
III.2.2.2. Réacteur monomodes.....	30

III.2.2.Principe de chauffage Micro- Onde.....	30
------------------------------------------------	----

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1. Cadre de l'étude.....	32
IV.2. Matière première.....	34
IV.3.Détermination de l'humidité.....	34
IV.3.1.Mode opératoire.....	34
IV .4.Extractions de l'huile.....	35
IV.4.1.Extractions par macération.....	35
IV.4.2.Avantages.....	35
IV.4. 3. Mode opératoire.....	35
IV.5. Détermination du rendement.....	37
IV .6.Analyse physiologique de blé dur.....	37
IV.6.1.test de germination.....	37
IV.6.1.1. Mode opératoire.....	37
IV.7.Analyses physico-chimiques.....	38
IV.7.1.Propriétés physiques.....	38
IV.7.1.1.Indice de réfraction.....	38
IV.7.1.1.1. Mode opératoire.....	38
IV.7.1.2. Densité relative.....	38
IV.7.1.2.1. Mode opératoire.....	38
IV.7.2.Propriétés chimique.....	39
IV.7.2.1. Détermination du pH.....	39
IV.7.2.1.1. Mode opératoire.....	39
IV.7.2.2. Indice d'acide.....	39
IV.7.2.2.1. Mode opératoire.....	39
IV.7.2.3. Indice d'ester.....	40
IV.7.2.3.1. Mode opératoire.....	40
IV.7.2.4. Indice de saponification.....	41
IV.8.Analyse biochimique.....	41

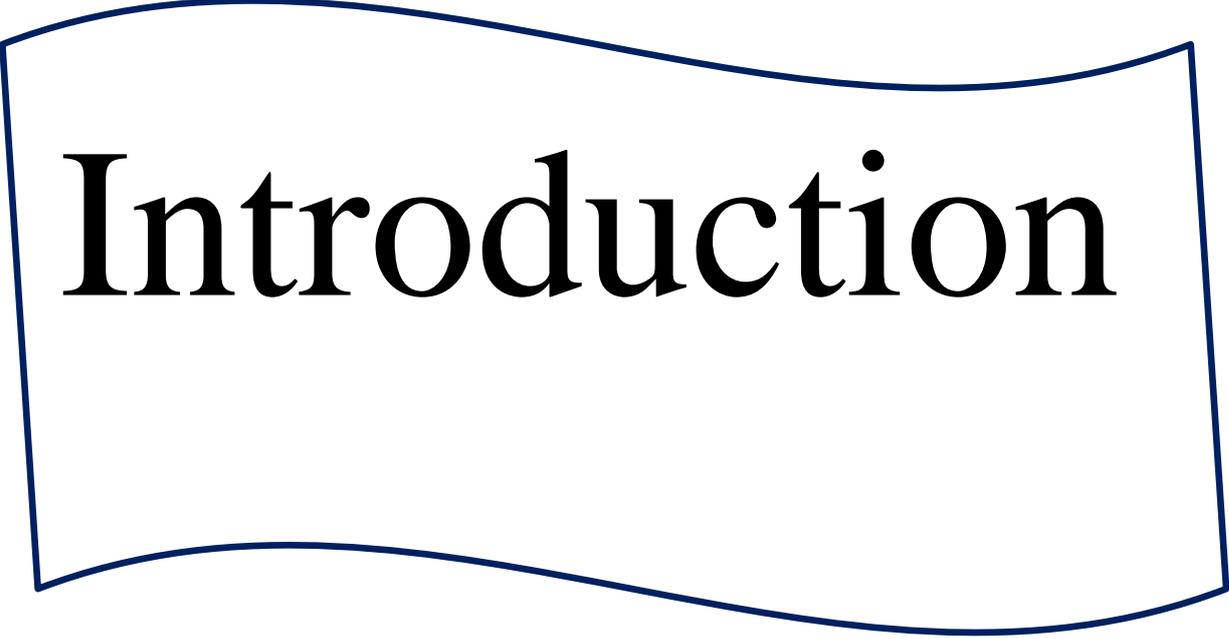
IV .8.1.Teneur en protéine.....	41
IV.8.1.1.Mode opératoire.....	41
IV.8.2.Tenure en amidon.....	41
IV.8.2.1.Mode opératoire.....	42
IV.9.Analyse chromatographique.....	42
IV.10. Séchage par micro-ondes de blé dur.....	43
IV.11. Test de détermination de puissance absorbé réel et densité de la puissance de Microonde.....	43
IV.12.11.Etude les propriétés de Blé dur après séchage.....	44

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

V.1. Taux d'humidité des graines.....	45
V.2. Résultat d'extraction d'huile.....	46
V.2.1. Rendement en huile.....	46
V.3.Résultats d'analyse physiologique.....	47
V.4. Résultats d'analyse physico-chimique d'huile de blé dur.....	48
V.5. Résultat d'analyse biochimique de blé dur.....	49
V.6. Résultats et discussions de séchage par MO.....	50
V.6.1. Résultat de test de détermination de puissance absorbée réel et de densité de la puissance par MO.....	50
V.6.2. Résultat d'extraction d'huile après séchage.....	51
V.6.2.1. Rendement en huile.....	51
V.6.3. Résultats d'analyses physiologiques de blé dur après séchage.....	53
V.6.4. Résultats d'analyses physico-chimiques de blé dur après séchage.....	54
V.6.5. Résultats d'analyses biochimiques de blé dur après séchage.....	56
V.6.6. Résultats d'analyse chromatographique de blé dur après séchage.....	58
<b>Conclusion</b> .....	61

### **Références bibliographique**

### **Annexes**



# Introduction

# Introduction

---

La production agricole dans le monde est fortement limitée par les conditions de milieu au premier rang desquelles figure la sécheresse. Cette dernière provoque une instabilité de la production suite aux fluctuations qui touchent surtout les cultures pluviales et plus particulièrement les céréales.

En Algérie, les céréales constituent l'alimentation de base de la population. Elles couvrent environ 60% des terres cultivées. Malheureusement, la production reste faible et les rendements oscillent aux grés des aléas climatiques. Cette situation a pour origine des variations climatiques défavorables marquées surtout par un déficit hydrique sévère et régulier, accompagné de fortes chaleurs de fin de cycle.

D'après Kramer (1980) le déficit hydrique est le facteur limitant majeur des rendements des céréales. [1]

Dans un monde où le problème de la faim est crucial, la protection des cultures et des denrées alimentaires prend une importance considérable. Sans une agriculture saine et dynamique, il n'y a pas de sécurité, non seulement alimentaire mais encore sociale et politique. La faible persistance de l'agriculture compromet le développement économique et menace insidieusement la stabilité sociale et politique de nombreux pays. [2]

Le blé dur est exclusivement destiné à l'alimentation humaine. C'est la céréale de base de l'Afrique du Nord et du proche et moyen orient. Les céréales présentent l'avantage important de constituer des provisions pouvant se conserver sous forme de grains de grande valeur nutritionnelle et constituées par des substances amylacées et d'environ 10% de protéines. Elles sont de transformation aisée et variée par cuisson.

Aujourd'hui les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires et des échanges économiques. La facilité de la culture permet d'atteindre une sécurité alimentaire qui est renforcée par les possibilités de stockage. [1]

Le séchage est l'une des principales techniques de préservation des produits agricoles et alimentaires. Ce traitement thermique appliqué au blé dur induit à des modifications de la valeur nutritionnelle et son aptitude à la germination. [3]

# Introduction

---

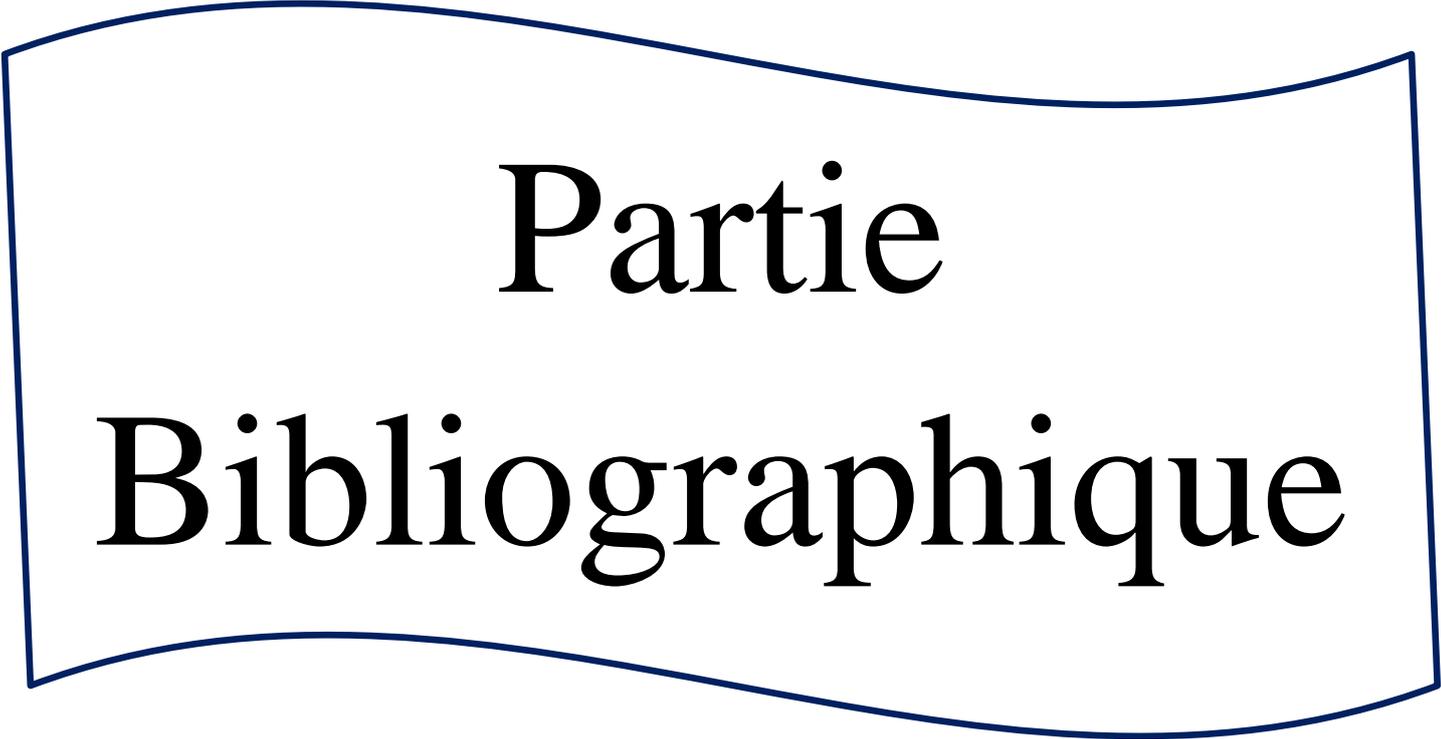
Le présent travail a pour objectif :

- Test de germination des graines pour les deux variétés de blé dur avant et après séchage.
- Etude des lipides, protéines et amidon de deux variétés de blé dur (Bousseleme et Siméto).
- Etude de la valeur nutritionnelle (lipides, protéines et amidon) après séchage par micro-onde pour déterminer la densité et le temps de séchage favorable pour la préservation de la valeur nutritionnelle des graines.
- Etude qualitative et quantitative des acides gras des deux variétés de blé dur avant et après séchage par micro-onde.

Le présent travail est divisé en deux grandes parties, une partie théorique et une autre expérimentale.

Le manuscrit comporte cinq chapitres :

- Le premier chapitre est réservé aux généralités sur blé dur.
- Le deuxième chapitre traite la valeur nutritionnelle de blé dur.
- Le troisième chapitre traite le séchage.
- Le quatrième chapitre est consacré aux matériels et méthodes.
- Le cinquième chapitre réservé aux résultats et discussions.



Partie  
Bibliographique

# Chapitre I

## Blé dur

## **I.1.Généralité**

### **I.1.1.Historique de blé dur**

La culture des céréales a permis l'essor des grandes civilisations, car elle a constitué l'une des premières activités agricoles. En effet, Il ya plus de trois millions d'années, l'homme préhistorique était nomade, pratiquait la chasse et la cueillette des fruits pour assurer sa nourriture. Le nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui permit la culture des céréales. Le blé est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité. Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ. Le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran.

Le terme blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français blaie, blee, blaiier, blaver, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemercer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (*polenta*), des crêpes ou du pain. On trouve sous le nom de blé des espèces variées: le genre Triticum (du latin Tritus, us= broiement, frottement): le blé moderne (*froment*), l'orge (*Hordeum*) et le seigle (*Secale* céréale), le blé noir (sarrasin).

C'est en l'an 300 ans avant JC, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, un des constituant essentiel de l'alimentation humaine. [4]

### **I.1.2. Morphologie et histologie du grain de blé**

#### **I.1.2.1.Morphologie**

Le blé se présente d'abord comme une plante herbacée, dont l'appareil végétatif se caractérise par un :

**I.1.2.1.1. Appareil racinaire**

L'appareil racinaire du type fasciculé peu développé. 55% du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur, 17,5% entre 25 et 50 cm, 14,9% entre 50 et 75%, 12% au-delà. En terre très profond (sols de limon), les racines descendent jusqu'à 1,50 mètre.

**I.1.2 .1.2. Tige et feuille**

La tige ne commence vraiment à prendre son caractère de tige qu'au début de la phase végétative, la tige en quelque sorte télescopée à partir d'un massif cellulaire qui forme le plateau de tallage. La tige elle-même ou chaume s'allonge considérablement à la montaison, et porte 7 ou 8 feuilles rubanées, engainantes sur toute la longueur d'un entre nœud. Les feuilles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe. [5]

**I.1.2.1.3. Épi**

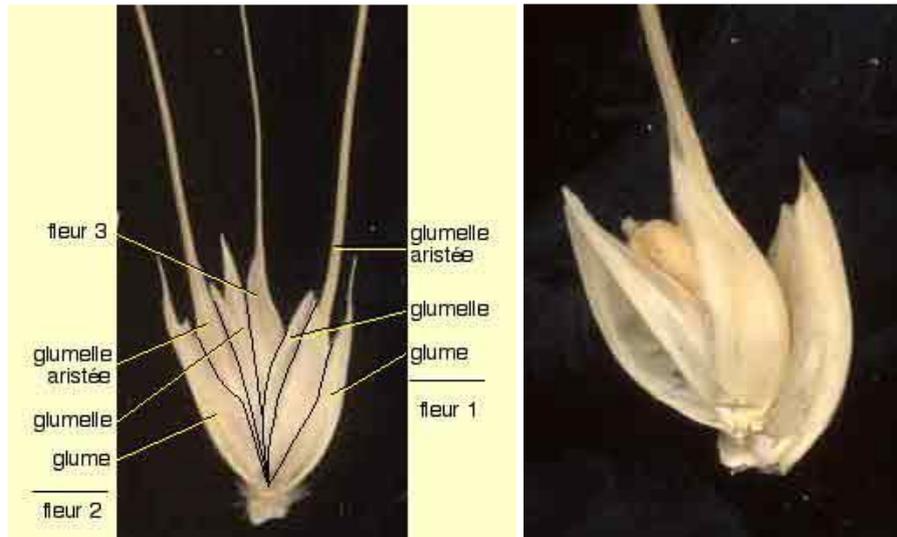
Il est aussi du bourgeon terminal du plateau de tallage. Lorsque le développement de la tige est terminé, l'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille, et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail. C'est l'épiaison.

L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles réguliers et portant alternativement à droite et à gauche un épillet.

**I.1.1.1.4. Épillets**

Ne comportent pas de pédoncule il est attaché directement sur le rachis. Les épillets nombreux (jusqu'à vingt-cinq). Ils représentent Petits groupes de fleurs, inséré sur l'axe de l'épi. Il est protégé à sa base par deux glumes (bractées), les fleurs sont protégées par des glumelles et des glumellules.

Après la fécondation, la fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte un embryon ou germe plaqué sur les réserves. [5]



**Figure 1.1.**photo descriptive d'épillet et fleur de blé. [5]

### I.1.2.2.Histologie

Les graines de blé sont des fruits appelées caryopses. Elles ont une forme ovoïde, possèdent sur l'une de leur faces une cavité longitudinale (le sillon) et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils (la brosse). [6] Le grain de blé se compose de trois parties principales:

#### I.1.2.2.1.Les enveloppes

Les enveloppes sont de nature cellulosique qui protège le grain et représentent 14-16% de la masse du grain. Elles renferment une teneur importante en protéines, en matières minérales et en vitamine du complexe B; elles contiennent en outre les pigments qui donnent la couleur des grains. Les enveloppes ont une épaisseur variable et sont formées de trois groupes de téguments soudés:

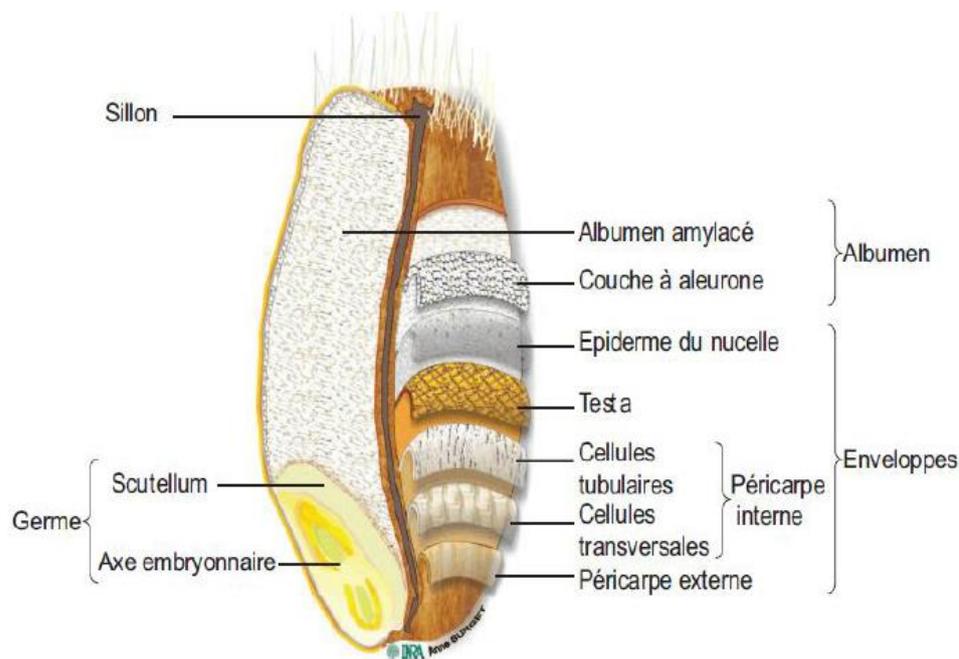
- Le péricarpe ou tégument du fruit constitué de 3 assises cellulaires :
  - Epicarpe, protégé par la cuticule et les poils.
  - Mésocarpe, formé de cellules transversales.
  - Endocarpe, constitué par des cellules tubulaires.
- Le testa ou tégument de la graine constituée de 2 couches de cellules.
- L'épiderme du nucelle appliqué sur l'albumen sous-jacent. [6]

### I.1.2.2.2.L'endosperme (amande ou albumen)

Constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon. On y trouve l'essentiel des réserves énergétiques qui nourrissent la plantule au moment de la germination. Il forme environ 80% du poids d'un grain et est constitué de granules d'amidon enchâssés dans le réseau protéique (gluten).

### I.1.2.2.3. Le germe (embryon)

Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2,5% à 3% du grain de blé. Le germe comprend deux parties: la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain. Enfin, le germe est riche en vitamine B1, B6. [4]



**Figure 1.2.** Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé. [12]

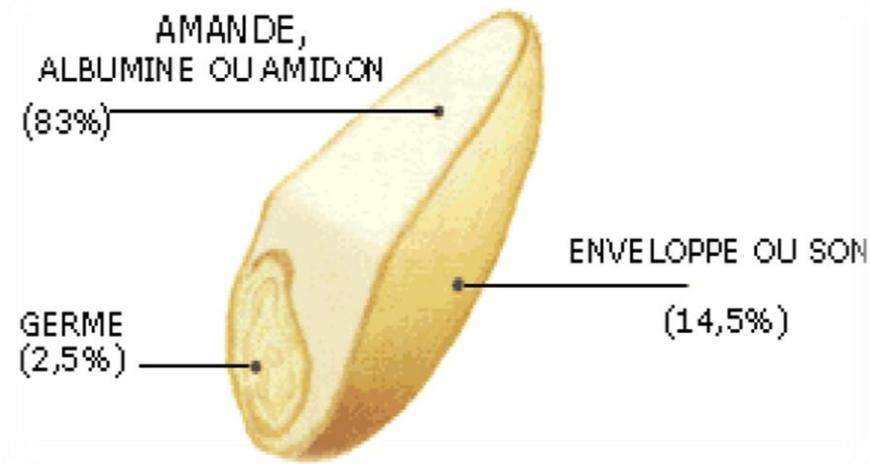


Figure 1.3. Coupe d'un grain de blé. [5]

### I.1.3. Classification et origine du blé dur

#### I.1.3.1. Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille qui sont caractérisées par des critères morphologiques particuliers. Le blé dur est une monocotylédone qui obéit à la classification détaillée est donnée par le tableau ci-dessous.

Tableau 1.1. Classification botanique du blé. [2]

Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Super Ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Graminacée
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	Triticum durum Desf

### **I.1.3.2. Origine génétique**

Le blé dur comme le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*. Ce genre comporte de nombreuses espèces autres que le blé, qui se répartissent en trois groupes distincts selon leur nombre de chromosomes :

-Le groupe diploïde ( $2n = 14$  chromosomes) ou groupe de *Tritium monococcum* (engrain, en langage courant).

-Le groupe tétraploïde ( $2n = 28$  chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (amidonnier), dans lequel on trouve *T.durum* (blé dur),

-Le groupe hexaploïde ( $2n = 42$  chromosomes) ou groupe de *Triticumsativum*, auquel appartient *T.sativum* (blé tendre), ou encore appelé *T.vulgare*.

### **I.1.3.3. Origine géographique**

Selon Vavilové in Erroux (1961), le blé dur a deux origines : l'Abyssinie et l'Afrique du Nord. Alors que pour Grignac (1978), le Moyen Orient est le centre générateur du blé dur, où il s'est différencié dans trois régions : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient (Syrie et nord de la Palestine). [2]

### **I.1.4. Exigences du blé**

Un bon comportement de la culture durant tout son cycle de développement exige la réunion de certains facteurs qui conduisent à l'observation d'un meilleur rendement et parmi les exigences on peut citer :

#### **I.1.4.1. Exigences édaphique**

Le blé exige un sol bien préparé, meublé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements. Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo-limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver. Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH optimal se situe dans une gamme

comprise entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E. [4]

### **I.1.4.2.Exigences climatiques**

#### **I.1.4.2.1.Température**

Une température supérieure à 0° (zéro de végétation du blé) est exigée pour la germination des céréales. Cependant l'optimum se situe entre 20°C et 22°C.

La température conditionne la nitrification et l'activité végétative du blé au cours du tallage et de la montaison. [5]

#### **I.1.4.2.2.Eau**

Selon Soltner (1990), l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante. En plus de l'eau de constitution des cellules et de celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, l'eau est le véhicule des éléments minéraux solubles de la sève brute.

A cet égard, Clément et Parts(1970) voient qu'il est intéressant de définir le coefficient de transpiration du blé, c'est-à-dire la quantité d'eau qui doit traverser la plante pour l'élaboration d'une certaine quantité de matière sèche. Pour le blé, suivant les variétés, la valeur du coefficient de transpiration varie de 450 à 550 grammes d'eau pour un gramme de matière sèche. [6]

#### **I.1.4.2.3. Lumière**

La lumière est la source d'énergie qui permet à la plante de décomposer le CO<sub>2</sub> atmosphérique pour en assimiler le carbone et réaliser la photosynthèse des glucides. La lumière est donc un facteur climatique essentiel et nécessaire pour la photosynthèse. [5] En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement. Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes. [4]

#### **I.1.4.2.4.Fertilisation**

La fertilisation est raisonnée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments (NPK) fertilisants prélevés par les récoltes.

Le blé a besoin de ces trois éléments essentiels et le rôle de chaque élément sur le plant de blé est le suivant :

➤ **Azote (N)**

C'est un facteur déterminant du rendement

- Il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges.
- Il a pour rôle d'augmentation de la masse végétative

➤ **Phosphore(P)**

C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation.

- C'est un facteur de précocité qui favorise la maturation.
- Il accroît la résistance au froid et aux maladies.
- C'est un facteur de qualité.

➤ **Potassium(K)**

- Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale.
- Il est nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée.
- Il permet une économie d'eau dans les tissus de la plante.
- Il assure une meilleure résistance contre la verse et contre les maladies. [5]

### **I.1.5. Phénologie du blé**

#### **I.1.5.1. Période végétative**

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage. Elle se divise en trois stades :

##### **I.1.5.1.1. Stade de semis**

L'installation d'une culture de blé est très importante puisqu'elle conditionne le développement et la croissance des plantes. Le succès de cette installation dépend: du choix de la variété, adaptée au climat et au sol de la zone, de la date du semis, de la densité de semis et de la profondeur de semis.

Les systèmes de cultures ont favorisé divers types de blé:

- le blé d'hiver est semé à l'automne. Il caractérise les régions méditerranéennes et tempérées;
- le blé de printemps est semé au printemps dans les pays à hiver plus rude. La différence principale avec le blé d'hiver et le blé de printemps, est que ce dernier supporte assez difficilement les températures basses. C'est grâce à lui que la Sibérie occidentale et le Canada sont devenus de gros producteurs. [4]

##### **I.1.5.1.2. Stade germination- levée**

La germination est le passage de la semence de l'état de vie lente à l'état de vie active. Le grain de blé ayant absorbé au moins 30% de son poids en eau. La coléoptile joue un rôle protecteur et mécanique pour percer le sol. A la levée les premières feuilles amorcent la photosynthèse. Néanmoins les réserves du grain continuent à être utilisées. On parlera de levée lorsque 50% des plantes seront sorties de la terre. [6]

##### **I.1.5.1.3. Stade levée-tallage**

Selon Soltner (1988), Cette phase est un mode de développement propre aux graminées, caractérisée par la formation du plateau de tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines. Cette phase besoin des températures moyennes de 09 à 22°C respectivement. Le tallage est marqué par l'apparition d'une tige secondaire, une talle, à la base de la première feuille. Les autres feuilles poussent elles aussi leurs talles vertes. À

l'intérieur de la tige, on peut trouver ce qu'on appelle la pointe de croissance. Elle commence à ressembler à un épi de blé. Initialement, la pointe est sous terre, protégée contre le gel. Au fur et à mesure de la reprise de la végétation, la pointe de croissance va s'élever dans la tige. [4]

### **I.1.5.2.Période reproductrice**

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi ; elle se caractérise par :

#### **I.1.5.2. 1.Stade montaison – gonflement**

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement de entrenœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis.

Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus. La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la graine. [8]

##### **I.1.5.2.1.Stade d'épiaison**

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa graine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré. La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu, c'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance. [9]

##### **I.1.5.2.2. Stade épiaison – fécondation**

C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que va s'effectuer la fécondation. Le nombre de fleurs fécondées durant cette période critique dépendra de la nutrition azotée et l'évapotranspiration. Elle correspond au maximum de la croissance de la graine qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de transpiration qui influencent le nombre final de grain par épi. [6]

### **I.1.5.3.Période de formation et de maturation**

#### **I.1.5.3.1.Grossissement du grain**

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors s'orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison. A l'issue de cette phase, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade «grain laiteux ». L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir. Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes. Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12 % contre 25 % chez les précoces. La majeure partie des réserves accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais non encore desséchées.

#### **I.1.5.3.2.Maturation du grain**

C'est la dernière phase du cycle végétatif. D'après Belaid (1996) la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains [3]. Par la suite, les grains perdent leur humidité:

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades. Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle» (20 %d'humidité) puis, « cassant sous la dent» (15-16 % d'humidité). [8]

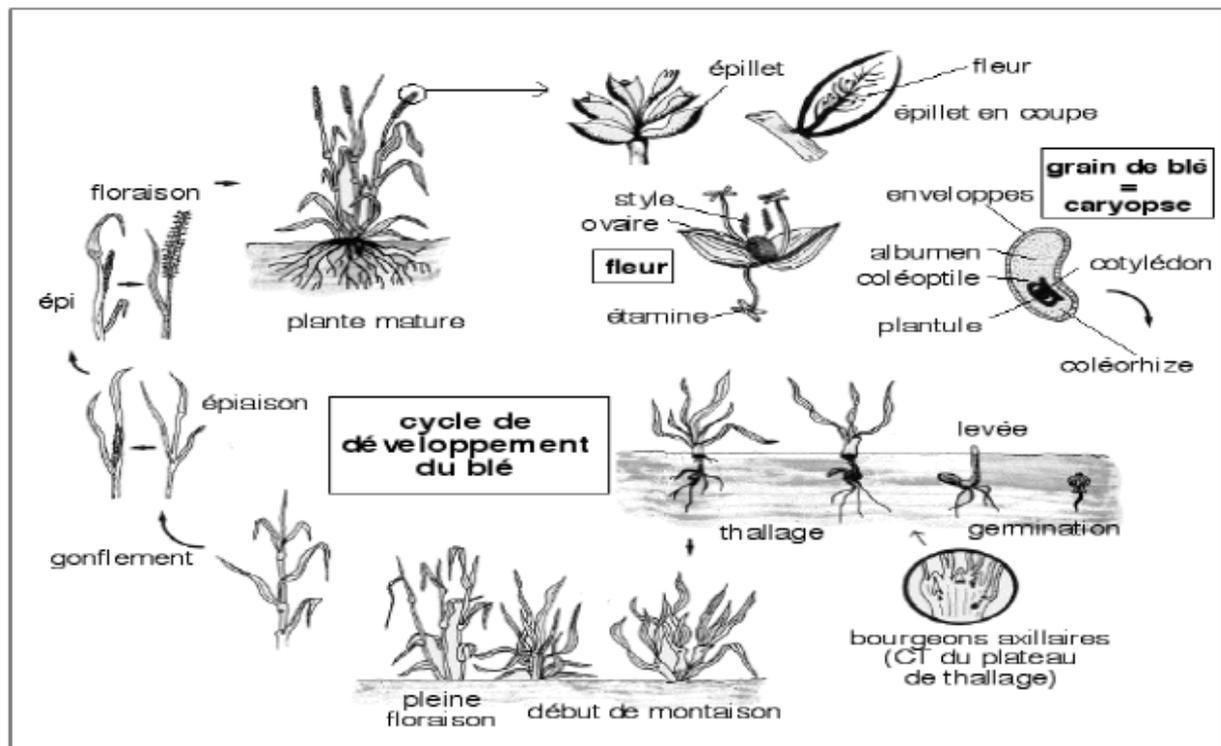


Figure1.4. Stades phénologiques du blé. [4]

### I.3.Importance du blé dur

#### I.3.1. Importance alimentaire

Les blés constituent la première ressource alimentaire de l'humanité, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. [4]

Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques. Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse.[8]

En Algérie la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares. Le blé dur est une ancienne culture dont l'origine remonte à la venue des arabes.

La superficie occupée par le blé dur est, en moyenne, de 1.3 millions d'hectares, durant la période 2000-2010. [10]

### **I.3. 2. Importance économique**

Le blé dur représente environ 8% des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70% sont localisées dans les pays du bassin méditerranéen. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne, et les pays d'Afrique nord, sont en effet, parmi les principaux producteurs. Par ailleurs, le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne. En 2012, a atteint une production de blé de 51,2 MQ contre une production mondiale de 690 MT. Sur une superficie de 3 Mha réservée à la céréaliculture, 1 785 000 ha sont destinés à la culture du blé. [4]

### **I.4. production de blé dur**

#### **I.4.1. Dans le monde**

La production mondiale en blé dur connaît des interannuelles importantes.

En 2002, selon les statistiques du conseil international des céréales sur la scène mondiale, la superficie consacrée annuellement à la culture du blé dur s'étend sur environ 18 millions d'hectares, ce qui donne une production annuelle moyenne approximative de 30 millions de tonnes. En 2009, année relativement favorable, la production mondiale de blé dur a atteint 40 millions de tonnes, puis a baissé vers 34 millions de tonnes en 2014.

L'Europe (hors CEI) a assuré en moyenne, au cours de la décennie 2000, 26% de la production mondiale (la balance commerciale de l'Union européenne en blé dur est en général excédentaire depuis 1985, mais l'Italie importe). viennent ensuite l'Amérique du Nord et centrale (24%), le Moyen-Orient (avec en particulier la Turquie et la Syrie (18%), puis la CEI (12%) et l'Afrique du nord.

La production de blé dur est soumise à deux variabilités : la récolte en Afrique du nord très irrégulière car dépendante des pluies d'hiver et de printemps, et la production en Amérique du Nord découlant de décisions de semis sur des bases économiques et agronomiques (avec peu d'alternatives en zone aride). La zone méditerranéenne dans son ensemble consomme 62% du blé dur mondial et est la principale zone importatrice de la planète. L'Amérique du Nord et centrale est la principale zone exportatrice de la planète. Elle

réalise 72% des exportations mondiales. Le Canada est le premier exportateur de blé dur et l'Algérie est le premier importateur. [11]

#### **I.4.2. En l'Algérie**

Selon les statistiques de la Fao, en 2009 la production nationale en Algérie fut de 2953117 tonnes pour une superficie emblavée hectares, faisant une contribution 0.4% dans la production mondiale.

La vallée du Chélif qui englobe les wilayates de Ain-Defla, Chleff et une grande partie de la wilaya de Relizane prend une place importante dans la production des blés tendres et durs au niveau national. Sur la base des informations issues de la revue « statistiques agricole », cette place s'explique par des taux de production de blé dur comparés à la production nationale allant de 23% en 2002, année climatiquement relativement défavorable à 11% en 2010, année favorable. Ces taux sont plus faibles pour le blé tendre de 14.84% en 2002 à 8.58% en 2010. Ces fluctuations sont dues principalement aux variations interannuelles des conditions climatiques de la région à climat semi-aride.

La superficie moyenne emblavée du blé dur dans ces trois wilayates durant la période (2002-2010) est de 199218 hectares devant 1342425 hectares au niveau national. Constituant donc un taux d'occupation moyen de 14.84% de la superficie réservée dans le territoire national. Cependant, la superficie moyenne emblavée en blé tendre dans ces trois wilayates durant la même période n'est que de 65776 hectares devant 733380 hectares à l'échelle nationale faisant un taux moyen d'occupation de 8.37%.

Il ressort que la production moyenne du blé dur dans ces trois wilayates durant la même période s'éleva à 2713136 quintaux en face 15837585 quintaux au niveau national. Faisant un taux moyen de contribution de 17% dans la production nationale.

Cependant la production moyenne du blé tendre dans ces trois wilayates durant la même période n'est que de 801837 quintaux en face de 8561832 quintaux à l'échelle nationale. Faisant un taux moyen de contribution de 9.73% dans la production nationale. [11]

➤ **Zone de production**

Selon (Djermoun,2009), les augmentations moyennes affichées montrent un passage des rendements moyens des blé de 9,4qx /ha à 13,1 qx/ha pour le blé dur au cours de la période 1991-1995 à 2001-2005 et de 9 à 13,5 qx/ha pour l'orge durant la même période Cependant cette augmentation est très disparate. [10]On note trois grandes zones :

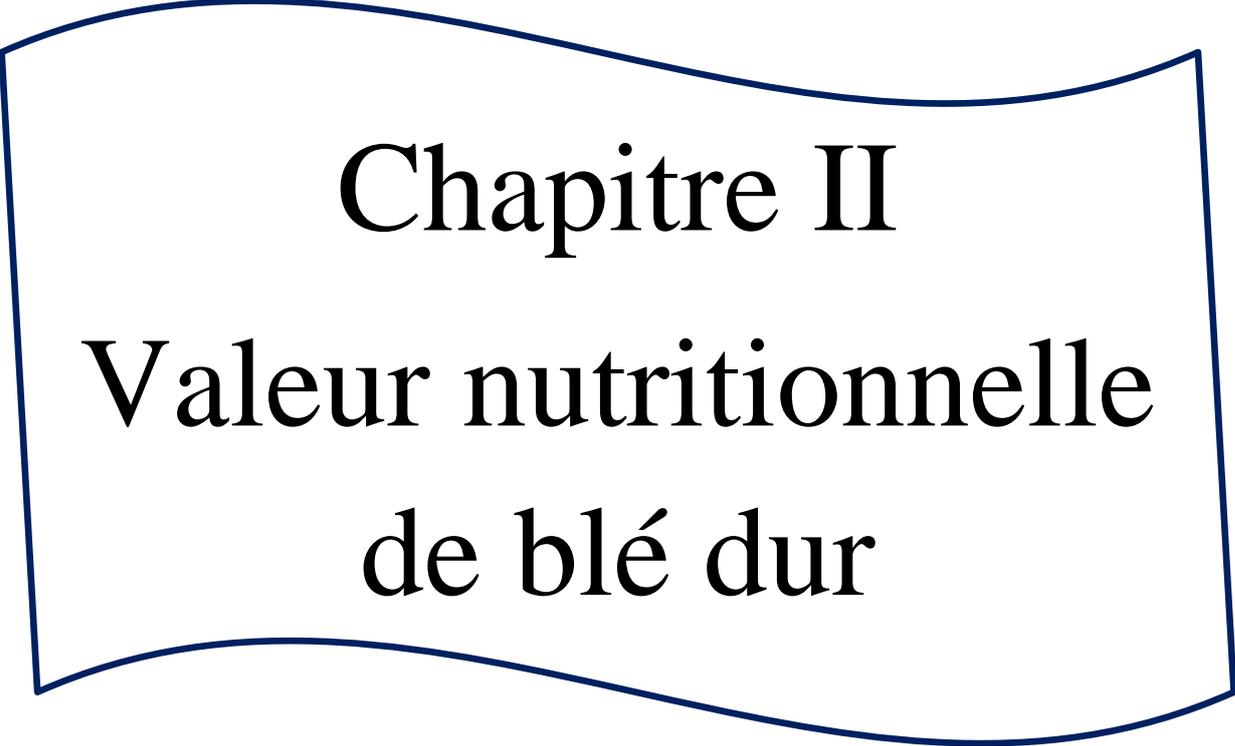
- Plaines littorales, vallées du centre et de l'Est (400 000ha).pluviométrie supérieur à 500mm avec des rendements de 10à20 q/ha.
- Plaines (Mléta, Mekerra, Ghriss) et vallées (Mina, Rhiou, Chéleff) intérieures .massif de Media et plateaux de Dahra (105millions d'ha, 400mm<pluviométrie<500mm) avec des rendements de 8à16q/ha.
- Haut plateaux de l'Ouest et de l'Est (4,5millions ha, pluviométrie<350mm avec des rendements de 5q à 12 q/ha.

### **I.5.variétés du blé dur utilisé en Algérie**

Les géotypes d'introduction nouvellement sélectionnés et caractérisés par un haut potentiel de production disparaissent plus rapidement à cause de leur inadaptation et leur sensibilité à la sécheresse. Néanmoins ; l'introduction de ce matériel génétique a fait régresser les variétés locales en les marginalisant pendant les années favorables avant de disparaître à son tour après les années défavorables.

Le succès de la production de céréales dépend en grande partie, du choix de la variété appropriée. C'est-à-dire résistante aux maladies, bien adaptées au sol et au climat, ayant un rendement élevé et une qualité du grain appréciable.

Les variétés de blé dur homologuées dont les semences peuvent être produites et commercialisées en Algérie sont éditées par le centre national de contrôle et de certification des semences et plants sur le bulletin des variétés 'céréales' de l'année 2009, on compte au total trente variétés à savoir : les variétés locales : Bidi17, Cirta, Gloire de Guemgoum R'khem. Mohamed ben Bachir, Raouia, Hadba 3, Taslemt et les variétés traduites : belikh02, Bolenga, Bousseleme, Cannizo, Capieti cham 3, chen's Ciccio, Colesseo, Crioca. Durbel ,Eider, GTA dur kebir ,Ofanto , Orjaune, Oum Rabi ,Poggio, Polonicom, Sebaou, Siméto, Tassili ,vitron et waha.[11]



Chapitre II  
Valeur nutritionnelle  
de blé dur

### II.1.Généralité

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre de *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. [12]

Le grain de blé comporte trois parties distinctes. Le germe est riche en lipides, protéines, vitamines et éléments minéraux ; il représente environ 3% du grain. Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et augmenter la durée de conservation [13]. Les enveloppes sont constituées par le péricarpe, le tégument séminal et l'assise protéique. Ils représentent 13 à 15% du poids du grain. Le péricarpe et le tégument séminal sont essentiellement composés de cellulose et de matières minérales. L'assise protéique est riche en lipides, protéines, matières minérales et vitamines. Les enveloppes sont éliminées pendant la mouture, et constituent le son. L'amande, qui donne la semoule caractéristique du blé, représente 82 à 85% du poids du grain. Elle est composée essentiellement d'amidon, de 10 à 12% de protéines et d'une faible proportion de matières minérales et de vitamines.

Les composés qui ont une bonne valeur nutritionnelle sont présents en quantité appréciable dans le grain de blé et au niveau de quelques tissus particuliers. Certains de ces composés (vitamines, acides phénoliques, lignanes, ...) jouent un rôle important au plan nutritionnel, technologique conduisant à la production d'une gamme des produits. [10]

### II.2.Composition chimique du grain de blé

Le grain est principalement constitué de glucides (amidon et fibres, 65-75%) et de protéines (8 à 17%, selon les variétés et les conditions de culture), mais aussi de lipides (2-6%), d'eau (12- 14%) et de micronutriments .Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain.

L'amidon se retrouve en totalité dans l'albumen amylicé, les protéines et les lipides dans le germe et la couche à aleurone .L'hétérogénéité existe également entre les cellules de ces différents tissus. En particulier, il est bien établi qu'il existe un gradient protéique entre L'albumen amylicé et les cellules externes de la couche à aleurone (subaleurone), ces dernières étant plus riches en protéines avec moins d'amidon que les cellules de l'albumen central. [12]

Le tableau 2.1.Représente la distribution histologique des principaux constituants du grain de blé.

**Tableau 2.1.**Distribution histologique des principaux constituants de grain de blé. [12]

	Grain	Epicarpe		Aleurone		Albumen		Germe	
	G%	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G
Protéine	13.7	10	4.4	30	15.3	12	73.5	31	6.8
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
Amidon	68.7	0	0	0	0	82	10	0	0
Sucre réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62	30	37.3
Pentosanes	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
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 dans le tissu.

### II.2.1.Glucides

La fraction importante des glucides est représentée par l'amidon d'environ 60 à 70% du grain et ainsi d'autre pentoses et matières cellulosiques. [14]

#### II.2.1.1.Amidon

Le constituant dominant des céréales est toujours l'amidon. La farine de blé contient 12-14%d'eau pour environ 75% d'amidon. C'est l'élément de réserve de grain, un peu comparable aux graisses chez les animaux. Ce glucide est l'élément qui se trouve en grande quantité dans l'albumen et peut être atteindre 82% de la matière sèche de la farine ou de la semoule. [12]

### II.2.1.2.Fibres

L'écorce est principalement riche en fibre, lignine, cellulose et hémicellulose, d'où l'intérêt diététique des pains issus de farine complète, du son et des pains au son.

D'après FREDOT (2005), elles ont un intérêt dans la régulation du transit intestinal ainsi que dans la prévention du cancer du colon. La cellulose est le principal diholoside de structure des végétaux. La proportion la plus fréquente de la cellulose dans les grains est de 2.5%.

Le son de blé est constitué par l'ensemble des enveloppes du grain de blé dans lesquelles les fibres sont concentrées. Ce sont ces teneurs élevées en cellulose et hémicellulose, la présence de lignine et d'autres composés phénoliques qui donnent au son ses propriétés de fibres alimentaires peut fermenter dans le colon mais capable de retenir l'eau. En effet, la capacité d'adsorption d'eau du son de blé peut aller jusqu'à 300%. [12]

### II.2.1.3.Pentosanes

Les pentosanes sont des polysaccharides non amyliques constitutifs des parois végétales. Ce sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (50 à 80%). Ils représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la farine. [2]

Les pentosanes sont formés principalement de sucres en C5 (pentose). Les associations arabinose-glucose (arabinoxylanes) et arabinose-galactose (arabinoglactanes) sont plus fréquemment rencontrées parmi les Pentosanes des céréales et du blé. Les pentosanes du grain, issus principalement des cellules de l'albumen, sont plus solubles que les pentosanes du péricarpe ou enveloppe.

Les Pentosanes agissent aussi comme agent de liaison de l'eau au cours du pétrissage, il joue un rôle important dans l'augmentation du volume du pain. [12]

**II.2.2. Protéine**

Le blé possède des protéines dont la composition en acides aminés et la structure leur confèrent des propriétés fonctionnelles différentes de celles des autres céréales. [12]

C'est à Osborne (1907) que l'on doit la première classification des protéines. Il les a séparait en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau.

**Les protéines solubles :** représente 15 à 20 % des protéines totales (Albumines solubles dans l'eau, Globulines solubles dans les solutions salines) et

**Les protéines de réserves :** représentent 80 à 90 % des protéines totales (Gliadines solubles dans les solutions alcooliques, Gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou de bases, ainsi que dans les détergents). [15]

La composition en acides aminés des protéines de blé est représentée dans le tableau 2.2.

**Tableau 2.2.**Composition en acides aminés des protéines de blé (en grammes pour 16 grammes d'azote). [12]

	<b>Albumines</b>	<b>Globulines</b>	<b>Gliadines</b>	<b>Gluténines</b>
Acides aspartique	7	8.7	2.5	4.7
Thionine	3.8	4.2	2.2	3.3
sérine	4.7	4.9	4.5	5.3
Acides glutamique	19.1	11.6	43.4	29.3
prolines	7.2	4.3	13.9	8.9
Glycine	4.3	5.1	2.2	4.6
Alanine	5.2	5.9	2.1	3.7
Valine	5.9	5.6	3.9	4.9
Isoleucine	3.7	3.8	4.0	3.8
leucine	7.3	7.7	6.8	7.2
tyrosine	4.0	3.6	3.2	4.0
phénylalanine	3.8	3.8	5.7	4.6
méthionine	2.1	2.0	1.4	1.6
lysine	4.2	7.6	0.9	3.2
Histidine	2.5	2.2	2.2	2.0
Arginine	6.0	7.8	2.8	4.1

### II.2.3. Gluten

Le gluten est un matériel viscoélastique obtenu par lixiviation (lavage par l'eau) d'une pâte de blé tendre ou de blé dur. Principalement constitué de protéines (75 à 80 % MS), il contient également de l'amidon (8 à 10 % MS), des sucres réducteurs (1 à 2 % MS), des lipides (5 à 10 % MS) dont les 2/3 environ sont des lipides polaires, des pentosanes (2 % MS) et des matières minérales (1% MS).

Brigitte in Anonyme (1996 b), affirme que la quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines et la mesure de gluten constitue le plus souvent le seul test technologique d'appréciation de la qualité des blés durs. [2]

### II.2.4. Lipides

Les principales matières grasses du blé, du germe et de la semoule sont des acides gras (acide palmitique, stéarique oléique, linoléique et linoléique, des glycérides simples), principalement, des triglycérides mais également des mono et des diglycénides, des glycolipides (galactoglycérides, et des phospho -lipides). Elles sont inégalement distribuées dans le grain.

Les lipides du blé représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec, ce sont des constituants mineurs du blé, certains sont libres, mais la majorité est associée aux composantes majeures (amidon, protéines) et leurs effets sont importants dans les processus technologiques. [2]

Ceci se traduit par une augmentation de la teneur en matière grasse avec le taux d'extraction du blé en farine. Leur dosage est un indicateur du taux d'extraction mais aussi des risques de mauvaise conservation de la farine. Les lipides sont principalement sous forme de triglycérides ; ils ne jouent pas de rôle technologique majeur ; toutefois les interactions des lipides endogènes avec les protéines notamment modifient les propriétés fonctionnelles du gluten et contribuent à la régulation des structures alvéolaires. [12]

Les lipides des céréales ont par contre un rôle important sur les qualités du gluten. Un gluten délipidé perd une partie de ses propriétés panifiables.

La composition en acides gras des lipides des grains de blé est représentée dans le tableau 2.3.

**Tableau 2.3.** Composition en acides gras des lipides des grains de blé (en pourcentage du total des acides gras). [12]

Acide gras	Acide palmitique C <sub>16</sub> (saturé)	Acide oléique C <sub>18</sub> insaturé à une double liaison	Acide linoléique C <sub>18</sub> insaturé à deux doubles liaisons	Acide linoléique C <sub>18</sub> insaturé à trois doubles liaisons
Teneur en %	18	15	63	4

### II.2.5. Minéraux

Le blé dur est une source importante des oligoéléments, car c'est une récolte d'aliment principal qui peut composer une grande proportion de prise diététique dans beaucoup de pays.

Le blé dur est une source significative en magnésium (Mg), manganèse (Mn), Fe, Zn, cuivre (Cu) et molybdène (Mo). Il est également une source significative en sélénium bio-disponible (Se) à moins qu'il soit développé dans des sols pauvre en Se. La teneur du grain de blé dur en sodium est faible (0,01-0,05mg/g). Considérant que les concentrations typiques des autres macroéléments sont 3,8-5,5 mg/g de potassium (K), 1,8-5,2 de phosphore (P), 1,0-1,5 mg/g de Mg, et 0,32-0,47mg/g de calcium (Ca).

Le blé dur est une bonne source d'éléments de traces, mais la mouture diminue leurs concentrations, spécialement dans la case de Mn, Fe, Mg et Zn, due à leur concentration relativement basse dans l'endosperme. Dans plusieurs pays de l'Amérique, l'Europe, le moyen orient et l'Asie, les produits céréaliers, inclure les pâtes, sont fortifié avec du Fe et parfois Ca et vitamines qui sont également perdues dans les produits céréaliers raffinés.

Compte tenu du fait que ce sont les parties périphériques de la graine, tégument séminal et assise protéiques (ou couche à aleurone) qui sont les plus riches en matières minérales et qu'à l'inverse, l'albumen amylicé n'en contient qu'environ 0.5%, la teneur en matière minérales d'une farine est utilisée comme marqueur de sa pureté, c'est-à-dire de sa contamination par les parties périphériques du grain. [12]

### II.2.6 .Enzymes

Ce sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques du métabolisme. Les enzymes sont des molécules présentes en petite quantité dans les cellules vivantes. L'intérêt porté aux enzymes en pastification provient de la relation qui a été établie, depuis plusieurs années, entre leur activité et l'un des principaux critères de la qualité des pâtes qui est leur couleur.

Les pigments caroténoïdes, qui dans le cas du blé sont constitués par la lutéine, sont à l'origine de la composante jaune recherchée dans les semoules de blé dur et les pâtes alimentaires.

Chez le blé, la lyxogénase est principalement localisée dans la partie périphérique du grain, elle est plus abondante dans le germe du grain que dans l'albumen. [2]

Les enzymes sont présentés en petites quantités. Les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxogénases et les amylases, plus phytases (phosphatases) les peroxydases et les catalases. [12]

- **Lipase**

Elle se localise dans les couches périphériques probablement dans la couche à aleurones et dans le germe de blé.[13]

- **Lyxogénase**

Cette enzyme se trouve localisée dans le germe de blé. Elle provoque l'oxydation des acides gras surtout insaturés à l'état libre. [13]

**II.2.7. Vitamine**

Les vitamines liposolubles sont majoritaires dans le germe de blé en raison de sa teneur élevée en lipides. Le germe de blé est surtout riche en vitamine E. Le tableau 2.5.comporte les données relatives aux vitamines que renferme le germe de blé. [13]

**Tableau 2.5.**Proportion des vitamines en mg pour 100 g de germe de blé. [13]

B1 mg/100g	B2	B6	E	Niacine	B5	Caroténoïdes
2.01	0.720	0.492	31.06	4.52	1.00	0.062

# Chapitre III

## Séchage

### **III. 1.Séchage**

#### **III.1.1.Définition**

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Cette opération met en jeu un transfert de chaleur (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide) et un transfert de masse (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans l'air asséchant).

Le séchage est alors défini comme étant un double transfert de chaleur et de masse.

Le séchage est une technique très ancienne de préservation de produits agricoles et alimentaires (céréales, graines, ...). [16]

Le mode de séchage le plus utilisé dans l'industrie est le séchage par entraînement :

La température reste inférieure à celle d'ébullition de l'eau et le gaz d'entraînement est généralement de l'air. C'est l'air qui cède sa chaleur au produit et reçoit l'humidité extraite de celui-ci. [17]

#### **III.1.1.2.Objective de séchage**

L'objectif du séchage est très divers selon la filière envisagée, il permet:

- La stabilisation du produit (bois).
- La réduction du volume et la facilité du transport du produit.
- La mise en forme du produit (granulés, spaghetti,...).
- Faciliter la conservation des produits (en réduisant l'activité de l'eau) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles ou industrielles.
- Facilite le stockage et conserve la qualité des produits séchés.
- Diminue la masse et le volume des aliments séchés.
- Donne une structure ou une présentation nouvelle du produit (raisin et Abricot par exemple). [17]

#### **III.1.1.3. Mode de séchage**

##### **III.1.1.3.1.Séchage direct appelé aussi séchage par convection**

Le caractère spécifique de ce mode de séchage réside dans le fait que l'air de séchage remplit deux fonctions simultanées l'apport de chaleur vers la surface du produit.

##### **III.1.1.3.2.Séchage indirect ou par conduction**

Le produit se trouve en contact avec une paroi conductrice de chaleur qui est chauffée par un fluide caloporteur (air, eau, gaz, vapeur d'eau). Sous l'action de la chaleur ainsi transmise par conduction, le liquide s'évapore ou se vaporise. La vapeur formée étant entraînée par action d'un léger courant de gaz auxiliaire ou par dépression.

### **III.1.1.3.3.Séchage par rayonnement**

On sait que toute surface dont la température est supérieure au zéro absolue émet un rayonnement capable de se transformer en chaleur, et que l'émittance énergétique totale d'une surface ou flux de chaleur émis par l'unité d'aire de cette surface, est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue de la surface.[16]

### **III.1.1.3.4.Séchage sous vide**

Le point d'ébullition d'un liquide s'abaissant lorsqu'on diminue la pression, le séchage réalisé sous vide provoque l'ébullition rapide du liquide à éliminer. L'opération qui s'effectue alors par vaporisation s'en trouve accélérée et la durée du séjour de la matière dans le séchoir écourtée. Ce mode opératoire rend ainsi possible le séchage de substances thermosensibles, difficile à traiter sous pression normale, en raison du séjour plus ou moins long qu'elles devraient subir à température élevée.

### **III.1.1.3.5.Séchage par perte diélectrique**

Le séchage par pertes diélectriques est basé sur le chauffage par l'électricité des substances non conductrices (diélectrique). On l'obtient en plaçant la matière à sécher dans un champ électrique alternatif à très haute fréquence (1 à 30Mhz). Un tel champ existe entre les armatures d'un condensateur plan relié à un générateur. Sous l'action de ce champ, les molécules du diélectrique se polarisent et sont contraintes de changer de polarité à chaque alternance.

### **III.1.1.3.6. Séchage par lyophilisation**

C'est un séchage s'effectuant sous une pression très réduite, inférieure à celle qui correspond au point triple du fluide qui constitue l'humidité à évacuer. Cette humidité se trouve donc congelée et son élimination se produit directement de la phase solide à la phase vapeur, sans passer par l'état liquide, c'est-à-dire par sublimation à basse température. Cette méthode de séchage étant évidemment très onéreuse ne peut s'appliquer qu'à des matières qui, en raison de leur fragilité à la chaleur ne supportent pas les méthodes habituelles de séchage par exemple: les substances biologiques (plasma sanguin, cellules...), produits pharmaceutiques (antibiotiques), produits alimentaires (café, lait, jus de fruit...). [16]

### **III.1.1.3.7.Séchage a l'air libre**

Méthode ancestrale utilisée jusqu'au jour d'aujourd'hui, consistant à étaler en plein air les Produits à sécher. C'est une technique facile et pas coûteuse, néanmoins elle peut causer des Pertes importantes. [16]

#### **III.1.1.3.8. Séchage par micro onde**

Le séchage par micro ondes où le transfert se fait grâce aux propriétés diélectriques des matériaux. L'eau est très réceptive à ce type de chauffage. Les ondes pénètrent dans les matériaux et subissent une atténuation de puissance liée au transfert. Il est appliqué aux séchages d'encre, de peinture, des adhésifs et au séchage sous vide des produits pharmaceutiques. [18]

#### **III.1.1.4.Mécanisme de séchage**

Deux mécanismes peuvent être mis en oeuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit, l'ébullition et l'entraînement.

##### **III.1.1.4.1.Séchage par entraînement**

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant d'air suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que:

- l'air apporte au produit au moins une partie de l'énergie nécessaire à la vaporisation.
- l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau.

##### **III.1.1.4.2.Séchage par ébullition**

L'ébullition aura lieu, lorsque la température du produit est élevée à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de se produit est égale à la pression totale ambiante. La température d'ébullition dépend de la pression totale (elle est plus basse sous vide qu'à pression atmosphérique) et de l'activité de l'eau du produit (elle augmente lorsque  $a_w$  diminue).

##### **III.1.1.4.3.Séchage par air chaud**

Le séchage par air chaud est basé sur l'échange de chaleur et d'humidité entre l'air et le produit. La chaleur transportée par l'air est utilisée pour réchauffer les grains de leur température initiale à la température d'évaporation, et fournir la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau des grains. [19]

## III.2. Micro onde

### III .2.1. Définition

Les microondes sont des ondes électromagnétique qui se propagent dans le vide a la vitesse de la lumière .Elle sont caractérisées par une fréquence comprise entre 300MHz et 300GHz .les longueur d'onde associes s'étalent de 1millimetre à 100centimetre .sur le spectre électromagnétique, elle sont situées entre les radiofréquences et les infrarouge , la fréquence la plus utilise est de 2450MHz (2.45GHz) correspondant à la fréquence de la majorité des magnétrons de four microonde de cuisine ayant une puissance de 600à1000w.[20]

### III.2.2. Equipement de micro onde

Le réacteur micro onde est constitue d'un magnétron. D'un guide d'onde et d'une cavite.les fours microondes actuels sont classes en deux catégories :

#### III.2.2.1. Réacteur multi modes :

C'est le cas des fours microondes domestiques la répartition du champ électrique sous forme d'énergie provient de la réflexion des ondes électromagnétique sur les parois métallique de la cavité.

Les fours dotes d'un disque tournant permettent une meilleure homogénéité du chauffage.ces type de four est utilise pour des synthèses organique sa l'échelle du laboratoire.

Ils ne peuvent pas être utilises pour les études cinétiques ou des appareils spécifique très couteux sont recommandes.

#### III.2.2.2. Réacteur monomodes :

Les ondes sont centralisées à l'aide d'un guide d'onde.

La distribution du champ électrique est homogène dans les produits à chauffer. Ce type de fours microondes est utilise a faible puissance (30a300w), ainsi que la stabilité thermiques préservée et les rendements sont plus élevé. [20]

### III.2.2. Principe de chauffage Micro- Onde

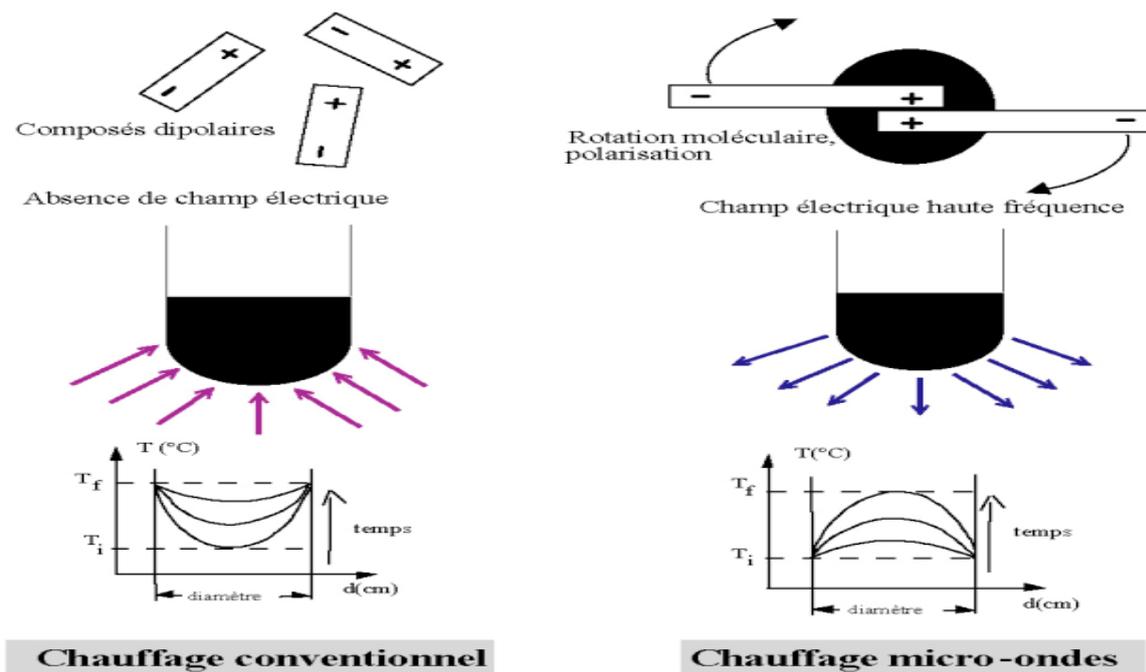
Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques qui occupent une bande de fréquence de trois décades de 300 GHz à 300 MHz. La fréquence la plus utilisée est de 2450 MHz, ce qui correspond à une longueur d'onde dans l'air de 12,2 cm.

Le mécanisme du chauffage micro-ondes repose sur le fait que les molécules polaires, telles que l'eau, ont des extrémités négatives et positives : ce sont des dipôles. En l'absence de

champ électrique, les dipôles se trouvent orientés au hasard. Sous l'effet d'un champ électrique continu, les molécules tendent à s'orienter dans la direction du champ électrique. Sous l'effet d'un champ électrique alternatif de fréquence  $f$ , les dipôles s'orientent dans la direction du champ sur une demi-alternance, se désorientent lorsque le champ s'annule et se réorientent dans l'autre sens pendant la seconde demi alternance : c'est la rotation dipolaire.

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Alors que le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient, sous chauffage micro-ondes, le volume traité devient lui-même source de chaleur : on parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-ondes, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel par double enveloppe, plaque chauffante et flamme.

C'est un mode de chauffage instantané en volume et non en surface. Les phénomènes thermiques de conduction et de convection ne jouent plus qu'un rôle secondaire d'équilibrage de la température. La figure 3.1 illustre ces deux modes de chauffage. [21]



**Figure.3.1.**Déférence entre séchage conventionnelle et par micro onde. [21]



Partie  
expérimentale

# Chapitre IV

## Matériels et méthodes

**IV.1. Cadre de l'étude**

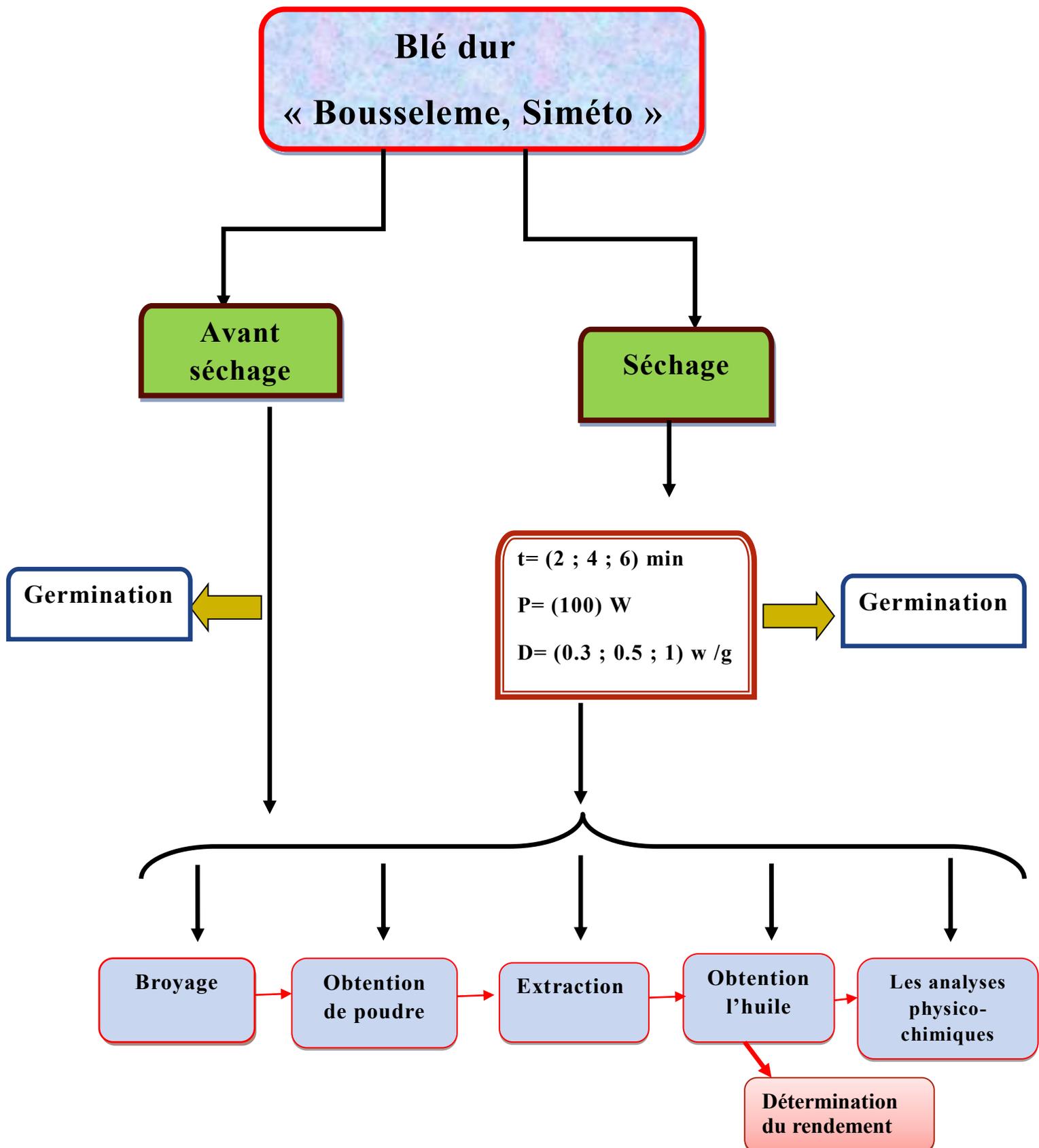
L'objet de ce chapitre est d'exposer le principe des méthodes d'analyse utilisées au sein de la filière céréales. Les analyses sont classées sous les quatre rubriques suivantes :

- ❖ Analyses physiologiques.
- ❖ Analyses physicochimiques.
- ❖ Analyses biochimiques.
- ❖ Analyse chromatographiques.

Cette étude s'est déroulée du 28 février au 30 mai 2017 au niveau :

- ✓ Université de Khemis Miliana
  - Laboratoire de génie des procédés.
  - Laboratoire de chimie 2.
  - Laboratoire de Biochimie
- ✓ Groupe SIM de Mouzaia (Blida).
- ✓ L'institut national d'agronomie (INA) d'Alger.

Diagramme du Protocole expérimental



**IV.2. Matière première**

Le présent travail porte sur deux variétés de blé dur. Ces variétés sont « **Bousseleme** » et « **Siméto** » elles sont fournies de l'Institut technique des grandes cultures (ITGC) de Bir oueled khelifa, Ain- defla.

**IV.3. Détermination de l'humidité**

L'humidité d'une matière englobe toutes les substances qui s'évaporent par chauffage en entraînant une perte de poids de l'échantillon. La perte de poids est mesurée par une balance et interprétée comme taux d'humidité [22]. Selon la formule 5.1. [2]

$$H (\%) = [(P_0 - P_1) / P_0] \times 100$$

(Eq.5.1)

**H (%)** : Taux d'humidité exprimé en pourcentage.

**P<sub>0</sub>**: Poids de l'échantillon avant séchage (g).

**P<sub>1</sub>**: Poids de l'échantillon après séchage (g).

**IV.3.1. Mode opératoire**

Le taux d'humidité de blé dur a été déterminé par la méthode physique en introduisant 10 g d'échantillon et placé dans une étuve réglée à 105°C à une durée de 24h. Cela pour déduire la quantité d'eau contenue dans le blé dur initialement. Les échantillons sont ensuite pesés avec précision pour obtention d'un poids constant. [23]

Cette expérience a été répétée au minimum 03 fois pour bien préciser les calculs. La valeur de l'humidité est la moyenne de trois essais.

**IV .4.Extractions de l'huile****IV.4.1.Extractions par macération**

Nous avons utilisé la macération pour l'extraction de quantité plus importante d'huile de blé dur.

La macération est la méthode d'extraction solide-liquide la plus simple .Elle consiste à la mise en contact du matériel végétal avec le solvant sans ou avec agitation, habituellement à température ambiante. L'opération bien que généralement longue et à rendement souvent médiocre, est utilisée dans le cas d'extraction de molécules thermosensibles .pour être efficace, une macération sans agitation peut durer de 4 à 10 jours environ. [24]

**IV.4.2.Avantages**

- De faibles quantités de matériel végétal sont requises
- Procédé simple d'application
- Peut être conçu à petite échelle dans un laboratoire
- Extraction efficace

**IV.4. 3. Mode opératoire**

On broie les graines par le moulin électrique, on remplit 20g de graines de blé dans un ballon, puis macération dans 200ml d'éther éthylique pendant 07 jours dans la pression atmosphérique à température ambiante. La filtration est ensuite effectuée sous vide à l'aide du papier filtre et un entonnoir. Le résidu sec est jeté [25]. Le filtrat recueilli est soumis à une séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide de Rotavapor. Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. [26]

Les opérations utilisées pour la récupération de l'huile de la graine de blé est représentée par la figure 4.1.

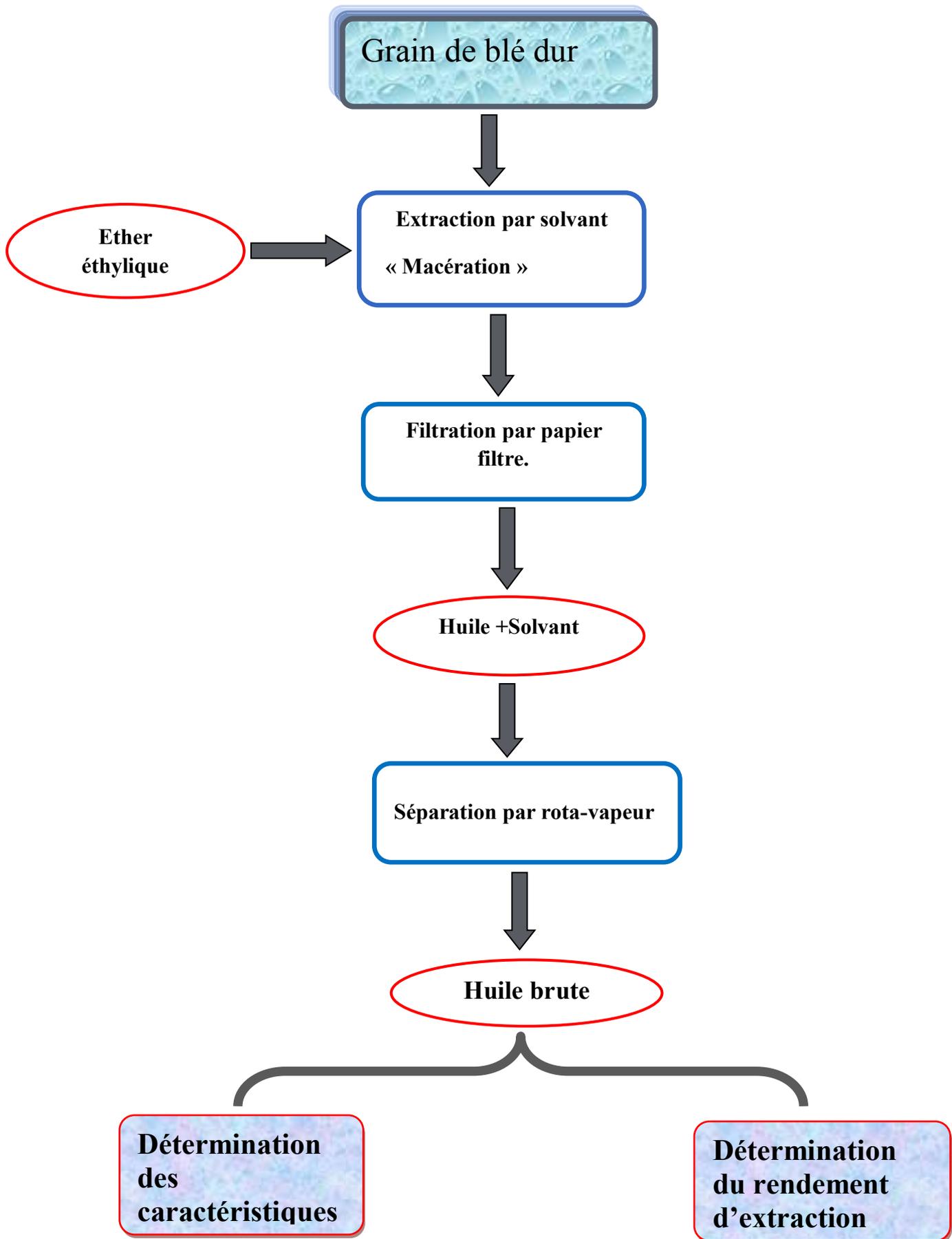


Figure 4.1. Opération pour l'extraction d'huile.

**IV.5. Détermination du rendement**

Le rendement en huile est estimé par le rapport des masses de l'huile et de la matière végétale. Il est exprimé en pourcentage. [27]

$$R(\%) = (m_E / m_{MV}) \times 100$$

(Eq.5.2)

**R(%)**:Rendement en huiles exprimé en pourcent.

**M<sub>E</sub>**: La masse d'huile obtenue.

**m<sub>MV</sub>**: La masse de la prise d'essai de matière végétale utilisée.

**IV.6. Analyses physiologiques de blé dur****IV.6.1. Test de germination**

La germination c'est l'ensemble des phénomènes par lesquels, la plantule, en vie ralentie dans les graines, reprend une vie active et se développe. Au cours de la germination, les protéines de réserves stockées dans l'albumen sont mobilisées pour assurer l'alimentation de la plantule, cette mobilisation pourrait être facilitée par la thiorédoxine qui est capable de mobiliser l'azote des protéines du gluten en réduisant les liaisons disulfures des gliadines et des gluténines.

**IV.6.1. 1. Mode opératoire**

On introduit dans une boîte de pétri une petite quantité de coton, puis onensemence 25graines de blé dur on ajoute 10ml d'eau pendant 7 jours. On laisse la boîte de pétri à l'air libre.

Le pourcentage de germination est exprimé par le pourcentage des graines germées par rapport au nombre total des graines par boîte pétrie. [2]

$$G = (N / NO) \times 100$$

(Eq.5.6)

D'où :

**N**: le nombre de grains germés en 7 jours.

**NO** : le nombre de graines utilisées pour chaque essai.

**IV.7. Analyses physico-chimiques**

Nous avons déterminé quelques indices chimiques qui caractérisent les matières grasses, nous avons utilisé les normes Codex. Ces indices permettent de faire quelques estimations sur les masses moléculaires moyennes des acides gras et des triglycérides déterminés par l'indice de saponification (I.S), sur la teneur en acides gras libres par la détermination de l'indice d'acide (I.A), et quelques caractéristiques physiques tels que l'indice de réfraction et la densité.

**IV.7.1. Propriétés physiques****IV.7.1.1. Indice de réfraction**

L'indice de réfraction  $n_{\lambda}$  se définit comme étant le rapport entre le sinus de l'angle de réfraction du rayon réfracté dans le milieu considéré.

Cet indice est mesuré à 20 °C et rapporté à la raie D du sodium ( $\lambda=589\text{nm}$ ).

**IV.7.1.1.1. Mode opératoire**

Nous avons utilisé un réfractomètre étalonné à l'aide d'une substance d'indice de réfraction connu à la température fixée à 20 °C. Ensuite on nettoie les prismes et on dépose quelques gouttes d'huile entre les deux faces de prismes et on regarde dans l'oculaire et on règle le bouton de réglage de l'indice de réfraction pour amener les zones sombres et éclairées au centre du réticule. puis on lit la valeur de l'indice par l'échelle de lecture. [28]

**IV.7.1.2. Densité relative**

La densité d'huile est déterminée par le rapport entre la masse d'un certain volume d'huile et la masse du même volume d'eau distillée pris à la même température.

**IV.7.1.2.1. Mode opératoire**

On prend un volume de 2ml pour chaque huile, ainsi que pour l'eau distillée et on pèse. [28]

## IV.7.2. Propriétés chimique

### IV.7.2.1. Détermination du pH

Le pH « potentiel hydrogène » mesure l'activité chimique des ions hydrogènes  $H^+$  en solution. Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Cette méthode décrit l'acidité ionique du produit à analyser, son principe consiste à introduire l'électrode du pH-mètre dans le produit après le réglage de la température d'étalonnage. La lecture se fait directement sur le pH-mètre. [28]

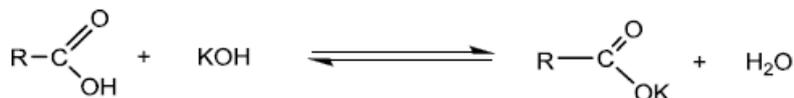
#### IV.7.2.1.1. Mode opératoire

Après l'étalonnage on met l'électrode dans un bécher qui contient l'huile de soja, et on détermine la valeur fixée.

### IV.7.2.2. Indice d'acide

L'indice d'acide exprime le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire à la neutralisation des acides libres présents dans 1 g de substance. [29]

L'hydroxyde de potassium réagit avec l'acide selon la réaction suivant :



#### IV.7.2.2.1. Mode opératoire

On introduit 0.5g de l'échantillon d'huile de blé dans le bécher propre et sec, on ajoute 5ml d'éthanol et 4 goutte d'indicateur coloré ( phénolphthaléine) puis neutralisation de la solution obtenue avec KOH (on prépare une solution de 0.1 N dans éthanol) à l'aide de la burette, puis neutralisation goutte à goutte de KOH si la couleur de la solution est varié on arrête le titrage.

En fin de titrage lire le volume de KOH consommé pour le calcul de l'indice d'acide de la relation suivante. [28]

$$I_A = (56.1 \times N \times V) \div m$$

(Eq.5.3)

$I_A$  : indice d'acide.

$N$  : concentration en mol /L de la solution de KOH.

$V$  : volume en ml de la solution de KOH utilisé pour le titrage.

$m$  : masse en g de la prise d'essai d huiles.

$56,1$  : masse molaire de KOH.

### IV.7.2.3. Indice d'ester

L'indice d'ester est le nombre de mg d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides libérés par hydrolyse en milieu basique des esters contenus dans 1g de huile .



#### IV.7.2.3.1. Mode opératoire

Dans un ballon, on introduit la solution précédente de la détermination de l'indice d'acide on ajoute 25 ml de la solution d'hydroxyde de potassium (0.5N).On adapte le tube en verre ou un réfrigérant et on place le ballon sur le bain d'eau bouillant et on l'y laisse pendant 1 h. Après refroidissement de la solution, On ajoute 20ml d'eau distillée et 5 gouttes de phénolphtaléine. On titre l'excès d'hydroxyde de potassium avec la solution d'acide chlorhydrique (0.5N) jusqu'à la disparition de la couleur rose.

On effectue un essai à blanc dans les mêmes conditions (En éliminant l'huile).En fin de titrage puis on lit le volume d'HCl consommé pour le calcul de l'indice d'ester de la relation 5.4. [28]

$$I_E = [(28.05 \times (v_0 - v_1)) \div m] - I_A$$

(Eq.5.4)

$v_0$ : volume en ml de la solution d'acide chlorhydrique (0.1N) utilisé pour l'essai à blanc

$v_1$ : volume en ml de la solution d'acide chlorhydrique (0.1N).

$m$  : la masse en g de la prise d'essai.

$I_A$  : la valeur de l'indice d'acide déterminée

#### IV.7.2.4. Indice de saponification

L'indice de saponification est le nombre de milligramme d'hydroxyde de potassium nécessaire pour saponifier un gramme de l'huile végétale [30]. Il est calculé par la relation suivante. [28]

$$\mathbf{I_E = I_S - I_A \longrightarrow I_S = I_E + I_A} \quad (\text{Eq.5.5})$$

#### IV.8. Analyse biochimique

Nous avons utilisé un appareil " InfratecFoss1241" utilisant le proche infrarouge pour déterminé l'humidité, la teneur en protéine et l'amidon de grain de blé dur.

Le principe de mesure repose sur le fait que ces constituants tels que l'humidité, les protéines et l'amidon absorbent le rayonnement électromagnétique dans le domaine spectral du proche infrarouge.

##### IV .8.1.Teneur en protéine

La teneur en protéines de blé dur est un critère très important qui influe fortement sur la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et avec la qualité culinaire des produits de transformation.

##### IV.8.1.1.Mode opératoire

La teneur en protéine totale a été déterminée par l'Infratec 1241(appareil utilisant le proche infrarouge). Il suffit de verser 500g d'échantillon dans la trémie, d'appuyer sur la touche « analyse », et le résultat s'affiche en moins d'une minute. Il est possible d'analyser différents types d'échantillon, par une simple sélection préalable. L'instrument assure automatiquement tous les réglages nécessaires et le rendement. [15]

##### IV.8.2.Tenure en amidon

L'analyse de la teneur en amidon présente un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source de glucides importante dans l'alimentation et un intérêt réglementaire dans le but de contrôler la pureté des amidons industriels.

**IV.8.2.1.Mode opératoire**

La teneur en amidon totale a été déterminée par l'Infratec 1241 (appareil utilisant le proche infrarouge). l'utilisation de 500 grammes pour chaque échantillon de blé dur.

**IV.9.Analyse chromatographique**

La chromatographie en phase gazeuse CPG est une méthode d'analyse qui s'applique aux composés susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. C'est la technique la plus utilisée dans le domaine des huiles. Car elle permet d'effectuer l'individualisation des constituants à partir d'échantillon de l'ordre de milligramme voire du microgramme. Les progrès technologiques réalisés dans les domaines des colonnes capillaires des phases stationnaires et des détecteurs (FID) ont contribué à rendre la CPG incontournable pour l'analyse des huiles. La phase stationnaire dans la colonne peut être solide ou liquide.

Chaque constituant est caractérisé par des indices calculés à partir d'une gamme d'alcane ou plus rarement d'esters méthyliques linéaires, température augmentée (indice de Kovats) ou en programmation de température (indice de rétention) le temps de rétention bien que spécifique d'un composé, ont tendance à varier d'une analyse à l'autre.

Le produit à été analysé est introduit dans l'injecteur. il est volatilisé et entraîné par un gaz vecteur ( $N_2$ ,  $H_2$ , He ou un mélange de  $H_2/N_2$ ). le mélange traverse une colonne où s'effectue une opération entre les différents constituants. à la suite, ils sont captés par un détecteur.

Une gamme de pics caractérisés par leurs temps de rétention et leurs surfaces, permettent ainsi de déterminer l'identité et le pourcentage de chaque constituant. les substances séparées sont affichées sur le chromatogramme. [28]

## IV.10. Séchage par micro-ondes de blé dur

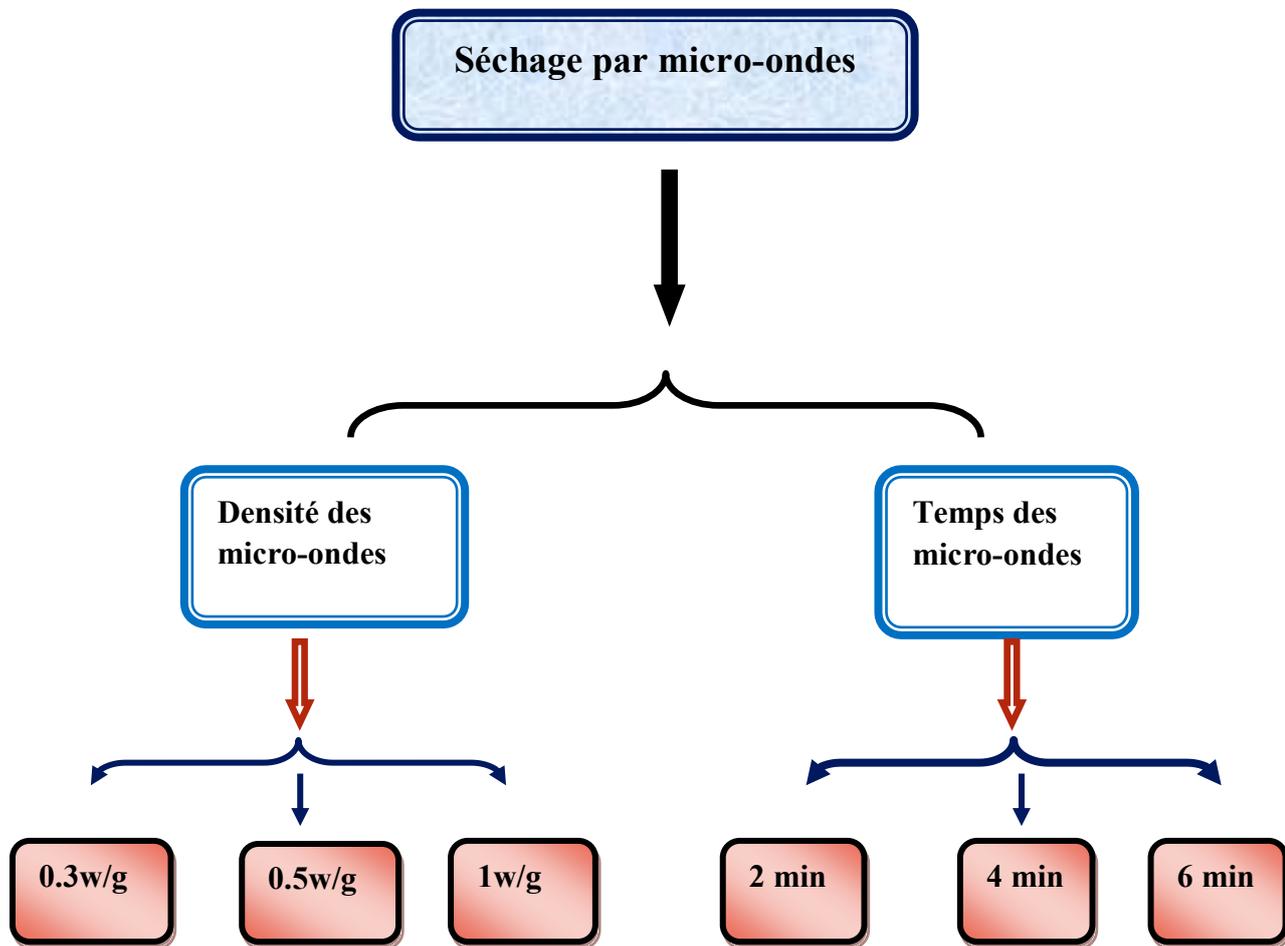


Figure 4.2. Séchage par micro-ondes.

**IV.11. Test de détermination de puissance absorbé réel et densité de la puissance de Microonde**

Verser l'eau dans deux bécher (chacun 1000 ml). Mesurer la température initiale de l'eau dans chaque bécher. Placer les deux bécher côte à côte dans la cavité du four et mettre ce dernier en fonctionnement de puissance (100 ,180 et 300 w) après deux minutes mesure la température finale de l'eau .

La valeur de la puissance absorbée est alors calculée par la formule suivante. [31]

$$P = 35X(\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

(Eq.5.7)

Où:

**P** : est la puissance absorbée du four micro-ondes (Watts).

$\Delta T_1$  et  $\Delta T_2$  : sont les différences de température des deux récipients respectivement (°C).

La puissance absorbée du four MO= densité ×masse des grains

Où:

Densité =La puissance absorbée du four MO / masse des grains

#### IV.12. Etude les propriétés de Blé dur après séchage

Après séchage de blé dur, nous avons procédé à l'étude des lipides, protéines, amidon ainsi que l'étude qualitative et quantitative des acides gras. Afin d'étudier l'influence de la densité sur la qualité nutritionnelle et la faculté germinative de blé.

# Chapitre V

## Résultats et discussions

Après toute une série de tests par microondes a différentes conditions de séchage de densité des microondes allant de 0,3 à 1W/g et a des temps de séchage de 2 à 6minutes. Des tests de germination avant et après le séchage vont être réalisés dans cette section, pour étudier l'influence des radiations microondes sur la faculté germinative de deux variétés du blé dur algérien et la qualité nutritionnelle de l'huile du blé extraite des deux variétés ainsi étudiées.

## V.1. Taux d'humidité des graines

La teneur en eau des grains est le premier facteur influençant leur stockage. Pour assurer une bonne conservation, la teneur en eau doit être comprise entre un minimum de 10 à et un maximum de 19% tableau.5.1-a. Les résultats de l'humidité des grains de blé obtenu après le séchage par microonde à différentes conditions de séchage est mentionné au tableau 5.1-b.

**Tableau 5 .1-a** Humidité des graines de blé dur. [32]

Température (°C)	Humidité Relative (%)										
	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
-2	11.6	12.2	12.8	13.4	14.0	14.7	15.4	16.2	17.0	18.0	19.2
2	11.4	12.0	12.6	13.2	13.8	14.5	15.2	15.9	16.8	17.8	19.0
5	11.1	11.8	12.4	13.0	13.6	14.3	15.0	15.7	16.6	17.6	18.8
8	10.9	11.5	12.1	12.8	13.4	14.1	14.8	15.5	16.4	17.4	18.6
10	10.7	11.3	11.9	12.6	13.2	13.9	14.6	15.3	16.2	17.2	18.4
13	10.5	11.1	11.7	12.4	13.0	13.7	14.4	15.2	16.0	17.0	18.3
15	10.3	10.9	11.6	12.2	12.8	13.5	14.2	15.0	15.9	16.9	18.1
18	10.1	10.8	11.4	12.0	12.6	13.3	14.0	14.8	15.7	16.7	17.9
22	10.0	10.6	11.2	11.8	12.5	13.2	13.9	14.7	15.5	16.6	17.8
26	9.8	10.4	11.0	11.7	12.3	13.0	13.7	14.5	15.4	16.4	17.6
28	9.6	10.2	10.9	11.5	12.1	12.8	13.6	14.4	15.2	16.3	17.5

Tableau 5 .1-b Humidité des graines de blé dur algérien.

Types de graines	Bousseleme	Siméto
Humidité (%)	13.21	12.51

On remarque que les différentes valeurs d’humidités enregistrées sont environ les mêmes pour les deux variétés de 12.51 et 13.21%. Donc, toutes les variétés sont conformes aux normes d’humidités pour le blé dur Algérien (figure 5.1)

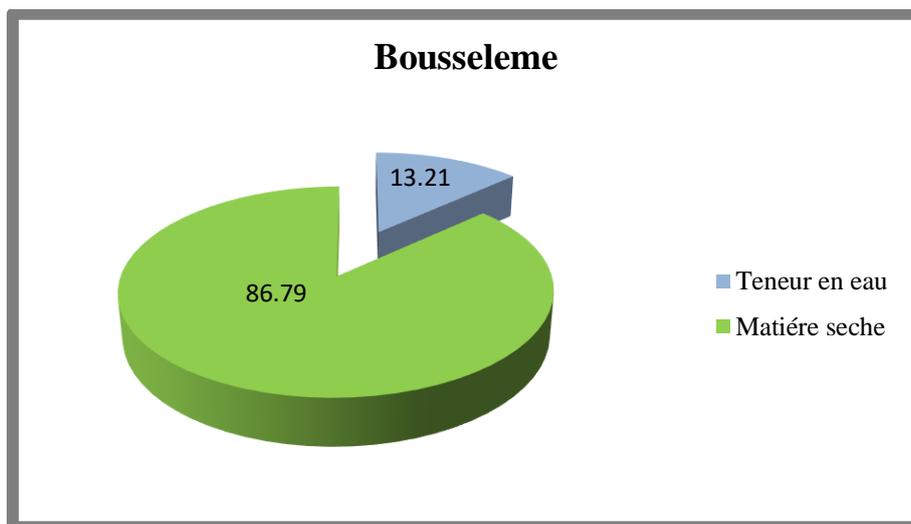


Figure 5.1. Teneur en eau de la variété Bousseleme.

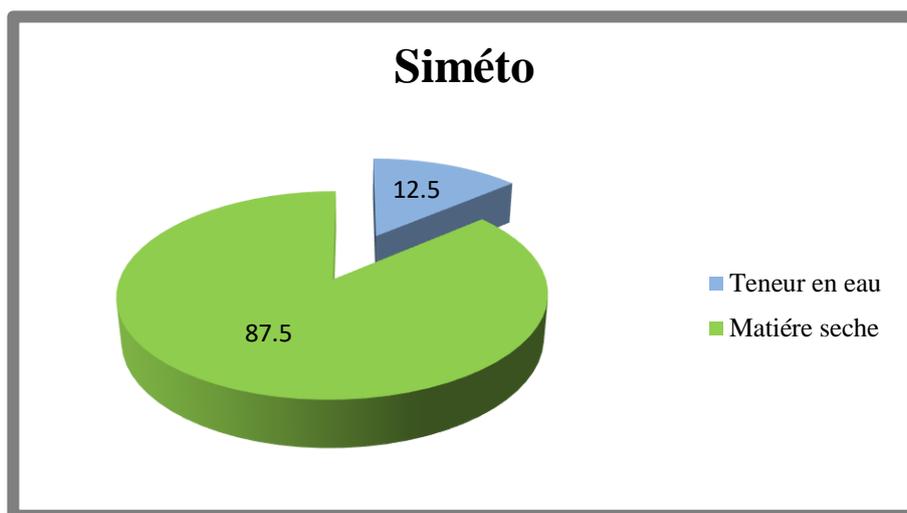
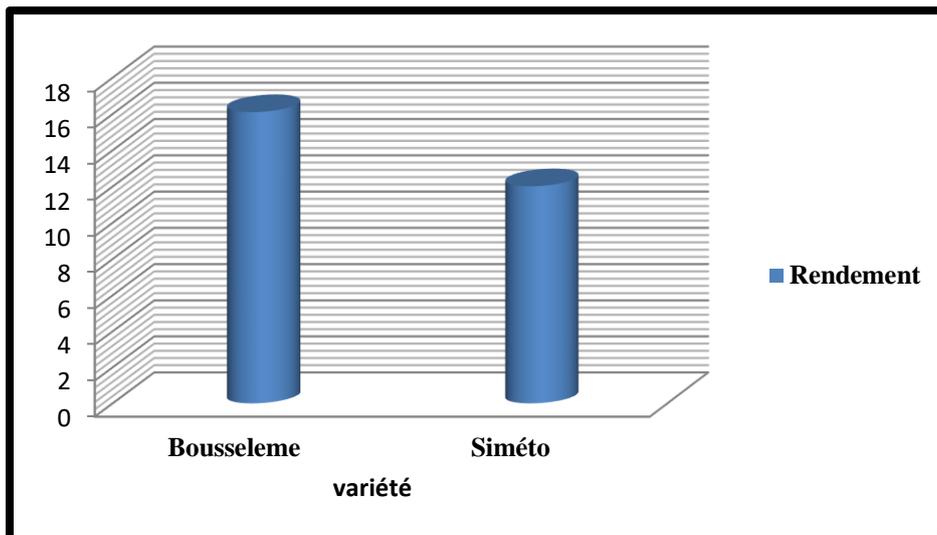


Figure 5.2. Teneur en eau de variété Siméto.

## V.2. Résultats d'extraction d'huile

### V.2.1. Rendement en huile

Le rendement est la quantité maximale d'huile que fournit une masse végétale des deux variétés de blé dur pendant une période donnée. La première variété (Bousseleme) a enregistré un rendement de 16.1% relativement élevés par rapport à la deuxième variété (Siméto) 12.%.



**Figure5.3.**Rendement en huile pour les deux variétés.

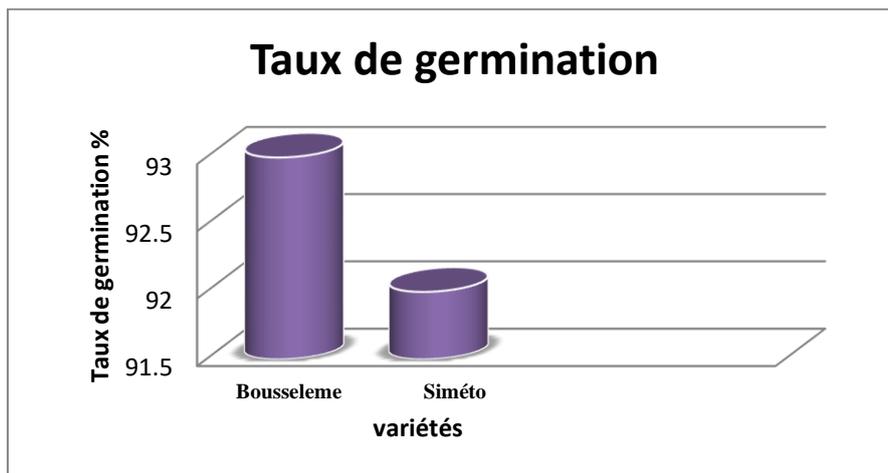
## V.3.Résultats d'analyse physiologique

Les résultats des tests de germinations des deux variétés du blé dur sont mentionnés dans le tableau 5.2.

**Tableau 5. 2 .**Résultats des tests de germinations

Type de grain	Bousseleme	Siméto
Taux de germination	93%	92%

Le test de germination pour les deux variétés a révélé un taux de germination de la première variété « Bousseleme » 93%, et 92 % pour la deuxième variété « Siméto ». Donc les deux variétés donnent un résultat supérieur à 90% qui semble très acceptable et explique que ces variétés sont de bonnes qualités. La figure 5.4 représente le taux de germination de deux variétés étudiées.



**Figure 5.4.** Taux de germination des deux variétés étudiées.

#### V.4. Résultats de l'analyse physico-chimique de l'huile de blé dur

Pour la caractérisation physico-chimique des huiles extraites par macération on a procédé au calcul des indices d'acide, l'indice d'ester, l'indice de réfraction, pH, densité et l'indice de saponification qui constituent une moyenne de vérification et de contrôle de la qualité des huiles.

Les résultats des analyses physico-chimiques d'huile de blé dur sont mentionnés dans le tableau 5.3.

Tableau 5.3. Paramètres physico- chimique d'huile du blé dur.

Huile	Bousseleme	Siméto	Norme codex
<b>Indice de réfraction</b>	1.477	1.475	1.474-1.478
<b>Densité</b>	0.761	0.732	0.924-0.931
<b>pH</b>	4.486	4.400	-
<b>Indice d'acide(IA) (mg KOH/g d'huile)</b>	0.078	0.074	-
<b>Indice d'ester (I<sub>E</sub>) (mg KOH/g d'huile)</b>	0.614	0.505	-
<b>Indice de saponification (I<sub>S</sub>) (mg KOH/g d'huile)</b>	0.692	0.579	-

➤ *L'indice de réfraction*

L'indice de réfraction prélevé à 20°C de l'huile du blé dur des deux variétés (Bousseleme et Siméto) a des indices identiques de 1.477 ,1.475 respectivement ; ces valeurs sont conformes aux normes.

➤ *pH*

Le pH de l'huile du blé dur des deux variétés Bousseleme et Siméto donne une valeur de 4.48et 4.40 respectivement. Donc le pH est légèrement acide (pH<7). Il convient de souligner que le pH joue un rôle déterminant au cours des réactions chimiques et biochimiques et peut influencer les propriétés stabilisatrices d'une huile qui joue le rôle de conservateurs dans les produits alimentaires.

## ➤ *L'indice d'acide*

L'indice d'acide indique le comportement et la quantité des acides libres présents dans l'huile extraite. L'indice d'acide de l'huile du blé dur de la première variété « Bousseleme » est de 0.078 et la deuxième variété « Siméto » est de 0.074.

## ➤ *Indice d'ester*

L'indice d'ester de l'huile du blé dur de la variété « Bousseleme » et « Siméto » a donné une valeur de 0.614 et 0.505 respectivement.

## ➤ *Densité*

La densité de l'huile du blé dur des deux variétés Bousseleme et Siméto a enregistré une valeur de 0.761 et 0.732 respectivement. Ces valeurs sont inférieures aux normes

## ➤ *L'indice de saponification*

Les résultats de l'indice de saponification du blé dur des deux variétés Bousseleme et Siméto ont enregistré des valeurs de 0.692 et 0.579 respectivement.

## V.5. Résultats d'analyse biochimique du blé dur

Les résultats obtenus pour ces paramètres sont représentés dans le tableau 5.4.

**Tableau 5.4.** Résultats de l'analyse biochimique du blé dur.

<b>Blé dur</b>	<b>Bousseleme</b>	<b>Siméto</b>	<b>Norme codex</b>
<b>Teneur en protéine</b>	17.40%	17.50%	12-15
<b>Teneur en amidon</b>	61.90%	61.60%	60-72%

D'après les valeurs enregistrées dans le tableau 5.4, la teneur en protéine des deux variétés est supérieure à la norme. Ceci est lié aux facteurs pédoclimatiques, la nature du sol, la variété, le stade de floraison et la fertilisation.

Pour la teneur en amidon nous avons remarqué que ce soit pour la variété Bousseleme ou Siméto, que la teneur en amidon est située entre 60 à 72%. Toutefois, la variété Bousseleme présente des teneurs en amidon légèrement plus élevées que celles de la variété Siméto.

**V.6. Résultats et discussion du séchage par microonde**

**V.6.1. Résultats des tests de détermination de puissance absorbée réelle et de densité de la microonde**

**Tableau .5.5 .** Puissance absorbée réelle et de densité de puissance de la microonde (MO).

<b>P(W)</b>	<b>T<sub>i1</sub></b> (°C)	<b>T<sub>f2</sub></b> (°C)	<b>∇T<sub>1</sub></b> (°C)	<b>T<sub>i1</sub></b> (°C)	<b>T<sub>f2</sub></b> (°C)	<b>∇T<sub>2</sub></b> (°C)	<b>P</b> <b>réelle</b> <b>(W)</b>
<b>100</b>	24	25	1	24	24.9	0.9	66.5
<b>180</b>	24	26	2	24	25.9	1.9	136.5
<b>300</b>	24	27.8	3.8	24	27.9	3.9	269.5

D'après les résultats mentionnés, on remarque que la puissance qui doit être utilisée durant le séchage du blé est celle de 100W car la puissance absorbée réelle enregistrée est de 65Wne cause pas des dommages des semences, et la preuve les taux de germinations élevé s'enregistre sa cette puissance.

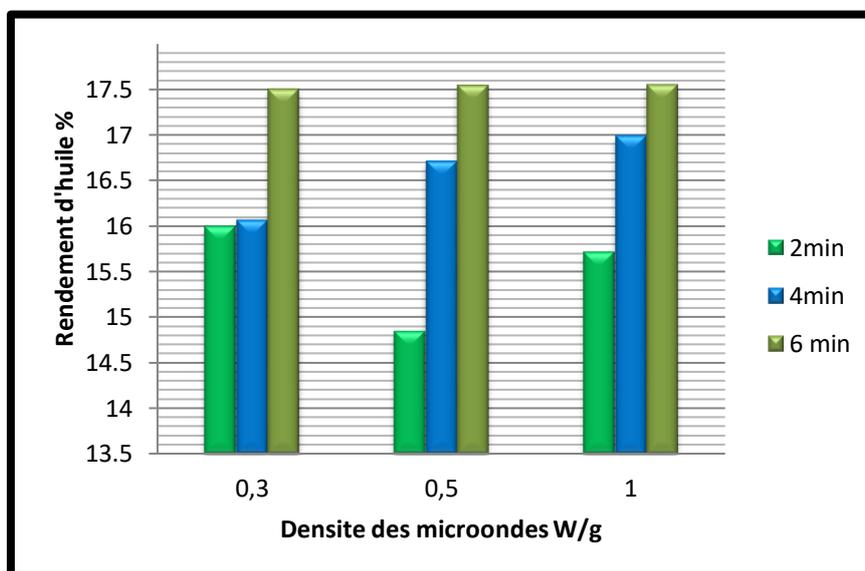
**V.6.2. Résultat d'extraction de l'huile après les tests de séchage par MO**

**V.6.2.1. Rendement en huile**

Les résultats de rendement des huiles fonction de la masse végétale « Bousseleme et Siméto » sont représentés dans les tableaux (6 et 7) du présent chapitre, et sur les figures (5et 6) ci-après.

**Tableau 5.6.** Rendement en huiles végétales du blé dur « Bousseleme » après le séchage fonction de la matière végétale.

Paramètres de séchage		Masse de la matière végétale en (g)	Masse d'huile en (g)	Rendement d'huile en (%)
Densité w/g	Temps min			
0,3	2	20	3.199	15.99
	4	20	3.212	16.06
	6	20	3.501	17.50
0,5	2	20	2.970	14.85
	4	20	3.342	16.71
	6	20	3.509	17.54
1	2	20	3.142	15.71
	4	20	3.398	16.99
	6	20	3.510	17.55

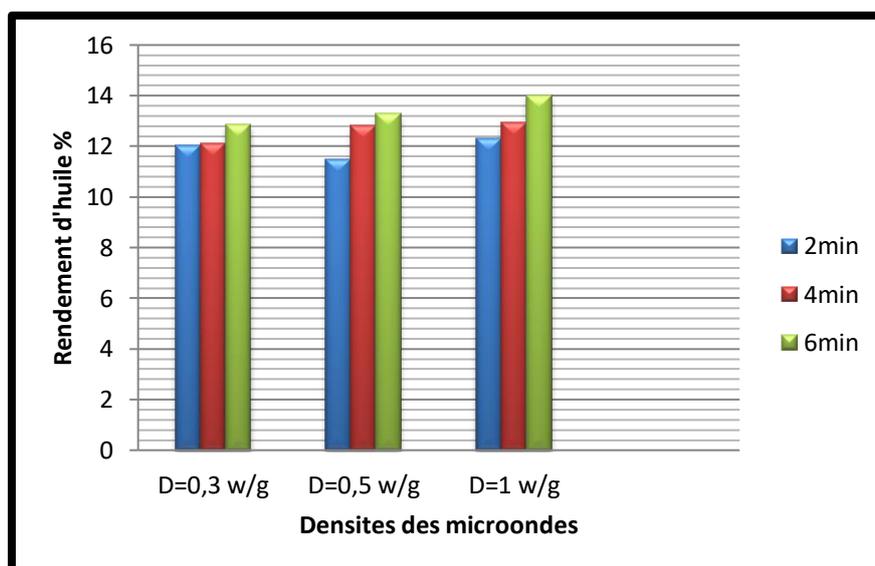


**Figure 5. 5.** Rendement en huile pour la variété Bousseleme.

On a remarqué que le rendement des deux variétés augmente fonction du temps d'exposition aux microondes. La densité de 0.3w/g et le temps 4 minutes est le meilleur cas pour l'obtention d'un bon rendement de l'huile.

**Tableau 5.7.** Rendement en huiles végétales du blé dur « Siméto » après le séchage fonction de la matière végétale.

Paramètres de séchage		Masse de matière végétale en (g)	Masse d'huile en (g)	Rendement d'huile en (%)
Densité W/g	Temps min			
0,3	2	20	2.409	12.04
	4	20	2.419	12.09
	6	20	2.5701	12.85
0,5	2	20	2.2949	11.47
	4	20	2.5688	12.84
	6	20	2.6563	13.28
1	2	20	2.4617	12.30
	4	20	2.5902	12.95
	6	20	2.8025	14.01



**Figure 5.6.** Rendement en huile pour la variété Siméto.

D'après les résultats mentionnés au tableau 5.7 on a observé que le rendement de l'huile du blé dur obtenue par macération après séchage augmente avec l'augmentation de densité des microondes et en augmentant le temps d'exposition aux microondes.

La variation du rendement est influencée par les paramètres de séchage. D'après les résultats ainsi obtenus on remarque que la densité de 0.3 w/g et le temps de 4minutes donnent un bon rendement (12.09 %).

### V.6.3. Résultats de l'analyse physiologique du blé dur après le séchage

**Tableau 5.8.**Résultats des tests de germination.

Paramètres de séchage		Taux de germination	
Densité w/g	Temps min	Bousseleme	Siméto
0.3	2	100	90
	4	92	88
	6	76	56
0.5	2	98	92
	4	80	80
	6	70	67
1	2	100	89
	4	88	84
	6	80	64

Le taux de germination de la variété « Bousseleme» et « Siméto » diminue fonction du temps de séchage par microonde lorsque en augmentant la densité des microondes.

Le grain de blé qui induit une forte germination à une densité de 0.3 w /g avec un temps de 4minutes (92% pour la variété Bousseleme et 88% pour le Siméto).Cependant, la modification de la densité ne réduit pas le taux de germination à une valeur inférieure à 50%.Le taux de germination est représenté sur la figure ci-dessous:

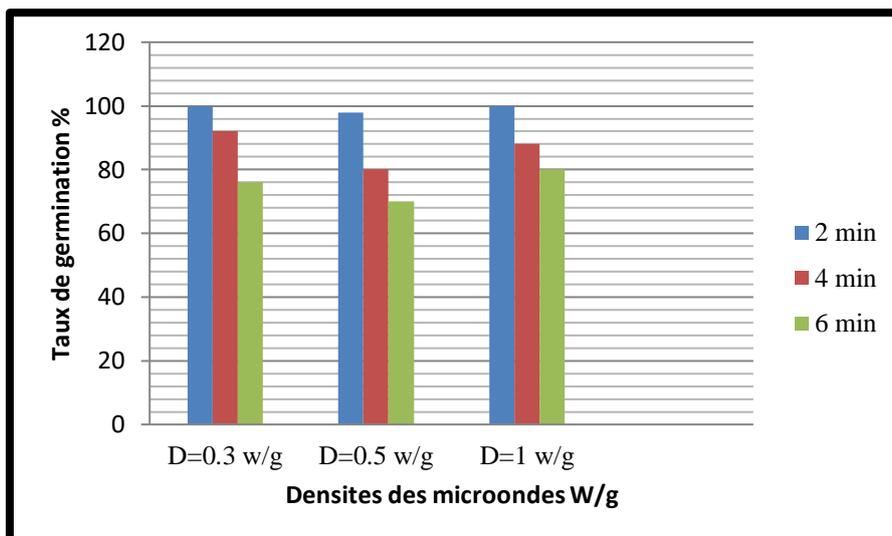


Figure 5. 7. Taux de germination du blé dur de la variété Bousseleme.

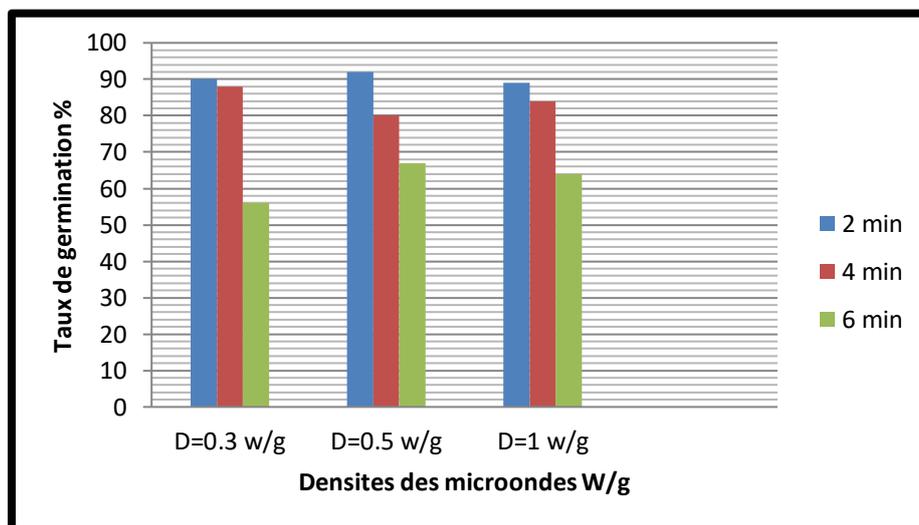


Figure 5. 8. Taux de germination du blé dur de la variété Siméto.

#### V.6.4. Résultats de l'analyse physico-chimique du blé dur après le séchage par MO

Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'huile du blé dur des deux variétés après un séchage par microondes a différentes conditions de séchage sont mentionnés dans les tableaux (5.9 et 5.10).

Tableau 5. 9. Paramètres physico-chimiques des huiles de blé dur de variété Bousseleme.

Les paramètres de séchage		Propriétés chimique				Propriétés physique	
		Les indices			pH	I <sub>R</sub>	Densité
		I <sub>A</sub>	I <sub>E</sub>	I <sub>S</sub>			
D=0.3w/g	2 min	0.075	0.595	0.670	5.359	1.476	0.885
	4 min	0.078	0.620	0.698	5.462	1.478	0.923
	6 min	0.081	0.641	0.722	5.652	1.488	0.956
D=0.5w /g	2 min	0.077	0.611	0.688	5.371	1.477	0.875
	4 min	0.081	0.629	0.710	5.481	1.480	0.912
	6 min	0.088	0.650	0.738	5.662	1.490	0.937
D=1w/g	2 min	0.078	0.640	0.718	5.393	1.478	0.859
	4 min	0.084	0.670	0.754	5.414	1.485	0.899
	6 min	0.090	0.691	0.781	5.548	1.493	0.914

Tableau 5.10. Paramètres physico-chimiques des huiles de blé dur de variété Siméto.

Les paramètres de séchage		Propriétés chimique				Propriétés physique	
		Les indices			pH	I <sub>R</sub>	Densité
		I <sub>A</sub>	I <sub>E</sub>	I <sub>S</sub>			
D=0.3w/g	2 min	0.072	0.494	0.566	5.372	1.475	0.870
	4 min	0.075	0.525	0.600	5.573	1.477	0.921
	6 min	0.077	0.556	0.633	5.776	1.489	0.944
D=0.5w /g	2 min	0.074	0.503	0.577	5.405	1.479	0.860
	4 min	0.077	0.528	0.605	5.637	1.480	0.907
	6 min	0.079	0.560	0.639	5.775	1.493	0.913
D=1w/g	2 min	0.078	0.533	0.611	5.452	1.476	0.849
	4 min	0.081	0.541	0.622	5.587	1.488	0.895
	6 min	0.088	0.562	0.650	5.761	1.492	0.915

Pour la caractérisation physico-chimique de l'huile extraite par macération de blé dur après séchage, on a procédé au calcul des indices, pH et densité. On remarque que la valeur de ces indices, pH, et densité augmente avec l'augmentation des paramètres de séchage. D'après les résultats obtenus nous remarquons que certains valeurs de ces indices pour l'huile de ces variétés sont plus élevée sa la densité 0.3w/g à un temps 4min.

### V.6.5. Résultats d'analyses biochimiques de blé dur après séchage

Les résultats de l'analyse biochimiques du blé dur après le séchage sont illustrés dans le tableau 5.11.

**Tableau 5.11.** Teneur en eau après séchage.

Paramètres de séchage		Humidité de variété « Bousseleme »	Humidités de variétés « Siméto »
D= 0.3w/g	2min	11.50	10.60
	4min	11.70	11.30
	6min	11.30	10.50
D=0.5w/g	2min	11.40	10.50
	4min	11.40	11.30
	6min	11.10	10.30
D= 1w/g	2min	11.10	10.20
	4min	10.90	10.00
	6min	10.50	09.70

D'après les résultats mentionnés dans le tableau 5.11, on remarque que le taux d'humidité du blé dur diminue lorsqu'on augmente la densité des microondes fonction du temps d'exposition aux microondes. Donc, en déduit que le séchage par MO influe considérablement sur les grains de blé. Alors que, la réglementation impose une teneur en eau inférieure à 15% pour faciliter la conservation et d'éviter une altération de la qualité des grains traités par ce genre de séchoir.

A la densité 0.3w/g et a un temps de 4 minutes on constate que le taux d'humidité de deux variétés est très proche du résultat obtenu avant le séchage Bousseleme (11.70 %) et Siméto (11.30%).

**Tableau5.12.** Valeur de protéine de blé dur après séchage.

Paramètres de séchage		Protéine de variété « Bousseleme »	Protéine de variété « Siméto »
D= 0.3w/g	2min	16.40	14.30
	4min	17.30	17.60
	6min	16.30	14.10
D=0.5w/g	2min	16.00	13.20
	4min	17.30	17.50
	6min	16.80	13.90
D= 1w/g	2min	15.70	13.20
	4min	15.90	13.30
	6min	15.80	13.30

D'après les résultats du tableau 5.12, on constate que la teneur en protéine des deux variétés est variable lorsqu'on augmente la densité des microondes fonction du temps de séchage. La densité de 0.3w/g et un temps de 4min donne le meilleur taux de protéines de 17.30 et 17.60% pour Bousseleme et Siméto respectivement.

**Tableau 5. 13.** Teneur en amidon après le séchage.

Paramètres de séchage		Amidon de variété « Bousseleme »	Amidon de variété « Siméto »
0,3 W/g	2 min	62.00	64.10
	4	61.90	61.50
	6	62.00	64.20
0,5	2	62.00	65.10
	4	61.50	61.50
	6	61.50	60.20
1	2	62.10	65.00
	4	62.00	65.20
	6	61.90	65.40

Les résultats mentionnés dans le tableau 5.13 montrent que la teneur en amidon des deux variétés est variable selon les différentes densités (0.3, 0.5 et 1w/g) avec un temps 2min, 4min et 6 minutes de séchage.

### V.6.6. Résultats de l'analyse chromatographique du blé dur après le séchage

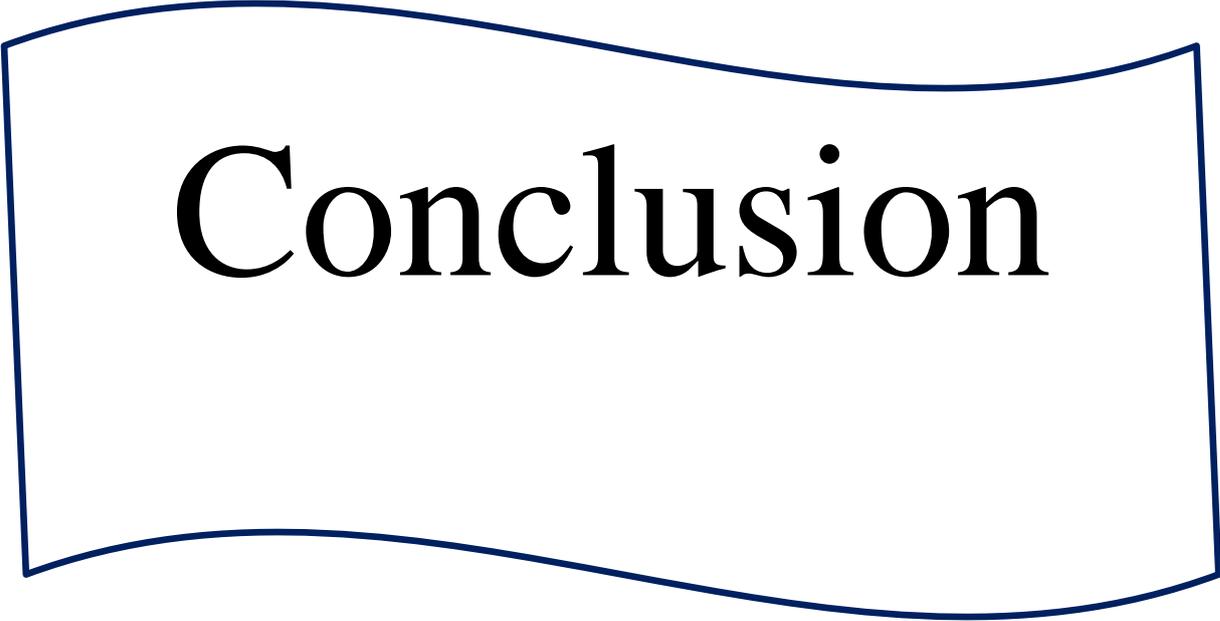
**Tableau .5.14.** Composition en acides gras du blé dur en %.

Acide gras	Dénomination	Bousseleme « Avant séchage »	Siméto « Avant séchage »	Bousseleme « Après séchage »	Siméto « Après séchage »
C16:0	Acide palmitique	16.49 %	16.84 %	10.72 %	8.38 %
C16:1 $\omega$ 7	Acide palmitoléique	0.25 %	0.28 %	11.23 %	0.28 %
C18:0	Acide stéarique	1.81 %	1.37 %	Trace	Trace
C18:1 $\omega$ 9	Acide oléique	22.92 %	21.80 %	15.32 %	10.73 %
C18:2 $\omega$ 6	Acide linoléique	54.35 %	55.09 %	24.47 %	24.21 %
C18:3 $\omega$ 3	Acide linoléinique	3.47 %	3.84 %	Trace	0.96 %
C20:0	Acide arachidique	0.53 %	0.74 %	Trace	5.13 %

D'après le tableau 5.14. Nous remarquons que le profil chromatographique présente sept acides gras pour les deux variétés de blé dur Bousseleme et Siméto. Le taux le plus élevé des acides gras sont l'acide oléique (C18:1 $\omega$ 9) 22.92% et 21.80% pour Bousseleme et Siméto respectivement, et l'acide linoléique (C18:2 $\omega$ 6) 54.35% et 55.09% pour Bousseleme et Siméto.

Après séchage par micro-onde le taux des acides gras a chuté pour l'acide oléique 15.32% et 10.73% pour Bousseleme et Siméto respectivement, ainsi que l'acide linoléique (C18:2 $\omega$ 6) 24.47 % et 24.21%.

En comparant les résultats du blé dur avant le séchage avec ceux trouvés après le séchage par MO, on remarque qu'une différence importante dans les teneurs en acides gras insaturés été enregistrée. Il a été remarqué que ces acides diminuent sensiblement après le séchage. Donc, on conclut des tests effectués sur les deux variétés du blé algérien que l'huile extraite du blé dur s'influe par les radiations microondes et par le temps d'exposition dans le four à microondes.



**Conclusion**

## Conclusion

---

D'après notre étude nous avons constaté que le séchage de blé dur à la densité 0.3w/g avec un temps 4min n'influe pas sur le taux de germination.

Les indices (indice d'acide, indice d'ester, indice de saponification) et pH augmentent après séchage lorsqu'on augmente la densité et le temps à une même puissance de 100w.

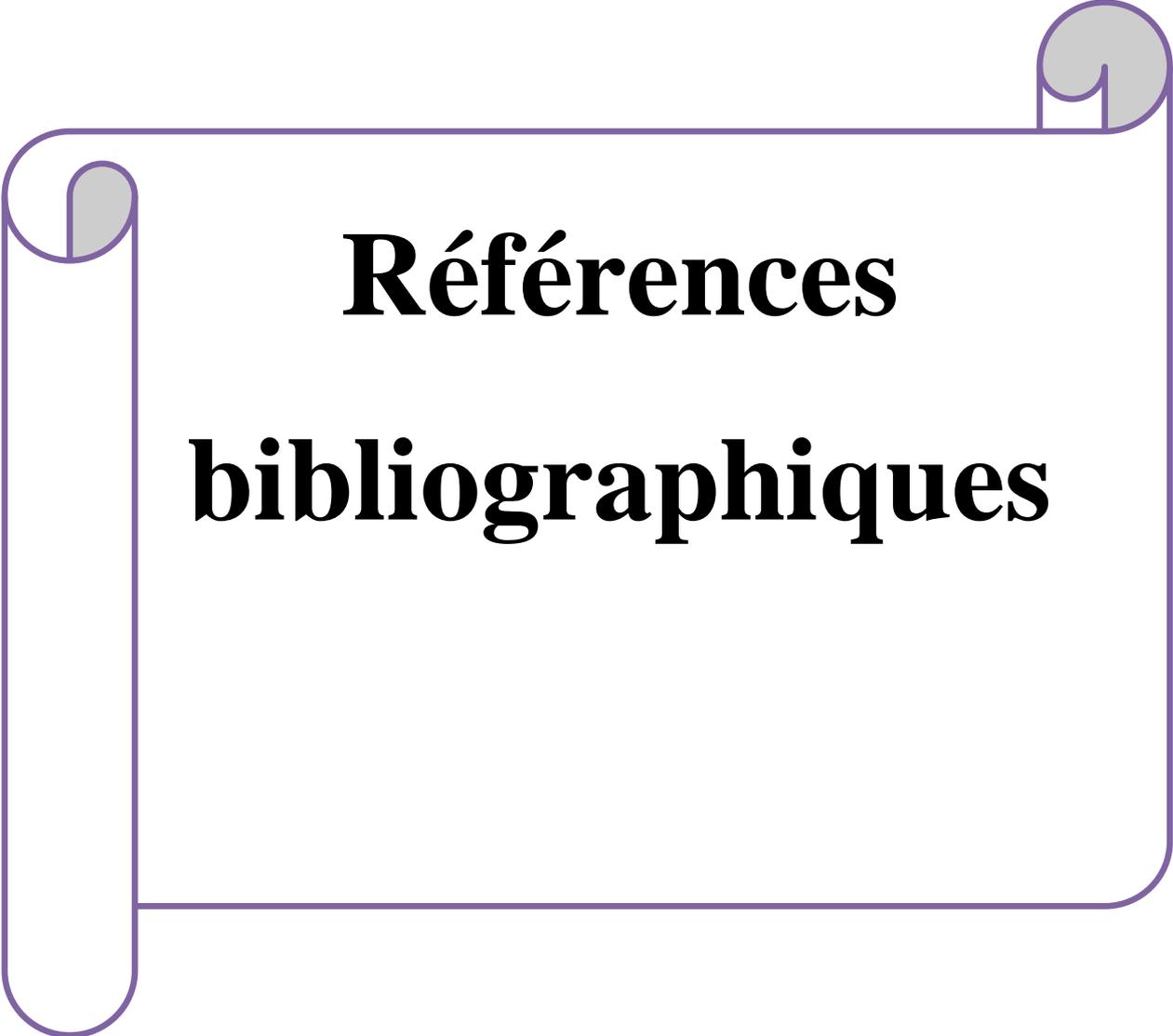
Le rendement en huile des deux variétés Bousseleme (16.06%) est plus élevé que la variété Sémito (12.09%) à la densité de 0.3w/g avec un temps 4min. Ceci s'explique que cette condition n'influe pas sur la qualité du blé.

La valeur nutritionnelle est exprimée en teneur en acides gras et le taux protéique, les résultats obtenus révèlent que l'huile des deux variétés est riche en acide linoléique C18:2 $\omega$ 6 et en acide oléique C18:1 $\omega$ 9 (54.35% et 55.09) ; (22.92 %, 21.80 %) pour Bousseleme et Sémito respectivement.

Le taux protéique du blé dur est presque le même pour les deux variétés Bousseleme 17.30% et Siméto 17.60%, ainsi que pour le taux d'amidon, Bousseleme 61.90 % et Sémito 61.50 % à la densité 0.3 w/g avec un temps 4min.

Enfin, on peut conclure que la densité 0.3w/g avec un temps 4min est la densité favorable pour faire le séchage sans influencer sur le rendement et la valeur nutritionnelle de blé dur.

Comme perspectives, cette étude doit être poursuivie sur d'autres variétés de blé dur, en variant la densité et la puissance du micro-onde pour pouvoir déterminer la densité optimale qui n'influe pas sur la valeur nutritionnelle.



# **Références bibliographiques**

## Liste des références

[1] : **MORSLI, L**, ‘‘Adaptation du blé dur (*triticum durum* Desf) dans les conditions des hautes plaines constantinoises’ thèse de doctorat, département de, université BADJI mokhtar, Annaba, 2010.

[2] : **Hennouni, N**, ‘‘Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de plantes traitées avec un fongicide’’, Thèses de doctorat, département de biologie, Université BADJI Mokhtar de Annaba, 2012.

[3] : **BONAZZI, C, et BIMBENET, J**, ‘‘ séchage des produit alimentaires’’.

[4] : **NEDJAH, I**, ‘‘Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb)’’, Thèses de doctorat, département de biologie, Université BADJI Mokhtar de Annaba, 2015.

[5] : **HACINI, N**, ‘‘Etude de l’interaction Génotype X Environnement et effet de l’origine de quelques cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sur les aptitudes adaptatives et qualitatives’’, Thèses de doctorat, département de biologie, Université BADJI Mokhtar de Annaba, 2014.

[6] : **Ait,S et Ait,K** , ‘‘ Contribution à l’étude de l’interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie’’, Thèses de doctorat, département de biologie, Université BADJI mokhtar de Annaba, ,2008.

[7] : **MAAMRI, K**, ‘‘ stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi aride’’, mémoire de magister, département d’agronomie université FERHAT Abbas Sétif, 2011.

[8] : **NADJEM, K**, ‘‘ contribution a l’étude des effets du semis direct sur l’efficience d’utilisation de l’eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride.’’,

mémoire de magister, département des sciences agronomiques, Université FERHAT Abbas Sétif, 2012.

[9] : **KADIR, N,** "Effet du cuivre sur des bactéries rhizosphériques du blé dur" mémoire de magister, département sciences biologiques, université des sciences et de la technologie HOUARI Boumediene, 2015.

[10] : **OUANZAR, S,** "Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.)", mémoire de magister, département des sciences agronomiques, université FERHAT Abbas Sétif, 2012.

[11] : **MEROUCHE, A,** "Besoins en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du Chleff", thèse de doctorat, département de hydraulique agricole, école supérieur d'agronomie, 2015.

[12] : **BOUNNECHE, H,** "Fric : technologie de fabrication et qualité" mémoire de magister, département de technologies alimentaires, université Constantine 1, 2015.

[13] : **DIB, A,** " Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé, mémoire de magister, département de technologie alimentaire, université Constantine 1, 2013.

[14]:**BENCHIKH, C,** "Valorisation de la qualité de 3 variétés locales de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Cultivées en région semi-aride" mémoire de magister, sciences agronomiques, université EL HADJ Lakhdar Batna .2015.

[15] : **EL HADEF, E,** "Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie", Mémoire de magister, Université FERHAT Abbas Sétif 1, 2015.

[16] : **BOUGHALLI, S,** "étude et optimisation du séchage solaire des produits agro-alimentaires dans les zones arides et désertiques ""thèse de doctorat, département de mécanique, université HADJ Lakhdar Batna, 2010.

[17] : **BENLAHMIDI, S,** "Etude du séchage convectif par l'énergie solaire des produits rouges", thèse de doctorat, département génie mécanique, Université Mohamed KHIDER de Biskra, 2013.

[18] : **TOM, A,**" Contribution au séchage solaire des produits carnés: modélisation et réalisation d'un séchoir adapté aux pays tropicaux", département sciences et métiers de l'Ingénieur', thèse de doctorat, École doctorale n°432, paris ,2015.

[19] : **HEMIS, M,** "Conception du modèle réduit d'un séchoir agricole en vue de l'étude du phénomène de transfert de chaleur et d'humidité des produits agricoles", thèses de doctorat, département de mécanique, université des sciences et de technologie Mohamed Boudiaf de Oran.2010.

[20]:**IBOUKHLIF, H,** "traitement des margines des huileries d'olive par les procédés d'oxydation avancée bases sur le système fenton –like ( $H_2O_2 /Cu$ )"département de chimie université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2014.

[21] :**CHEMAT ,F et E. LUCCHESI Marie,**" Extractions assistées par micro-ondes des huiles essentielles et des extraits aromatiques", J. Soc. Ouest-Afr. Chim. 020, 2005, p 77-99.

[22] :**Mariana Royer, Ph.D. Robert Houde, M.Sci,** potentiel de développement lié aux extractibles : état des connaissances et revue des marchés, p 33-35,2010.

[23] : **LABDELLI, A,**" étude des effets des variations morfo-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*triticum durum*desf.) ", Mémoire de magister, département de biologie, université d'Oron ,2011.

[24] : **LEANDRO GALVAN, D,**"Eco-procédés pour la récupération sélective d'antioxydants à partir d'aronia melanocarpa et ses Co- produits", Thèses de doctorat, département de science et technologie, Université de Lille « France » ,2013.

[25] : **KEMASSI, A,** " Toxicité comparée des extraits d'*Euphorbia guyoniana* (Stapf.) (Euphorbiaceae), *Cleome arabica* L. (Capparidaceae) et de *Capparis spinosa* L.

(Capparidaceae) récoltés de la région de Ghardaïa (Sahara septentrional) sur les larves du cinquième stade et les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Cyrtacanthacridinae)”, Thèses de doctorat, département des sciences biologiques, Université KASDI Merbah- Ouargla, 2014.

[26] : **Petko Ivanov PENCHEV**,” Étude des procédés d’extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions ‘thèse de doctorat, département de mécanique, énergétique, génie civil, Procédés (MEGeP),l’université de Toulouse ,2010.

[27] : **BOUSBIA, N**,” Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants a partir de produits naturels et de co-produits Agroalimentaires”, thèse de doctorat, département de sciences des procédés et sciences des aliments” université d’Avignon et des pays de Vaucluse, 2011.

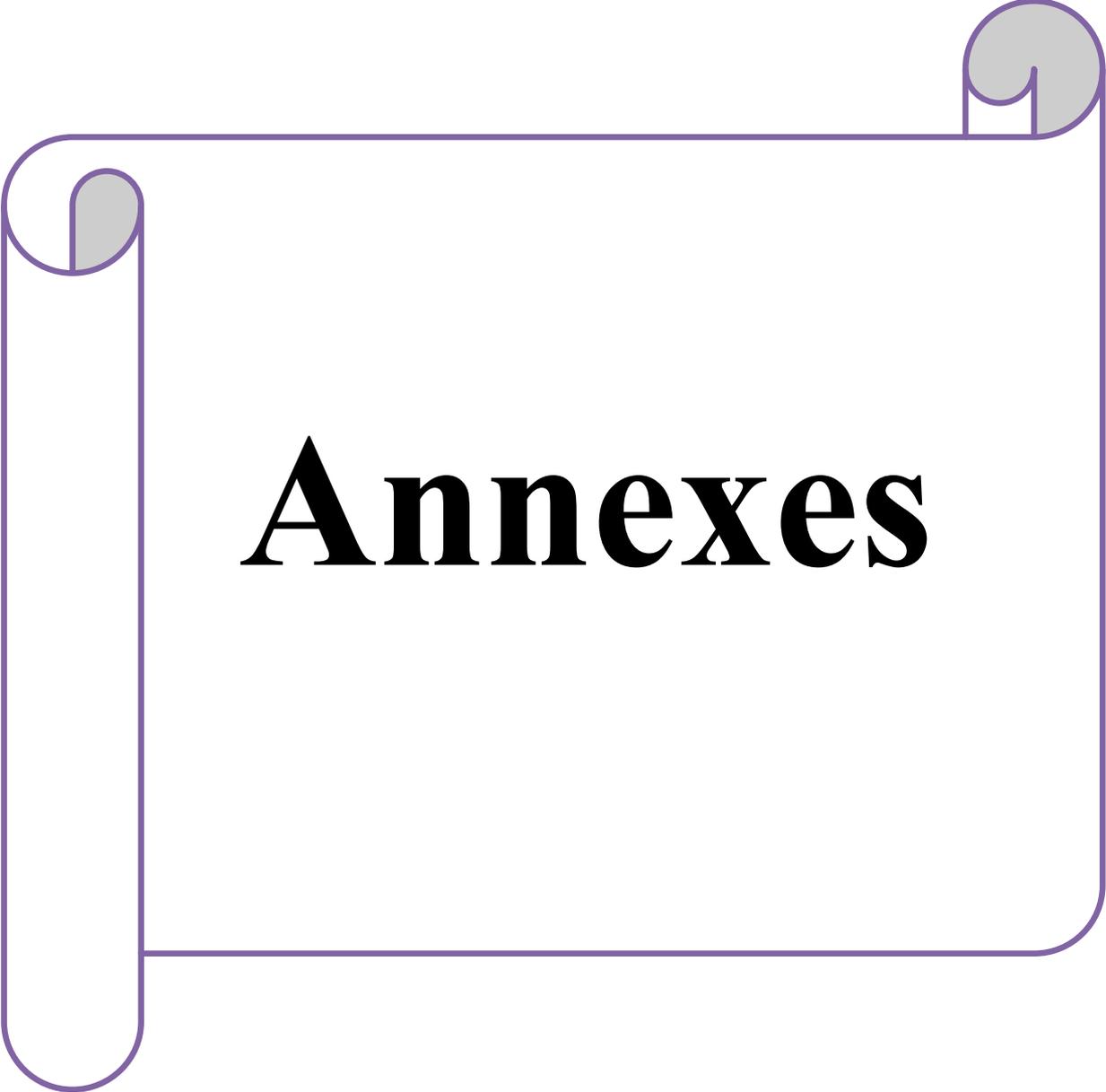
[28] : **OUIS, N**,”Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil “, thèse de doctorat, département de chimie, Université Ahmed BEN BALA d’ORAN, 2014,2015.

[29] : **RICHARD, R** “ Trans estérification éthanolique d’huile végétale dans des microréacteurs : transposition du batch au continu “ thèse de doctorat, département de sciences de la matière (SDM), université de Toulouse ,2011.

[30] : **BOUZA, S**,” Gâteau traditionnel : technologie de fabrication et impacts de quelques matières grasses sur la qualité du Makroud “, thèse de doctorat, département de technologies alimentaires, université Constantine 1, 2014.

[31] : **BUFFLER CH.R**, cuisson et traitement de la micro-onde. Un livre AVI. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

[32] : Kenneth,j.Hellevang,PE,”équation de Henderson modifiée “,ASAE.D245.4



# **Annexes**

# Annexes

---

## Annexes 1

### Matériels et appareillages

**Tableau 1 :** Liste de matériels et appareillages.

Matériels	Appareillages
Verre à montre, Spatule	Agitateur-magnétique.
Papier filtre, Entonnoir.	Réfractomètre. ABBE.
Burette de 100 ml graduée en 0.1 ml avec son support.	Balance-électronique.
Bécher (5-1000) ml.	Chromatographie phase gazeuse
Barreau magnétique.	Chauffe ballon.
Boîte de pétri	pH mètre électronique.
Eprouvette graduée de (10 – 100) ml.	Rota vapeur.
Fiole jaugé de (100 –250 ml).	Moulin électrique.
Pissette.	Thermomètre.
Tubes à essais.	Infratec Foss 1241

**Tableau 2:** Propriétés et Caractéristique des produits utilisés

N°	Désignation	Formule chimique	Etat physique
1	Acide chlorhydrique (36%)	HCL	Liquide
2	Hydroxyde potassium	KOH	Solide
3	Ether éthylique	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	liquide
4	Ethanol (95 %)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Liquide
5	Phénolphtaléine	PHPH	Liquide

# Annexes

---

## Annexe 2

### Teste de germination

#### 2.1. Résultat de teste de germination avant séchage de blé dur



« Bousseleme »



« Siméto »

#### 2.2. Résultat de teste de germination après séchage de blé dur

➤ Densité : 0.3w/g, Temps : 4 min



« Bousseleme »



« Siméto »

# Annexes

---

- Densité : 0.5w/g, temps : 4min



« Bousseleme »



« Siméto »

- Densité : 1w/g, temps : 4min



« Bousseleme »



« Siméto »

# Annexes

---

## Annexes 3

### Méthodes pour la préparation des esters méthyliques d'acides gras

#### 3.1. Principe

Les esters méthyliques se forment par transestérification dans une solution méthanolique d'hydroxyde de potassium comme phase intermédiaire avant la saponification.

#### 3. 2.Réactifs

- Méthanol ne contenant pas plus de 0,5% (m/m) d'eau.
- Heptane pour chromatographie.
- Hydroxyde de potassium, solution méthanolique d'environ 2 N : dissoudre 11,2 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml de méthanol.

#### 3.3. Matériel

-Éprouvettes à bouchon vissant (de 5 ml de capacité) avec un bouchon muni d'un joint de PTFE.

-Pipettes graduées ou automatiques de 2 ml et 0,2 ml.

#### 3.4. Mode opératoire

Dans une éprouvette à bouchon vissant de 5 ml, peser environ 0,1 g de l'échantillon d'huile. Ajouter 2 ml d'heptane ou Hexane et agiter. Ajouter 0,2 ml de la solution méthanolique 2 N d'hydroxyde de potassium, boucher à l'aide du bouchon muni d'un joint en PTFE, bien fermer et agiter énergiquement pendant 30 secondes. Laisser reposer jusqu'à ce que la partie supérieure de la solution devienne claire. Décanter la couche supérieure, qui est celle qui contient les esters méthyliques. La solution d'heptane est prête pour l'injection dans le chromatographe. Il est conseillé de maintenir la solution au réfrigérateur jusqu'au moment de l'analyse chromatographique. Il n'est pas recommandé de stocker la solution pendant Plus de 12 heures.

# Annexes

---

## Annexes 4

### Appareillages

#### 4.1. Four à Micro-ondes

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde intermédiaire entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion.

On utilisé une micro-onde domestique de type Samsung (Triple Distribution System) dans les essais de séchage du blé dur.



**Figure 1** :Micro-onde domestique (TDS, Samsung)

**Tableau 1** : Caractéristiques technique de la micro-onde utilisé.

Modèle	<b>ME86V</b>
Alimentation	230V~50Hz
Puissance	1150W
Puissance de sortie	100W/800W (IEC-750)
Fréquence de fonctionnement	2450MHz
Système de refroidissement	Moteur de ventilation
Dimension (IxHxP) extérieures intérieures	489 x 275 x 374 mm 330 x 211 x 324 mm

**Tableau 2** : Puissances de sortie de la micro-onde

Puissance	Puissance en watts
Elevée	800
Moyenne élevée	600
moyenne	450
Moyennement faible	300
Décongélation	180
Basse / Maintien au chaude	100

## 4.2. Infratec Foss 1241

Infratec Foss 1241 est un instrument qui fonctionne sur la base de la transmission dans le proche infrarouge. Il est conçu pour le dosage simultané de plusieurs constituants, principalement biochimiques, contenus dans des échantillons de grains entiers. On utilise cet appareil pour l'analyse des constituants tels que l'humidité, les protéines et l'amidon.



**Figure 2:** Appareil d'Infratec Foss 1241.

# Annexes

---

**Tableau 3 :** Caractéristiques technique de l’Infratec Foss utilisé.

Tension	220 - 240V ou 110-120V, 50 - 60Hz
Courant	1.0A (110-120V) / 0.5A (220-240V)
Dimensions	L x P x H 500 x 570 x 400 mm
Poids	30 kg
Monochromateur	Mesure spectrale
Gamme	570 – 1100 nm
Bande passante	7 nm
Nb de données / Scan Mode	265
Mode	Transmission
Source lumineuse	Lampe halogène au tungstène
Détecteur	Silicone

## Logiciels :

- Infratec™ File Tool (IFT) pour 1241.
- WinISI™ 4, « Calibration Development Software ».
- ODIN, pour la conception de modèles d’application.

## 4.3. Chromatographie en phase gazeuse « CPG »

La chromatographie en phase gazeuse CPG est une méthode d’analyse qui s’applique aux composés susceptibles d’être vaporisés par chauffage sans décomposition. On a utilisé cet appareil pour l’analyse chromatographique de l’huile de blé dur.



**Figure 3 :** Appareil de CPG.

### 4.3.1. Conditions Chromatographiques pour esters méthyliques des huiles

**Tableau 4 :** Condition chromatographique des esters méthyliques

Chromatographe	Chrompack CP 9002
Détecteur	FID (250°C)
Injecteur	SPLIT 1/100 (250°C)
Gaz vecteur	Azote
Colonne Capillaire	Cp Sil 88 CB (5%Phenyl+95%dimethylpolysiloxane)
Longueur	30m
Diamètre intérieur	0.32mm *0.25 UM
Epaisseur	0,25 µm
Injecteur	250°C
Détecteur	280°C
Four	190 °C
Quantité injectée	0.8ul
Vitesse du papier	0.5 cm/ mn

# Annexes

## 4.2.1. Chromatogramme de blé dur de deux variétés avant séchage

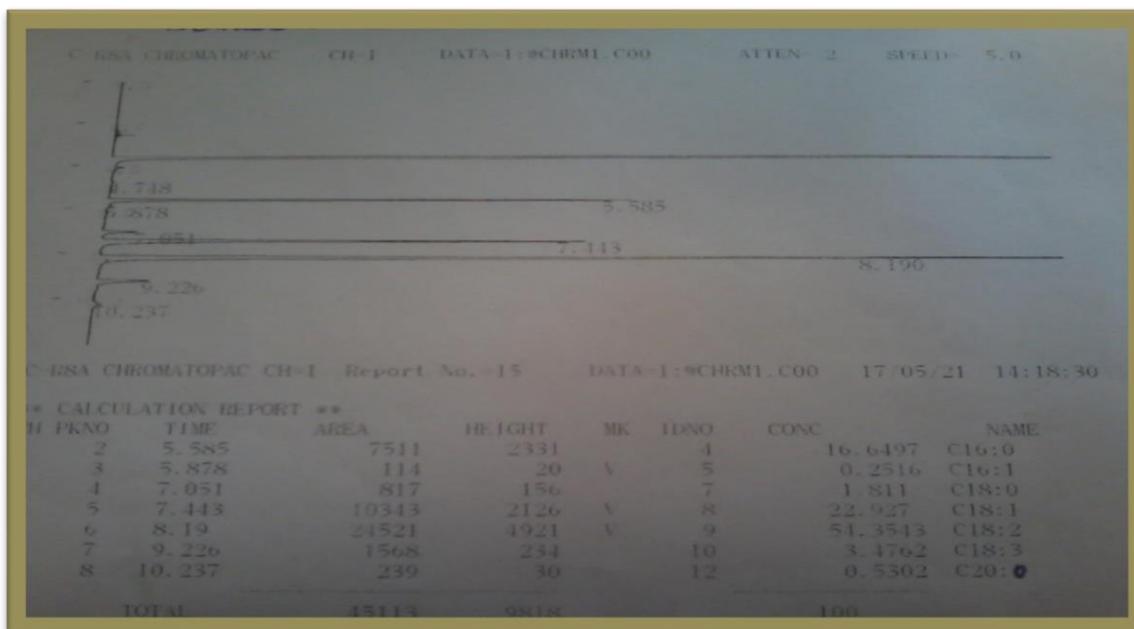


Figure 1 : Chromatogramme de variété Bousseleme.

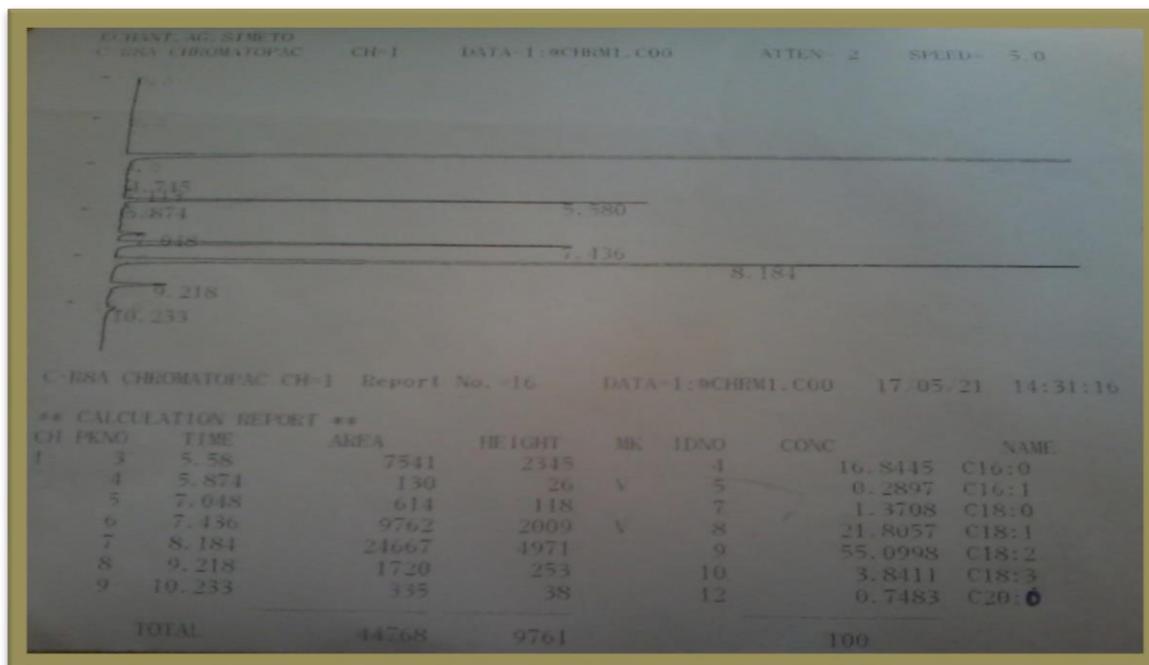


Figure 2 : Chromatogramme de variété Siméto.

# Annexes

## 4.2.2. Chromatogramme de blé dur de deux variétés après séchage

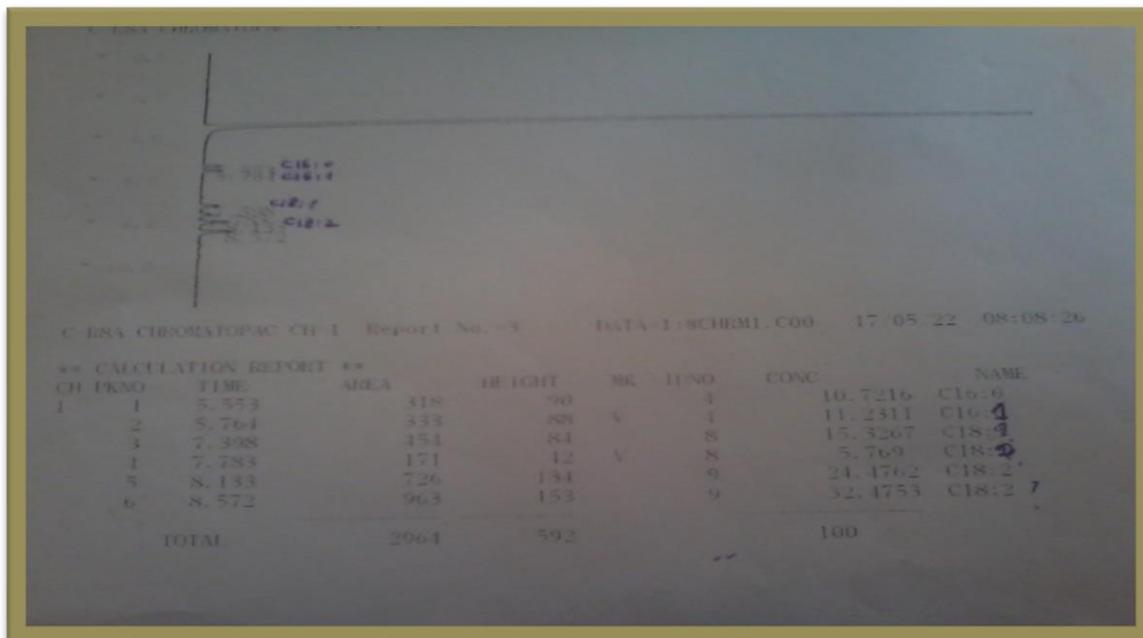


Figure 3 : Chromatogramme de variété Bousseleme.

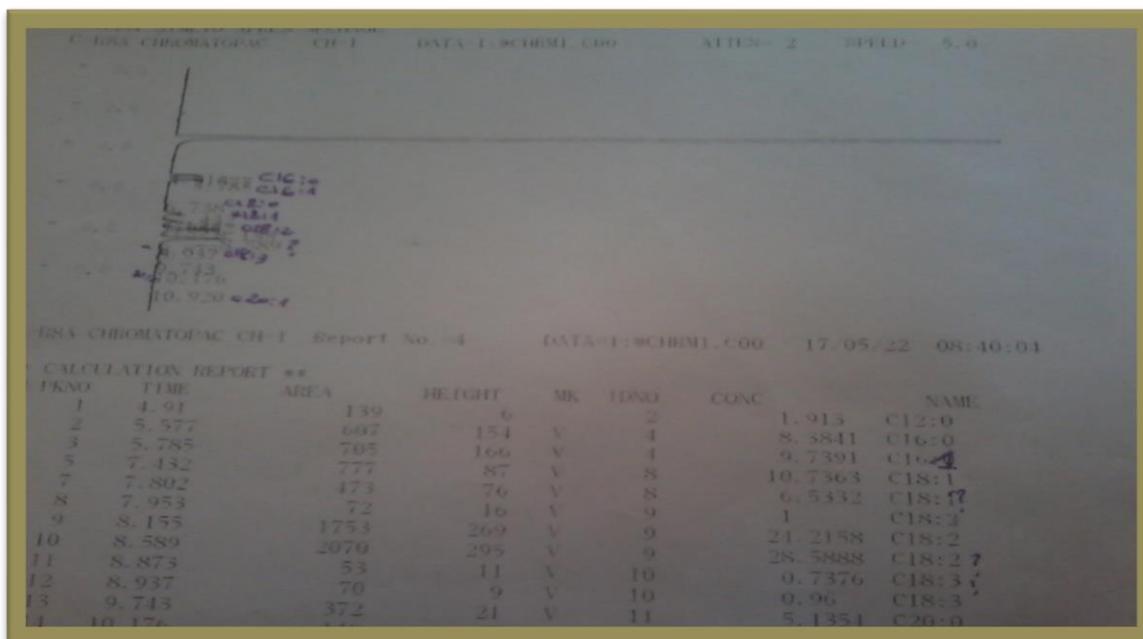


Figure 4 : Chromatogramme de variété Siméto.