

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2017

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

### EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV      Filière : Sciences Biologiques  
Spécialité : Biochimie appliquée

Présenté par :

LOUAHAB Hassina

*Thème*

**Métabolites primaires de fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill)**

Soutenu le : 22 / 09 / 2018

Devant le jury composé de :

*Nom et Prénom*

*Grade*

M. TAFER Mourad

MAA

Univ. de Bouira

Président

M.MOUNI Lotfi

Prof

Univ. de Bouira

Promoteur

M<sup>me</sup> BOUDRAA Hayet

Doctorante

Univ. de Bouira

Co-Promotrice

M. DAHMOUN Farid

MCA

Univ. de Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2017/2018



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

J'exprime ma reconnaissance et ma profonde gratitude à Monsieur **MOUNI Lotfi** le doyen de l'université, qui est mon promoteur pour son aide et ses encouragements qui ont été pour moi un solide repère et réconfort dans tous les moments.

Je tiens à remercier très vivement Madame **BOUDRAA Hayet**, ma Co-promotrice qui m'a guidé à chaque étape de la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier très vivement Monsieur **TAFAR Mourad**, qui m'a honoré en acceptant d'être président de ce jury et pour ses précieux conseils.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur **DAHMOUNE Farid**, le chef de département de biologie de m'avoir accordé le privilège de participer à ce jury et d'examiner avec soin ce mémoire. Tout l'honneur lui en revient.

Je tiens à remercier spécialement Madame **YOUNSI**, le responsable de laboratoire de contrôle de qualité alimentaire d'Akbou pour leurs accueils chaleureux au niveau de laboratoire.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



# Dédicaces



Louange à Dieu, le Tout Puissant, qui nous a permis de mener à bien ce modeste travail. On dit « les mots s'envolent, seuls les écrits restent » c'est pour cela que je vous écris ces petits mots. C'est avec un très grand honneur que je dédie ce travail aux personnes les plus chères au monde :

A ma très chère mère **DALILA**

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur

A mon père **HOCINE** que le dieu le protège

A mes très chers frères :

**MOHAMED** et sa femme **LOUIZA** et son adorable fils **YACINE** et sa petite fille **NAILLA**

**AHMED** et sa femme **LAETITIA** et le petit Sofiane que la vie leurs procure tout le bonheur de monde

A mon petit frère **ABDERAZAK** qu'il réussira dans ses études et dans sa vie

A ma sœur **FATIHA** qu'elle réussira dans sa vie

A toutes mes amies de spécialité biochimie appliquée

A tous ceux qui me sont cher



**HASSINA**

## Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

### Partie bibliographique

#### Chapitre I : Etat de l'art sur le *Foeniculum vulgare*

I. Présentation de l'espèce <i>Foeniculum vulgare</i> .....	1
I.1. Description botanique .....	1
I.2. Systématique de <i>Foeniculum vulgare</i> .....	3
II. Utilisation de <i>Foeniculum vulgare</i> .....	4
II.1. Utilisations culinaires .....	4
II.2. Utilisation en médecine locale et traditionnelle .....	4
II.3. Utilisation en pharmacologie .....	5
III .Les travaux antérieurs sur le <i>Foeniculum vulgare</i> .....	5

#### Chapitre II :Les métabolites primaires et méthodes d'analyse

I.Les lipides .....	9
I.1. Définition.....	9
I.2. Rôle et intérêt.....	9
I.3. Méthodes d'analyse .....	9
I.3.1. Procédures chromatographiques pour la caractérisation des lipides .....	9
I.3.1.1.Chromatographie sur colonne.....	11
I.3. 1.2. Chromatographie en phase gazeuse.....	11

I.3.1.3. Chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).....	12
I.3.1.4. Chromatographie par fluide supercritique (SFC) .....	12
I.3.1.5 .Chromatographie sur couche mince (CCM).....	13
I.3.2. Méthodes spectroscopiques d'analyse des lipides .....	14
I.3.2.1. Spectroscopie UV-Visible .....	14
I.3.2.1.1.Principe .....	14
I.3.2.2.Spectroscopie d'absorption infrarouge.....	15
I.3.2.3.Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire.....	16
I.3.2.4. Spectrométrie de masse .....	17
II. Les protéines .....	17
II.1. Définition .....	17
II.2. Rôles.....	17
II.3. importance biologique.....	18
II.4. Méthodes d'analyse.....	19
II.4.1.Méthode de kjeldahl .....	19
II.4.1.1. Principe.....	19
II.4.2. Séparation par adsorption.....	20
II.4.2.1.Principe.....	20
II.4.2.2.Chromatographie d'échange d'ion .....	20
II.4.2.3.Chromatographie d'affinité.....	20
II.4.3.Séparation par taille .....	21
II.4.3.1. Chromatographie d'exclusion de taille .....	21
II.4.4.Séparation par électrophorèse .....	22

II.4.4.1. Electrophorèse sur gel de polyacrylamide.....	22
II.4.4.1.1. Principe.....	22
II.4.4.2. Electrophorèse capillaire .....	23
II.4.4.2.1. Principe.....	23
III. Les glucides .....	23
III.1. Définition .....	23
III.2. Rôle .....	23
III.3. importance biologique.....	24
III.4. Méthodes d'analyses.....	25
III.4.1. Chromatographie Liquide à haute performance (HPLC).....	25
III.4.2. Chromatographie en phase inverse .....	25
III.4.3. Chromatographie en phase gazeuse .....	25
III.4.4. Spectrométrie de masse.....	25
III.4.5. Électrophorèse capillaire.....	25

### **Partie expérimentale**

#### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

I. Objectif du travail.....	26
II. Matériel et réactifs utilisés .....	26
III. Méthodes.....	28
III.1. Protocole expérimental .....	28
III.2. Echantillonnage.....	28
III.3. Méthodes d'analyse chimiques.....	30
III.3.1. Détermination de la teneur en eau et la matière sèche.....	30

III.3.1.1. Mode opératoire .....	30
III.3.1.2.Expression des résultats .....	30
III.3.2.Détermination de la teneur en cendre .....	30
III.3.2.1.Principe .....	30
III.3.2.2. Mode opératoire .....	31
III.3.2.3. Expression des résultats .....	31
III.3.4. Détermination des fibres brutes .....	32
III.3.4.1. Mode opératoire .....	32
III.3. 5.Détermination de la teneur en lipides .....	32
III.3.5.1. Principe .....	32
III.3.5.2. Mode opératoire .....	33
III.3.5.3. Elimination du solvant .....	34
III.3.5.4.Expression des résultats .....	34
III.3.5.5. Analyse des acides gras .....	35
III.3.6. Détermination de la Teneur en Glucides (carbohydrates) .....	35
III.3.6.1. Procédure d'extraction.....	35
III.3.6.2. Teneur en Carbohydate.....	36
III.3.7. Détermination de la Teneur en protéines.....	36
III.3.7.1. Méthode de kjeldahl .....	36
III. 3.7.2. Mode opératoire .....	36
III.7.3. Les avantage et les désavantage de méthode de kjeldahl.....	39

**Chapitre IV : Résultats et discussion**

1.La teneur en eau..... 40

2.La teneur en matière sèche ..... 41

3.la teneur en cendres ..... 42

4. la teneur en protéines ..... 44

5.la teneur en lipides ..... 45

6.La teneur en fibres brutes ..... 47

7.La teneur en hydrates de carbonés..... 48

8.Valeurs énergétiques de *F.vulgare* ..... 49

**Conclusion** ..... 51

**Références bibliographiques**

**Annexes**



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Classification taxonomique de <i>Foeniculum vulgare</i> .....	2
<b>Tableau 2</b> : Les travaux antérieurs sur le <i>Foeniculum vulgare</i> .....	4
<b>Tableau 3</b> : Solvants et produits chimiques utilisés dans cette étude.....	26
<b>Tableau 4</b> : Appareils utilisés dans cette étude.....	27
<b>Tableau 5</b> : Les températures de la colonne et le débit.....	35

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> <i>Foeniculum vulgare</i> Mill dans son habitat naturel.....	1
<b>Figure 2:</b> un schéma de subdivision du domaine de la chromatographie, selon diverses techniques appliquées .....	9
<b>Figure 3:</b> Diagramme d'un système de chromatographie en phase gazeuse.....	10
<b>Figure 4:</b> Représentation schématique d'un système de chromatographie liquide à haute performance .....	11
<b>Figure 5:</b> Diagramme de phase de corps pur .....	12
<b>Figure 6:</b> schéma d'une plaque développée .....	13
<b>Figure 7:</b> Photo d'un appareil spectrophotométrie UV-visible .....	14
<b>Figure 8:</b> Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceau.....	14
<b>Figure 9:</b> Un diagramme d'un spectromètre RMN .....	15
<b>Figure 10:</b> Schéma de principe général d'un spectromètre de masse .....	16
<b>Figure 11:</b> Rapid Digestor-4 avec système d'élimination des fumées(A), appareil combiné de digestion / distillation de Macro-kjeldahl(B), appareil de distillation à la vapeur(C) .....	18
<b>Figure 12:</b> La base de la chromatographie par échange d'ions .....	20
<b>Figure 13:</b> Principe de la chromatographie d'affinité bio sélective .....	20
<b>Figure 14:</b> Chromatographie d'exclusion de taille.....	21
<b>Figure 15:</b> Schéma d'une unité d'électrophorèse sur gel en plaque .....	22
<b>Figure 16:</b> Schéma d'un système d'électrophorèse capillaire .....	22
<b>Figure 17 :</b> Schéma de protocole expérimental.....	29
<b>Figure18 :</b> Défferentes parties de <i>F.vulgare</i> en poudres .....	31

<b>Figure 19</b> :Appareil de soxhlet.....	33
<b>Figure 20</b> : Appareil de rotavapeur .....	34
<b>Figure 21</b> : Appareil de minéralisation .....	37
<b>Figure 22</b> :Appareil de distillation .....	37
<b>Figure 23</b> : Titration de l'acide borique .....	38
<b>Figure 24</b> : Taux d'humidité de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	40
<b>Figure 25</b> : Teneur en cendres de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	41
<b>Figure 26</b> : Teneur en protéines de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	44
<b>Figure 27</b> : Teneur en lipides de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	45
<b>Figure 28</b> : Teneur en fibres brutes de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	46
<b>Figure 29</b> : Teneur en hydrates de carbonnes de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	47
<b>Figure 30</b> : Valeurs énergétiques de différentes parties de <i>F.vulgare</i> .....	48

## Liste des abréviations

<b>CFS</b>	Chromatographie par fluide supercritique
<b>EFS</b>	Extrait par fluide supercritique
<b>CCM</b>	Chromatographie sur couche mince
<b>CG</b>	Chromatographie en phase gazeuse
<b>CPLH</b>	Chromatographie en phase liquide à haute performance
<b>CL</b>	Chromatographie liquide
<b>RMN</b>	Résonance magnétique nucléaire
<b>SRMN</b>	Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire
<b>IR</b>	Infrarouge
<b>PS</b>	Phase supercritique
<b>SM</b>	Spectrométrie de masse
<b>F.v</b>	<i>Foeniculum vulgare</i>

### Introduction

Le Fenouil ou *Foeniculum vulgare*, il est communément appelé "Besbes" par les populations locales, est une plante de la famille des ombellifères (Apiaceae), à une saveur anisée caractéristique, il est originaire de la région méditerranéenne mais qui est cultivée ailleurs (**Piccaglia et Marotti, 2001**).

Le fenouil a une longue histoire d'utilisation généralement associé aux pratiques médicinales et au régime alimentaire. Les racines, les jeunes pousses, les feuilles, les fleurs, les inflorescences matures et les graines entièrement mûres et séchées sont couramment utilisés pour les remèdes maison, comme épice pour aromatiser les pains, les poissons, les liqueurs, les salades et les fromages. (**Garcia-Jimenez et al., 2000 ; Manzoor et al., 2012**).

Le thé préparé à partir des graines de fenouil est également consommé régulièrement pour son effet carminatif et son rafraîchissement de la bouche. Les extraits de fenouil ont plusieurs propriétés fonctionnelles, telles que l'activité anti-inflammatoire, antispasmodique, carminatif, diurétique, laxatif, analgésique, stimulant de la mobilité gastro-intestinale et pour le traitement des troubles nerveux (**Jahromi et al., 2003**). Les huiles essentielles de fenouil sont très utilisées par les industries pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires (**Formacek et Kubeczka, 1982**).

Un métabolite primaire est un type de métabolite qui est directement impliqué dans la croissance, le développement et la reproduction normale d'un organisme ou d'une cellule. Ce composé a généralement une fonction physiologique dans cet organisme, c'est-à-dire une fonction intrinsèque. Les métabolites primaires rassemblent les acides aminés, les lipides, les carbohydrates et les acides nucléiques.

La composition chimique de ses métabolites primaires de fenouil varie selon le morphotype, la source, le climat et le stade de la récolte. Chaque portion comestible de graines de fenouil de 100 g contient en moyenne: 8,8 g d'eau; 15,8 g de protéines; 14,9 g de matières grasses; 36,6 g de glucides; 15,7 g de fibre et 8,2 g de cendres (contenant 1,2 g Ca, 19 mg Fe, 1,7 g K, 385 mg Mg, 88 mg Na, 487 mg P et 28 mg Zn) (**Bernath et al., 1994**).

C'est pour cela, la présente étude a pour objectif d'étudier la caractérisation des métabolites primaires de différentes parties de fenouil à savoir : Feuilles, tige, bulbe, racines, graines locales ainsi que les graines d'une variété importée de la même plante.

La détermination de la composition chimique est basée sur l'estimation des teneurs en métabolites primaires à savoir : les composés lipidiques, protéiques et par ses glucides et également l'appréciation de la valeur énergétique des différentes parties de la plante.

La première partie de ce travail concerne tout d'abord la synthèse bibliographique, qui comporte deux chapitres, le premier présente l'état de l'art de *Foeniculum vulgare*, le deuxième chapitre englobe les métabolites primaires et les méthodes d'analyse de ces derniers. La deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes utilisés, suivit des résultats expérimentaux et discussion.

Une conclusion générale ainsi que des perspectives de recherche sont apportées pour compléter le présent travail.

## I. Présentation de l'espèce *Foeniculum vulgare*

### I.1. Description botanique

*Foeniculum vulgare* Mill est une plante médicinale et aromatique bisannuelle appartenant à la famille des Apiaceae (Umbelliferae). Est une plante vivace, ombellifère pérenne avec des fleurs jaunes et des feuilles plumeuses (**figure 1**). Il pousse jusqu'à une hauteur de 2,5 m avec tiges creuses. **Les feuilles** atteignent jusqu'à 40 cm de longueur; ils sont finement disséqués avec les segments ultimes filiformes d'environ 0,5 mm de large. **Les fleurs** sont produites dans le terminal des ombelles. Le fruit est une graine sèche de 4-10 mm de long. C'est généralement considéré comme indigène sur les rives de la mer Méditerranée, mais est devenu largement naturalisé dans de nombreuses parties du monde en particulier sur les sols secs près de la côte de la mer et sur la rivièrè banques. Certains auteurs distinguent deux sous-espèces de fenouil, piperitum et vulgare : sous-espèce piperitum a des graines amères, tandis que la sous-espèce vulgare a des graines sucrées qui sont utilisées comme agents aromatisants dans les produits de boulangerie, plats de viande et de poisson, crèmes glacées, boissons alcoolisées, etc. en raison de leur odeur d'anis caractéristique. Les différences morphologiques entre ces deux sous-espèces ne sont pas toujours clairement définies (**Diaaz-Maroto et al., 2005**).



**Figure 1** : Les différentes parties de *Foeniculum vulgare* (**Badgujar et al., 2014**).

## I.2. Systématique de *Foeniculum vulgare*

Le genre *Foeniculum* (fenouil) appartient à la famille Apiaceae et l'ordre Apiales (**tableau 1**). Trois variétés principales ont été décrites: *F. vulgare* pipéritum (Fenouil amer), *F. vulgare* dulce (Fenouil doux) et *F. vulgare* azoricum (Florence fenouil, ou finocchio) (**Seidemann, 2005**).

Le fenouil amer est cultivé pour ses fruits et son huile essentielle, tandis que Florence le fenouil est cultivée pour ses fruits, l'huile essentielle, les feuilles (utilisées à des fins culinaires) et une base de feuille élargie (consommée comme légume). Fenouil doux est cultivé pour sa base de feuilles élargie, pour ses fruits et pour l'huile essentielle extraite de ses fruits. **Weiss (2002)** décrit les variétés de fenouil comme des herbes aromatiques bisannuelles ou pérennes, tandis que d'autres auteurs détaillent les types annuels, bisannuels et pérennes.

**Tableau 1 :** Classification taxonomique de *Foeniculum vulgare* (**Abou El-Soud1et al., 2011**).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Ordre	Apiales
Famille	Apiaceae (Umbelliferae)
Genre	<i>Foeniculum</i>
Espèces	vulgare
Nom binomial	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller



## **II. Utilisation de *Foeniculum vulgare***

### **II.1 Utilisations culinaires**

Le fenouil une herbe très aromatique et savoureuse avec des utilisations culinaire et médicinales. Les graines de fenouil sont anisées comme dans l'arôme et sont utilisés comme arômes dans les produits de boulangerie, les plats de viande et de poisson, la crème glacée, les boissons alcoolisées et mélanges d'herbes (**Diaaz-Maroto et al., 2005**).

Le bulbe, les feuilles et les graines de la plante de fenouil sont des sources potentielles de différents nutriments et donc tous sont largement utilisés à la fois cru et cuit dans les plats d'accompagnement, les salades, pâtes, préparations de légumes, saucisses, etc. Le bulbe de fenouil cru contient des hydrates de carbone, fibre alimentaire, protéine, complexe de vitamine B, vitamine C et minéraux. La plante de fenouil est aromatique et utilisée comme plante potagère. Il est populairement utilisé comme épice et comme légume, ayant de nombreuses applications à but aromatique et culinaire (**Farrell, 1999**). Graine de fenouil séchée est une épice aromatique, anisée, marron ou de couleur verte lorsqu'il est frais, tournant lentement un gris terne comme l'âge des graines. Pour la cuisson des graines vertes sont les meilleurs. De nombreuses cultures du sous-continent indien et du Moyen-Orient utilisent des graines de fenouil pour cuisiner. (**Grieve, 1931**).

### **II.2. Utilisation en médecine locale et traditionnelle**

En raison de ses propriétés carminatives, le fenouil est principalement utilisé en médecine avec des purgatifs pour apaiser leurs effets secondaires et pour ce but forme l'un des ingrédients du bien connu poudre de réglisse composée. L'eau de fenouil a des propriétés similaires à ceux de l'anis et de l'eau à l'aneth : mélangé avec du bicarbonate de sodium et du sirop, ces eaux utilisé pour corriger les flatulences des nourrissons. Thé au fenouil, aussi employé comme carminatif, est fait en versant de l'eau bouillante sur une cuillerée à thé de graines de fenouil meurtri. Les graines de fenouil sont consommées crues, parfois avec un peu d'édulcorant améliorer la vue. Des extraits de graines de fenouil ont été montrés dans les études animales pour avoir une utilisation potentielle dans le traitement du glaucome, en tant que diurétique et un médicament potentiel pour le traitement de l'hypertension. Il a été utilisé comme galactagogue amélioré l'approvisionnement en lait d'une mère qui allaite. C'est suggérée être due à la présence de

phytoestrogènes présents dans le fenouil qui favorisent la croissance du tissu mammaire (Agarwal et al., 2008).

### II.3. Utilisation en pharmacologie

*F.vulgare* auprès des différentes activités pharmacologiques mentionnées dans la médecine et la phytothérapie moderne tels qu'un antioxydant, cytotoxiques, anti-inflammatoire, antimicrobien, bronchodilatateur, oestrogénique, diurétique, emménagogue, anti thrombotique, hypotenseur, gastro protecteur, hépato protecteur, améliorant la mémoire, et les activités antimutagènes. Aucun événement indésirable grave n'a été enregistré après l'ingestion de *F.vulgare* l'exception de quelques cas de réactions allergiques (Rahimi et al.,2013).

### III .Les travaux antérieurs sur le *Foeniculum vulgare*

**Tableau 2** : les travaux antérieurs sur le *Foeniculum vulgare*

parties	Régions	Activités	Extraction	Constituants chimiques	Références
Fruit	Italie	activité antioxydant (Détermination de la teneur en polyphénols, Test de piégeage du DPPH, Capacité antioxydant totale, Dosage de la peroxydation lipidique	La poudre de fruit (225 g) a été lyophilisé puis extrait dans du MeOH(1.51) à température ambiante	deux nouveaux stilbène trimères diglucosides: les foeniculosides benzoisofurane	De Marino, S., F. Gala, et al. (2007).
Graines	L'Inde et l'Egypte	Activité antioxydant et antimicrobienne	macérée 20 g dans des erlenmeyers, puis 200 ml de solvants (méthanol, éthanol, éther diéthylique et	Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH), le butylhydroxy-anisole (BHA),	Roby, M. H. H., M. A. Sarhan, et al. (2013).

			hexane). on agitant à température ambiante pendant 72 h. puis les extraits ont été évaporés à température ambiante et séchés dans des dessiccateurs sous vide jusqu'à un poids constant.	l'hydroquinone tertiobutylée (TBHQ), Le trans-anéthole, l'estragole, la fenchone et le limonène l'acide ascorbique, a-tocophérol et Folin-Ciocalteu. Méthanol et acide formique.	
Graines	Turquie	Activité antioxydant totale (pouvoir réducteur, activité de piégeage des anions superoxyde , activité de piégeage des radicaux libres, activité de chélation des métaux, piégeage du peroxyde d'hydrogène)	- Pour l'extraction à l'eau, 25 g de poudre de graines ont été mélangés avec 500 ml d'eau bouillante par un agitateur magnétique pendant 15 minutes - Pour l'extraction à l'éthanol, 25 g de poudre de graines ont été mélangés 5 fois avec 100 ml d'éthanol. L'extraction s'est poursuivie jusqu'à ce que les solvants d'extraction deviennent incolores.	l'acide linoléique, tampon phosphate de potassium (2,5 ml, 0,04 mol / L, pH 7,0), ferricyanure de potassium, acide trichloroacétique, La solution à 0,1 mmol / L de DPPH éthanol ,	Okday, M., İ. Gülçin, et al. (2003).
Feuilles	Italie	Activité antioxydant et antimicrobienne	1000 g de poudre de feuilles soumises à hydro distillation pendant 3 h en utilisant un appareil Clevenger	Le DPPH (1,1-diphényl-2-picrilhydrazyle); TPTZ (2,4,6-tris-2,4,6-tripiridyl-2-	Senatore, F., F. Oliviero, et al. (2013).

				triazine); chlorure ferrique sec; Trolox (acide 6-hydroxy- 2,5,7,8- tétraméthylch roman-2- carboxylique) ; acide ascorbique; Le BHT (butylhydrox y toluène) et le méthanol	
Fruits et graines	Europe	potentiels antifongiqu es et antioxydant s	Les fruits en poudre ont été hydro distillés dans un appareil de type Clevenger pendant 6 h, Il a été séché sur du sulfate de sodium anhydre pour éliminer les traces d'humidité et stocké dans un réfrigérateur dans l'obscurité à 4 ° C jusqu'à utilisation. -soxhlet on utilisant l'acétone	Le composant principal était le trans- anéthole, l'acide linoléique, l'acide palmitique, et l'acide oléique,	Singh, G., S. Maurya, et al. (2006).
Fruits	Indonési e	Activités anti- inflammato ires, analgésique s et anti- oxydantes	Des fruits séchés et en poudre ont été trempés dans 80% de MeOH. Le méthanol extrait a été filtré et évaporé sous vide.	/	Choi, E. M. and J. K. Hwang (2004).
Graines	Europe	Activité antimicrobi enne	(500 g) poudre de graines hydro distillées pendant 4 heures en utilisant un appareil de type Clevenger, La couche huileuse a été séparée et séchée avec du	Le trans- anéthole (68,53%) et l'estragole (10,42%) sont les principaux composants.	Diao, W.-R., Q.-P. Hu, et al. (2014).

			sulfate de sodium anhydre.		
pousses, feuilles, tiges et inflorescences,	Portugal	Activité antioxydante (activité d'élimination des radicaux DPPH, pouvoir réducteur, inhibition du blanchiment au b-carotène, inhibition de la peroxydation lipidique	50 ml de méthanol à 25 °C à 150 tr / min pendant 12 h	l'acétonitrile pur à 99,9%, le méthanol et l'éther diéthylique, le toluène	Barros, L., S. A. Heleno, et al. (2009).

## I. Les lipides

### I.1. Définition

Les lipides sont des substances organiques caractérisés par une propriété physique « la solubilité », ils ont une solubilité nulle ou faible dans l'eau, mais par contre élevée dans les solvants organiques apolaires tels que l'hexane, le chloroforme... Ce sont des molécules, soit complètement **apolaires** (lipide neutre), soit **bi polaires**, avec une tête polaire liée à une chaîne fortement apolaire. Les lipides sont principalement constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et ont une densité inférieure à la densité de l'eau (**Louisot, 1983**).

### I.2. Rôle et intérêt

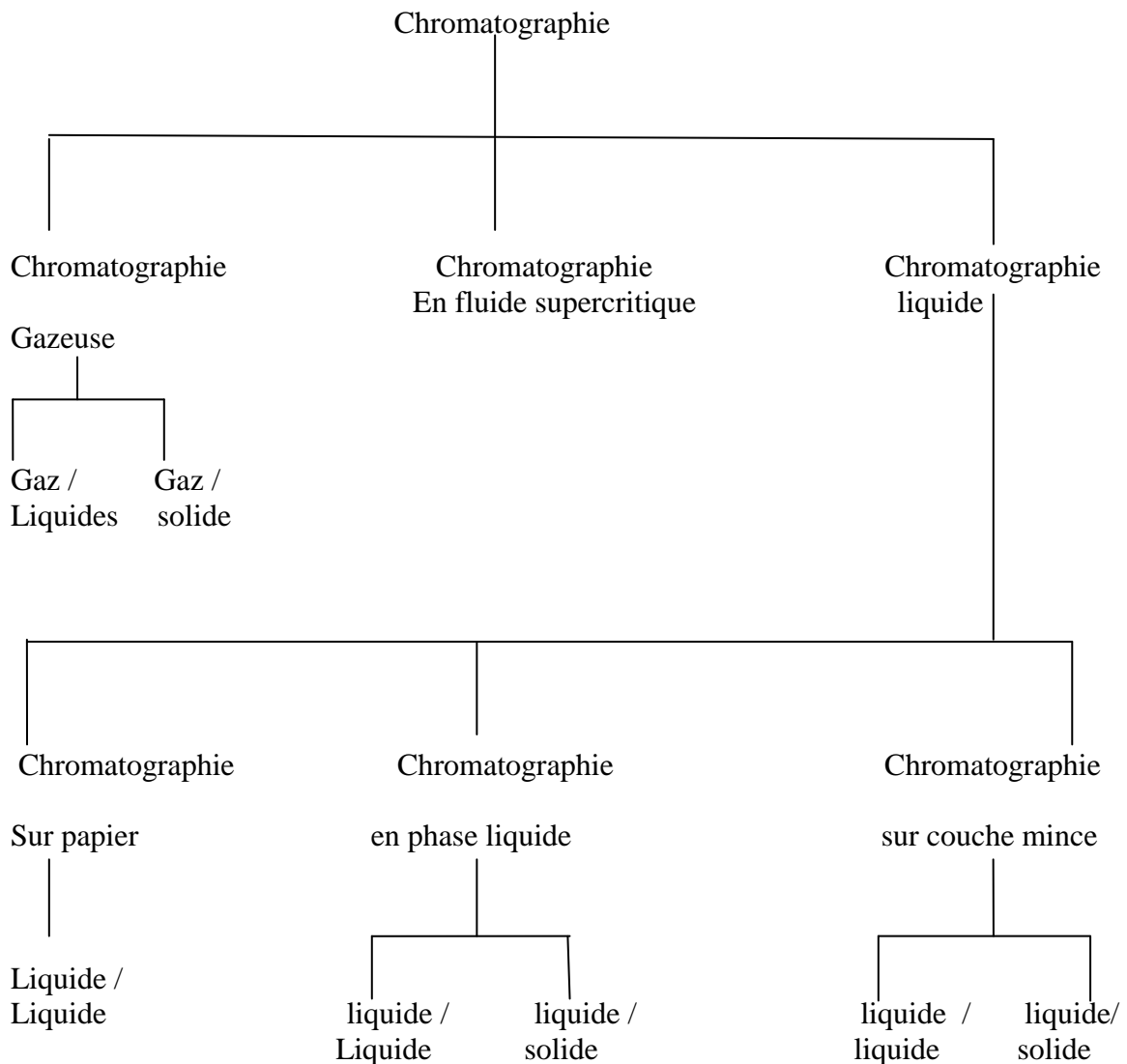
- 1. Réserve d'énergie** : stockés sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux, les lipides constituent ainsi une réserve énergétique mobilisable (1 g de lipide donne environ 9,3 Kcal)
- 2. Un rôle structural** : les acides gras servent à la synthèse d'autres lipides, notamment les phospholipides qui forment les membranes autour des cellules et des organelles. La composition en acides gras de ces phospholipides donne aux membranes des propriétés physiques particulières (élasticité, viscosité).
- 3. Un rôle de messager** : les acides gras sont les précurseurs de plusieurs messagers intra et extracellulaires. Par exemple, l'acide arachidonique est le précurseur des eïcosanoïdes, hormones intervenant dans l'inflammation, la coagulation sanguine etc.
- 4. Un rôle de transport de vitamines** : les corps gras alimentaires véhiculent quatre vitamines liposolubles : A, D, E et K. (**Louisot, 1983**).

### I.3. Méthodes d'analyse

#### I.3.1. Procédures chromatographiques pour la caractérisation des lipides

Analyse des composants chimiques de lipides (par exemple classes lipidiques, acides gras, acides gras trans, stérols, tocophérols, pigments, etc.) implique principalement des méthodes chromatographiques et spectroscopiques. Habituellement une combinaison de techniques de séparation est utilisée pour atteindre un haut degré de

pureté des composants lipidiques respectifs et cela pourrait être analytique (pour la quantification) ou préparatif. Les techniques chromatographiques les plus utilisées pour l'analyse des lipides comprennent la chromatographie sur colonne, la chromatographie en phase gazeuse (GC), chromatographie liquide à haute performance (HPLC), Chromatographie en fluide supercritique (SFC) et CCM, la figure 2 montre les différentes techniques chromatographiques utilisées. L'application de ces techniques pour l'analyse des lipides alimentaires sont discutés ci-dessous (Johnson ,1978).



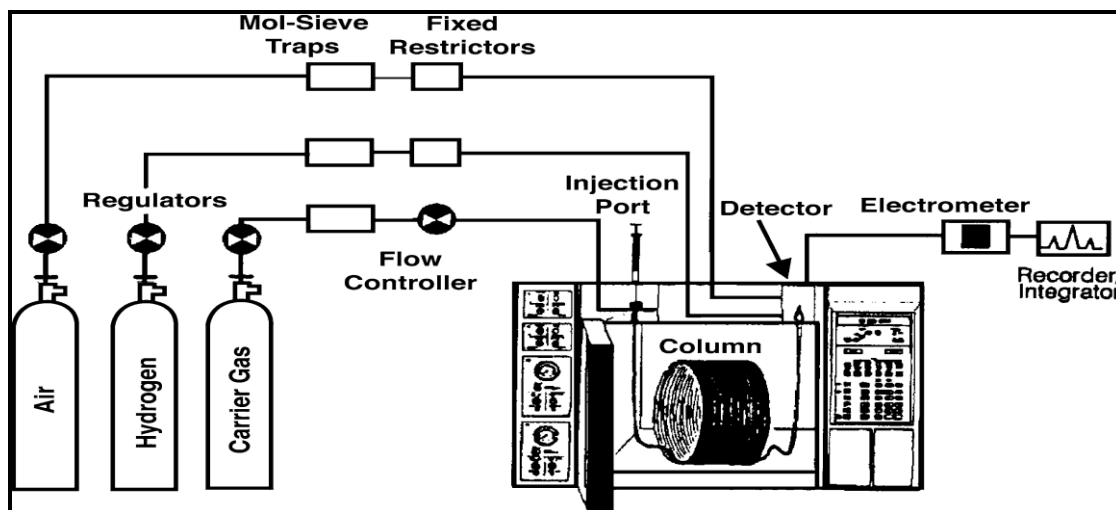
**Figure 2:** Un schéma de subdivision du domaine de la chromatographie, selon diverses techniques appliquées (Johnson ,1978).

### I.3.1.1. Chromatographie sur colonne

En chromatographie solide-liquide la séparation des extraits lipidiques est basée sur la séparation et / ou l'adsorption des composants lipidiques entre la phase stationnaire (solide) et la phase mobile (liquide). Les colonnes les plus utilisées pour l'analyse des lipides sont l'acide silicique ainsi que le silicate de magnésium (Purdon, 1991).

### I.3. 1.2. Chromatographie en phase gazeuse

La chromatographie en phase gazeuse est une technique de chromatographie sur colonne dans laquelle la phase mobile est gazeuse et la phase stationnaire soit un liquide immobilisé, soit un solide contenu dans un tube fermé. Elle est utilisée pour séparer les composants volatils thermiquement stables d'un mélange. Elle consiste à vaporiser un échantillon et à l'injecter sur la tête de la colonne. Sous un gradient de température contrôlé, l'échantillon est transporté à travers la colonne par le passage d'une phase mobile gazeuse inerte. Les substances volatiles sont ensuite séparées en fonction de plusieurs propriétés, notamment le point d'ébullition, la taille moléculaire et la polarité (Sloneker 1972).



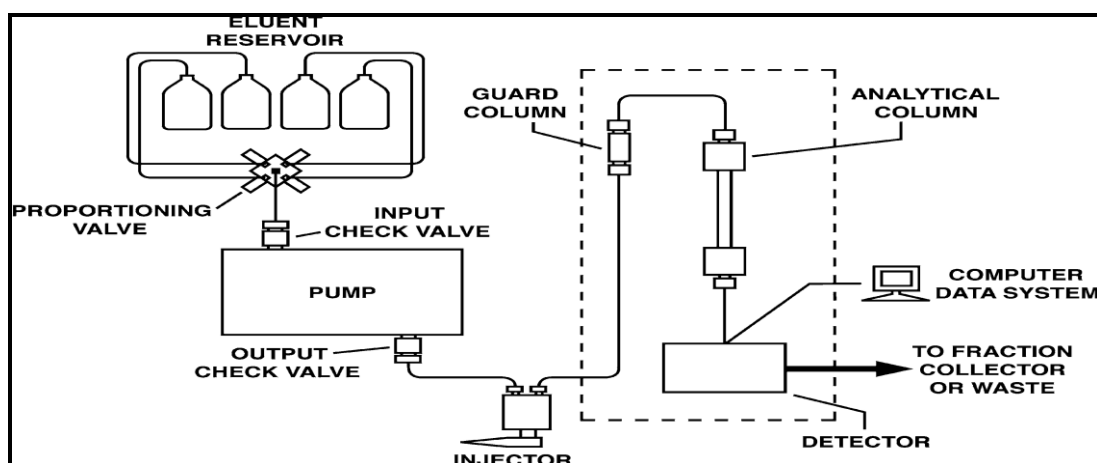
**Figure 3:** Diagramme d'un système de chromatographie en phase gazeuse. (Gracieuseté de Hewlett Packard Co., Formation à la clientèle analytique, Atlanta, GA.) (Gordon ,1990).



### I.3.1.3. Chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC)

Cette technique est indiquée pour étudier les constituants non volatils des concrètes et des absolues ou pour effectuer des préfractionnements. Elle peut être couplée également à un analyseur de masse (**Bruneton, 1999**).

La chromatographie liquide à haute performance utilise une phase stationnaire très fine et une phase mobile liquide circulant sous l'effet d'une haute pression. Après la séparation des différents constituants de l'échantillon, un ordinateur assure l'acquisition et le traitement des données (**Audigie et al., 1995**).



**Figure 4:** Représentation schématique d'un système de chromatographie liquide à haute performance (**Bidlingmeyer, 1993**).

### I.3.1.4 Chromatographie par fluide supercritique (SFC)

Un fluide supercritique (ou gaz comprimé) n'est ni un liquide ni un gaz typique. Le dioxyde de carbone est fréquemment utilisé comme phase mobile pour le SFC; cependant, ce n'est pas un bon solvant pour les composés polaires et à masse moléculaire élevée. En outre, SFC a été utilisé principalement pour les composés non polaires. Les graisses, huiles et autres lipides sont des composés auxquels la SFC est de plus en plus appliquée (**Chester et al., 1996**). La chromatographie en phase supercritique est une technique « verte » prometteuse dont la phase mobile est principalement constituée de

CO<sub>2</sub> en phase supercritique (SC), produit de recyclage de l'industrie pétrolière. Le fluide SC possède une densité et un pouvoir de solvation proches de celui d'un liquide et une viscosité et une diffusivité proche de celles d'un gaz. Ces propriétés particulières permettent une bonne solubilité des analytes apolaires ou peu polaires et un temps d'analyse court (Schoenmakers, 1987) sans générer de pressions excessives sur le système chromatographique.

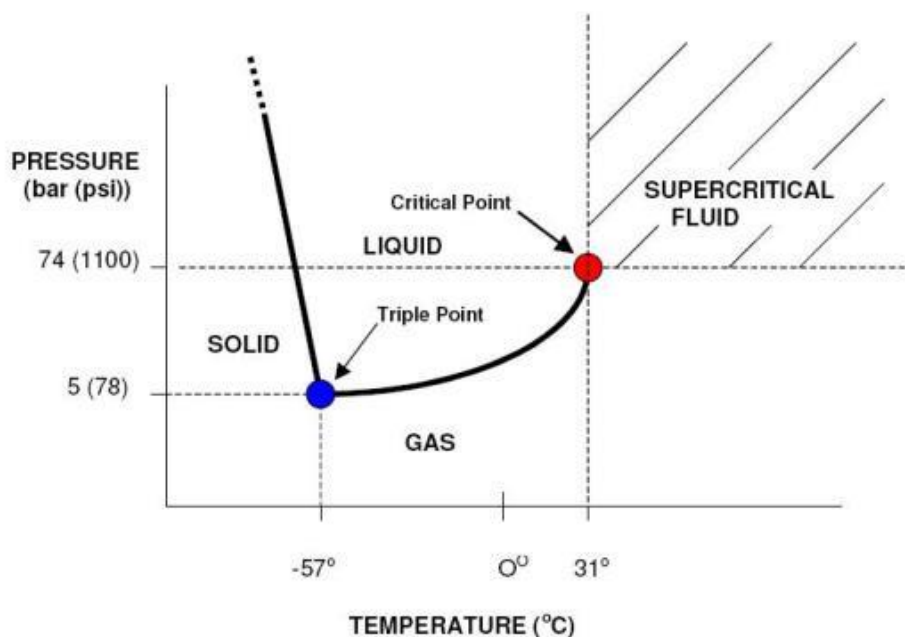
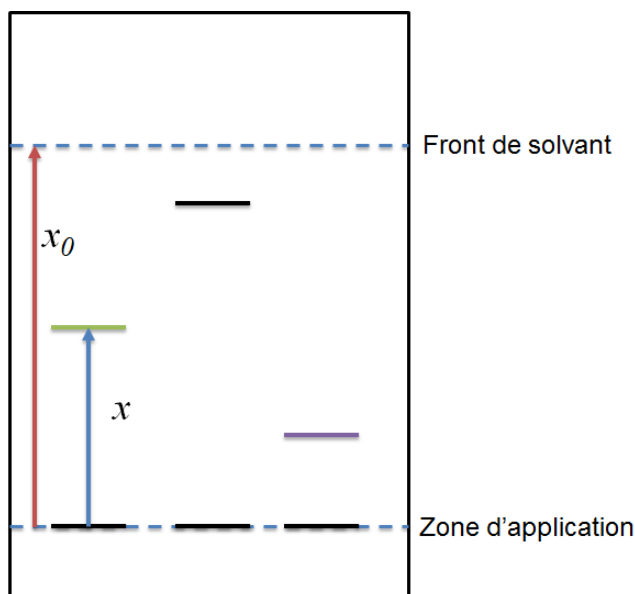


Figure 5: Diagramme de phase de corps pur (Anonyme).

### I.3.1.5 Chromatographie sur couche mince (CCM)

La CCM est l'un des principaux outils analytiques utilisés pour l'analyse des lipides. L'adsorbant généralement utilisé en CCM pour l'analyse des lipides est le gel de silice de très haute qualité. Des échantillons d'extraits lipidiques sont appliqués sous forme de points discrets ou de stries étroites, 1,5 - 2 cm du bas de la plaque. La plaque est ensuite développée dans une chambre contenant le solvant de développement ou un mélange de solvants. Le solvant remonte la plaque par action capillaire, en prenant les différents composants avec elle à des vitesses différentes, en fonction de leur polarité et à quel point ils pourraient être retenus par l'adsorbant. La plaque est retirée de la chambre de développement lorsque le solvant s'approche de la en haut, puis séché dans l'air ou sous un courant d'azote. La détection des taches peut être faite en utilisant un réactif

directement sur la plaque. Il existe des réactifs chimiques non destructeurs, qui permettent la récupération des lipides après la détection (**Christie,1982**).



**Figure 6** : schéma d'une plaque développée (**Rouessac et al, 2004**)

## I.3.2. Méthodes spectroscopiques d'analyse des lipides

### I.3.2.1. Spectroscopie UV-Visible

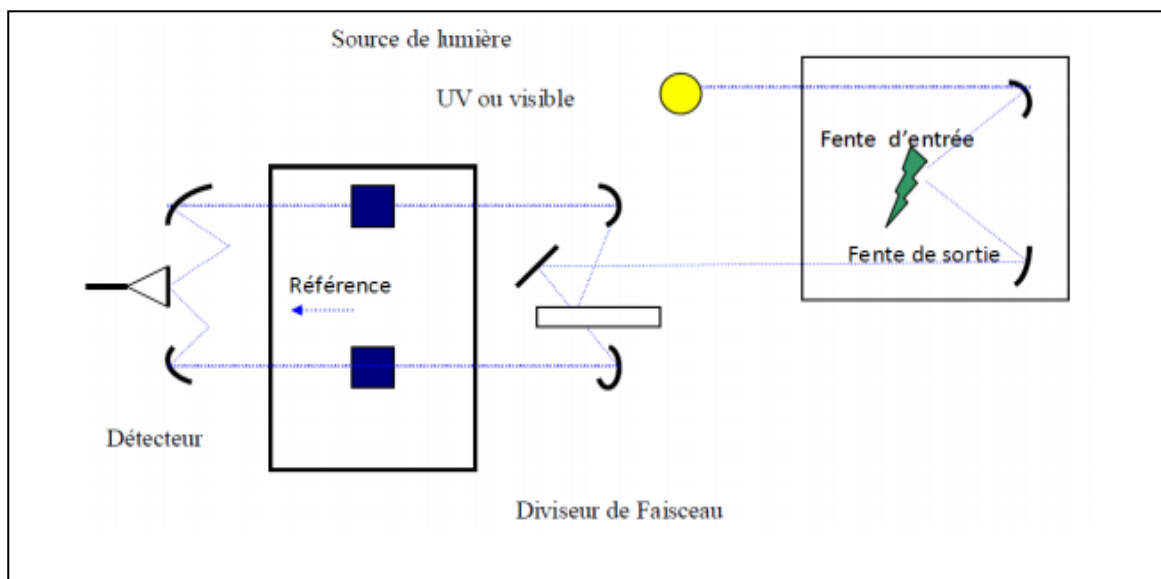
La spectrophotométrie UV-visible est une technique analytique fondée sur l'étude du changement de l'intensité de la lumière traversant une solution colorée, dans un domaine d'application comprise entre 200 et 800 nm, en effet pour pouvoir déterminer les concentrations des substances absorbantes (**Meyer et Denier, 1996**).

#### I.3.2.1.1.Principe

Le spectrophotomètre est un appareil permettant de mesurer l'absorbance d'une solution, pour différentes longueurs d'ondes (figure7). Pour cela, il fait passer un rayon d'une longueur d'onde choisie à travers une cuve contenant la solution à étudier (figure8). Les molécules de la solution absorbent plus ou moins le rayon lumineux, on définit alors l'absorbance pour cette longueur d'onde (**Benaissa ,2011**).



**Figure 7** : Photo d'un appareil spectrophotométrie UV-visible (photo prise)



**Figure 8**: Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceau (Benaissa A, 2011).

### I.3.2.2.. Spectroscopie d'absorption infrarouge

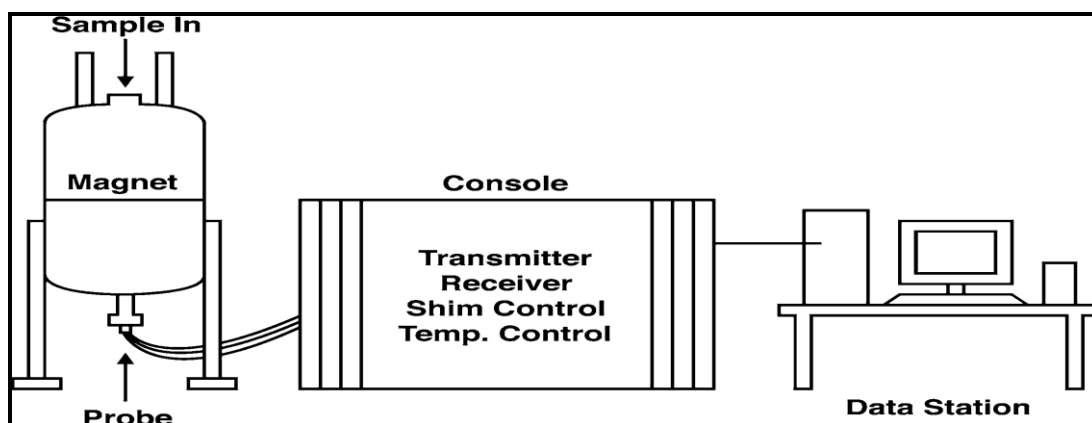
La spectrophotométrie infrarouge est une technique qui permet d'identifier la structure des composés des liquides, des solides, des gaz, des poudres, des fibres, des films ou des surfaces. Elle s'intéresse à la caractérisation des groupements fonctionnels présents dans une molécule. Le signal d'absorption IR pourrait être utilisé pour analyser et obtenir des informations sur les groupes structuraux et fonctionnels qualitatifs des lipides.

En principe, depuis IR les intensités des bandes sont linéairement liées à la concentration de la molécule absorbante, des informations quantitatives sur le lipide peuvent également être obtenues (**van de Voort et Sedman, 2000**). Spectroscopie IR a été appliqué aux lipides solides pour obtenir des informations sur le polymorphisme, structure cristalline, conformation et longueur de chaîne. Dans les huiles, IR est couramment utilisé pour déterminer la présence et le contenu de l'insaturation trans (**Gunstone, 1996**).

### I.3.2.3. Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire

Parmi toutes les techniques spectroscopiques, la RMN est la technique de choix pour la caractérisation des molécules organiques ; elle permet l'accès à des informations concernant le squelette et la fonctionnalisation des molécules (**Günther, 1994**).

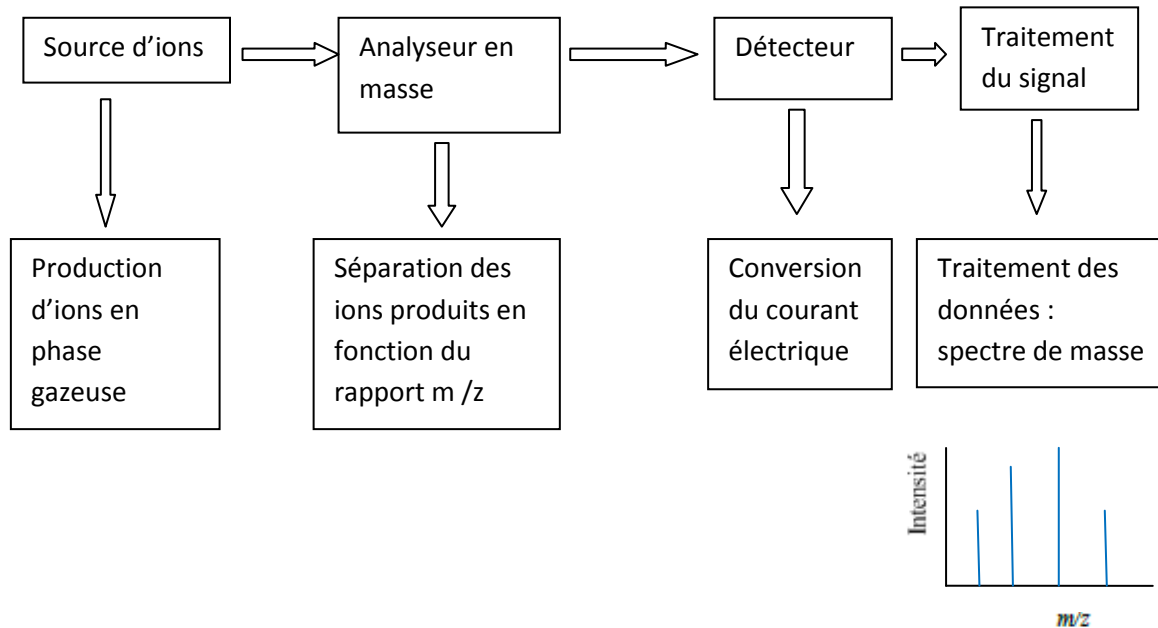
L'originalité de la RMN par rapport aux autres techniques spectroscopiques réside dans le fait d'apporter une information précise et individuelle sur la très grande majorité des atomes constitutifs de la molécule, de permettre l'identification des connexions entre atomes des diverses entités tout en les situant dans l'espace les uns par rapport aux autres (**Platzer, 2002**).



**Figure 9** : Un diagramme d'un spectromètre RMN. L'instrument est constitué d'un cryogénique supraconducteur (l'aimant RMN), d'une console électronique et d'une station de données / travail qui contrôle également toutes les fonctions de l'instrument. (**Günther, 1995**).

### I.3.2.4. Spectrométrie de masse

Le principe de la spectrométrie de masse est basé sur la mesure directe du rapport masse sur le nombre de charges élémentaires ( $m/z$ ), positives ou négatives, d'ions obtenus à partir du composé à analyser. Le dalton(Da) est l'unité du rapport  $m/z$ . Le spectromètre de masse est composé de la source qui produit les ions, l'analyseur qui est chargé de les séparer, et le détecteur (**Silverstein et al., 1998**).



**Figure 10:** schéma de principe général d'un spectromètre de masse

## II. Les protéines

### II.1. Définition

Les protéines sont des polymères linéaires d'acides aminés unis par une liaison amide, dite liaison peptidique établie entre le groupement  $\alpha$ -carboxyle de l'un et le groupement  $\alpha$ -aminé du suivant. Certains de ces acides aminés ne peuvent pas être fabriqués par l'organisme et doivent obligatoirement être apportés par l'alimentation on les appelle les « AA indispensables » (**André Briend, 1985**).

### II.2. Rôles

#### 1. Protection

Par exemple les anticorps de l'immunité humorale défendent le soi (l'organisme) contre le non-soi (les substances étrangères).

**2. Régulation**

Les protéines participent à la communication intra et intercellulaire qui permet la coordination du métabolisme au niveau de la cellule et entre les différents niveaux de l'organisation hiérarchique des organismes multicellulaires.

**3. Mouvement**

Par exemple l'actine et la myosine sont les protéines de la contraction musculaire, la dynéine est la protéine des cils et flagelles qui meuvent nombre de cellules.

**4. Transport**

Par exemple l'hémoglobine transporte l'O<sub>2</sub> des poumons vers les tissus et le CO<sub>2</sub> des tissus vers les poumons (rôle dévolu à l'hémocyanine chez les invertébrés).

**5. Energie**

Les protéines sont des réserves d'acides aminés en tant que substrats énergétiques : par exemple, l'ovalbumine du blanc d'œuf, la caséine du lait, les protéines des graines qui nourrissent la descendance, les protéines musculaires chez l'homme.

**6. Structure**

Les protéines soutiennent et protègent les structures biologiques : par exemple le collagène du tissu conjonctif animal, la kératine des phanères, la tubuline des microtubules du cytoplasme (**Christian Moussared,2006**).

**II.3. Importance biologique**

Les protéines sont des molécules biologiques « de première importance » : **quantitative** ; elles constituent plus de la moitié du poids sec des cellules et **qualitative** ; elles participent à (presque) toutes les fonctions cellulaires. L'omniprésence et l'omnipotence des protéines reflètent le fait que l'information génétique s'exprime sous forme de protéine. L'ADN détient le pouvoir législatif .Il « fait la loi » : les protéines détiennent le pouvoir exécutif : elles font appliquer la loi (**Christian Moussared,2006**).

## II.4. Méthodes d'analyse

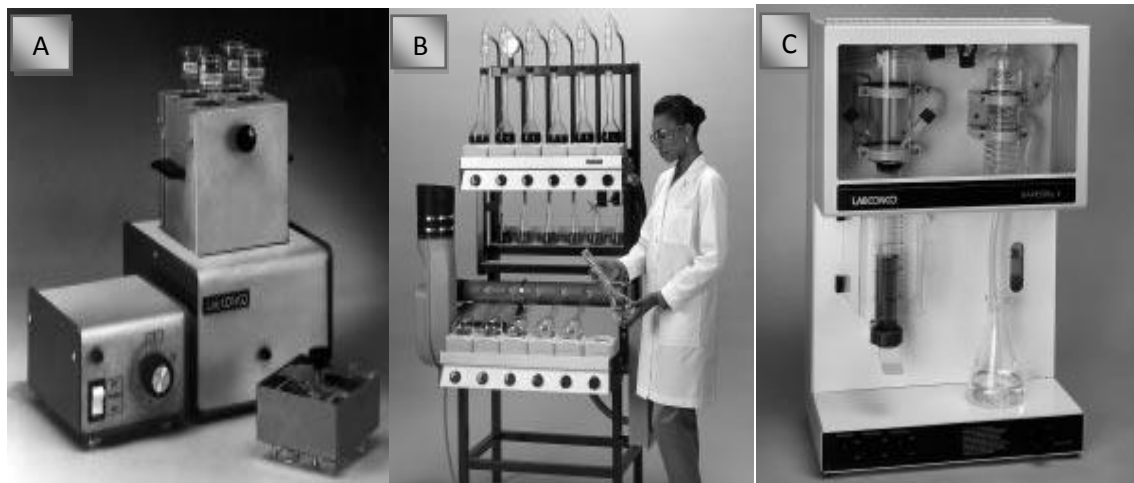
### II.4.1 Méthode Kjeldahl

#### II.4.1.1. Principe

Dans la procédure de Kjeldahl, les protéines et les autres composants alimentaires dans un échantillon sont digérés avec de l'acide sulfurique en présence de catalyseurs. Le total d'azote organique est converti en sulfate d'ammonium. Le condensat est neutralisé avec de l'alcali et distillé dans une solution d'acide borique. Les anions borates formés sont titrés avec de l'acide standardisé, qui est converti à l'azote dans l'échantillon.

Les étapes de la méthode de kjeldahl comprennent les éléments suivants:

1. **Digestion** avec de l'acide sulfurique, avec addition de permanganate de potassium en poudre pour compléter l'oxydation et conversion de l'azote en sulfate d'ammonium.
2. **Neutralisation** de la digestion diluée, suivie par distillation en un volume connu d'étalon acide, qui contient de l'iodure de potassium et iodate.
3. **Titrage** de l'iode libéré avec standard thiosulfate de sodium (**Wiles et al., 1998**).



**Figure 11:** Rapid Digestor-4 avec système d'élimination des fumées(A), appareil combiné de digestion /distillation de Macro-Kjeldahl (B), appareil de distillation à la vapeur(C) (**Bradstreet, 1965**).



**II.4.1. 2. Les avantages et les désavantages de méthode de kjeldahl****II.4.1.2.1. Avantages**

- Applicable à tous les types d'aliments
- Peu coûteux (si vous n'utilisez pas un système automatisé)...

**II.4.1.2.2. Désavantages**

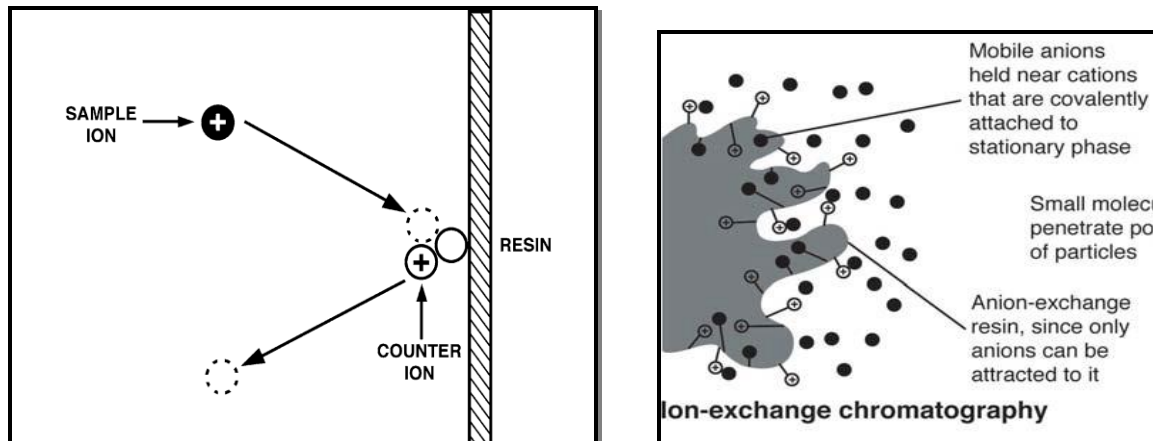
- Mesure l'azote organique total, pas seulement les protéines azote
- Prendre du temps
- Précision plus faible que la méthode biuret
  
- Réactif corrosif

**II.4.2 Séparation par adsorption****II.4.2.1.Principe**

La chromatographie d'adsorption est définie comme la séparation de composés par adsorption ou désorption à partir de la surface d'un support solide par un solvant d'éluion. Chromatographie d'échange d'ion et chromatographie d'affinité sont deux types de chromatographie d'adsorption (**Bonner, 2007**).

**II.4.2.2. Chromatographie d'échange d'ion**

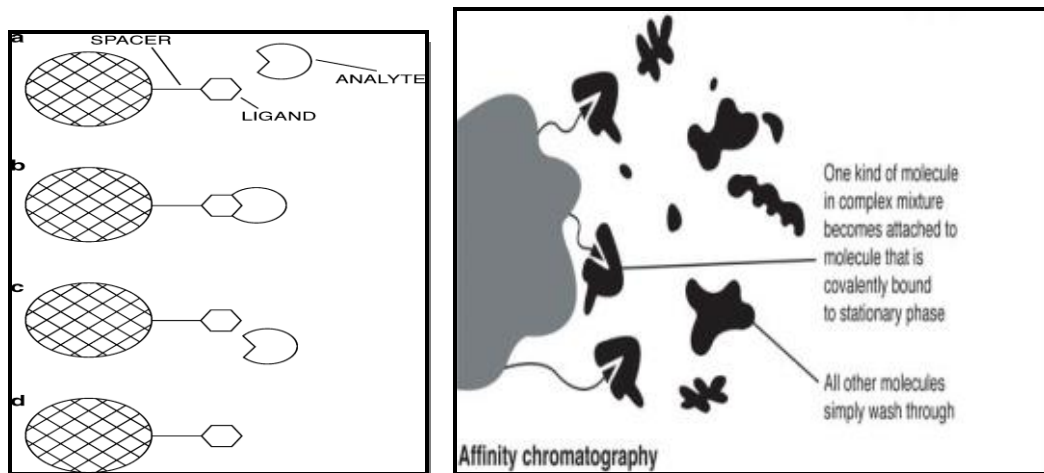
La chromatographie d'échange d'ion est la plus communément utilisée comme technique de séparation des protéines. Une matrice chargée positivement est appelée **un échangeur d'anions**, car elle se lie ions ou molécules chargés négativement en solution. Une matrice chargée négativement est appelé **un échangeur de cations** parce qu'il lie des ions ou des molécules chargés positivement (**Bonner,2007 ; Doultani,2004**)



**Figure 12:** La base de la chromatographie par échange d'ions (Harris, 1999 ).

### II.4.2.3. Chromatographie d'affinité

La protéine est séparée dans une matrice chromatographique contenant un ligand lié par covalence à un support solide. Un ligand est défini comme une molécule avec affinité de liaison réversible, spécifique et unique pour une protéine (Bonner,2007 ; Pfeiffer et al,1997).



**Figure 13:** Principes de la chromatographie d'affinité bio sélective. (a) Le support présent le ligand immobilisé à l'analyte à isoler. (b) L'analyte entre en contact avec le ligand et se fixe. (c) L'analyte est récupéré par l'introduction d'un éluant, qui dissocie le complexe contenant l'analyte au ligand,(d) Le support est régénéré, prêt pour l'isolation suivante (Heftmann ,2004).

### II.4.3. Séparation par taille

#### II.4.3.1. Chromatographie d'exclusion de taille

On laisse couler une solution de protéine dans une colonne garnie d'un support solide de perles poreuses constituées d'un matériau polymère réticulé tel que l'agarose ou le dextrine. Les molécules plus grosses que les pores dans les perles sont exclues, se déplaçant rapidement à travers la colonne et s'éluant de la colonne dans les plus brefs délais. Les petites molécules pénètrent dans les pores des billes et sont retardées, se déplaçant ainsi très lentement à travers la colonne. Les molécules de tailles intermédiaires interagissent partiellement avec les perles poreuses et éluent à des temps intermédiaires. (Heftmann,1992).

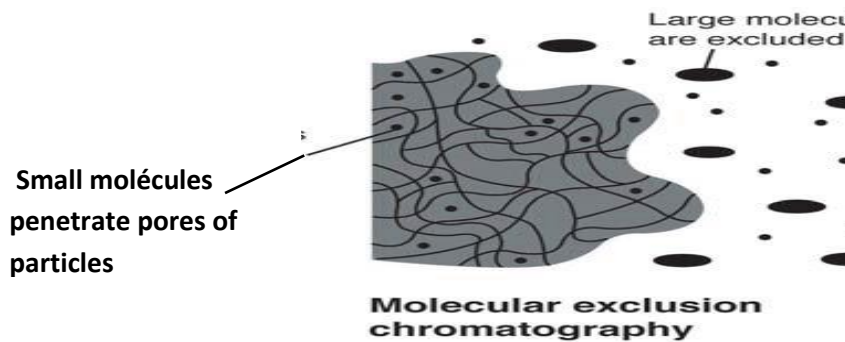


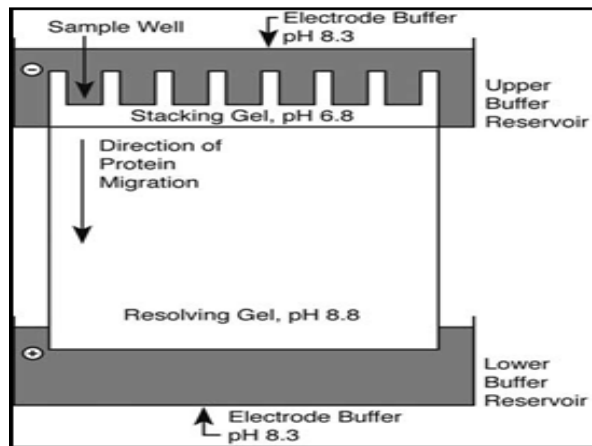
Figure 14: chromatographie d'exclusion de taille (Heftmann ,2004).

### II.4.4.Séparation par électrophorèse

#### II.4.4.1. Électrophorèse sur gel de polyacrylamide

##### II.4.4.1.1.Principe

L'électrophorèse est définie comme la migration de molécules chargées dans une solution à travers un champ électrique. Le type d'électrophorèse les plus courants réalisés avec des protéines est l'électrophorèse zonale dans lequel les protéines sont séparées d'un mélange complexe en bandes par migration dans une solution aqueuse tampons à travers une matrice de polymère solide appelé gel (Scopes,1970 ; Coligan,2007).

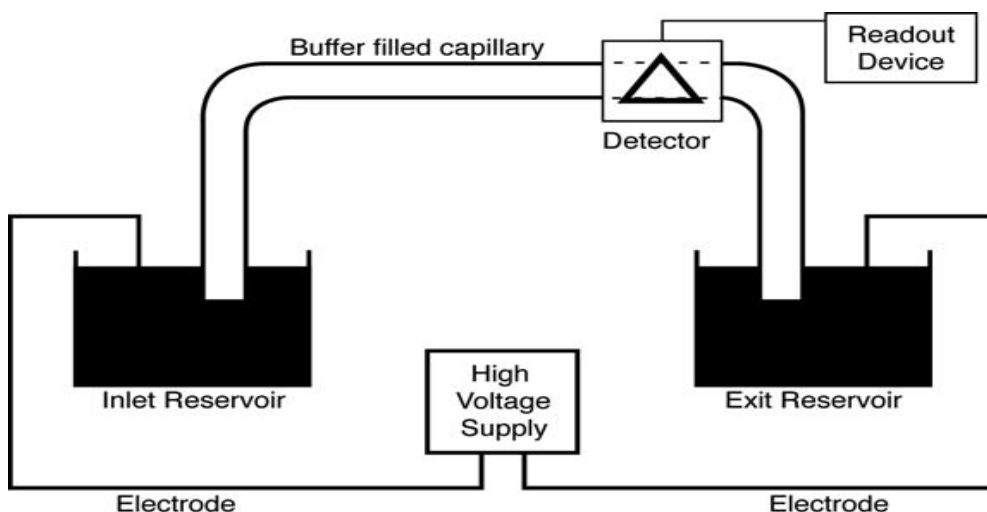


**Figure 15 :** Schéma d'une unité d'électrophorèse sur gel en plaque indiquant les pH des gels d'empilement et de résolution et du tampon d'électrode dans un système de tampon discontinu anionique (Bonner , 2007).

#### II.4.4.2. Électrophorèse capillaire

##### II.4.4.2.1.Principe

Les protéines peuvent être séparées sur la base de la charge ou de la taille dans un champ électrique. La principale différence entre l'électrophorèse capillaire et l'électrophorèse conventionnelle (décrite précédemment) est que le tube capillaire est utilisé à la place des gels d'acrylamide coulés dans des tubes ou des dalles (Dolnik et al.,2004).



**Figure 16:** Schéma d'un système d'électrophorèse capillaire (Dolnik V, 2008).

### III. Les glucides

#### III.1. Définition

Les sucres sont des composés à base de carbone, d'hydrogène, et d'oxygène. Ils peuvent être groupés par deux comme dans le cas de sucrose composé d'une molécule de glucose associé à une molécule de fructose, au ou contraire être groupés en très grand nombre comme dans le cas de l'amidon qui est un assemblage des milliers de molécules de glucose (**André Briend, 1985**).

#### III.2. Rôle

Les rôles des glucides sont multiples :

##### 1. Au niveau extracellulaire

**A. Structural :** sous forme de fibres ou de gels, les glucides soutiennent et protègent les structures biologiques (par exemple la cellulose de la paroi des cellules végétales, la chitine de l'exosquelette des insectes et crustacés, les glycosaminoglycanes du cartilage et des tendons).

##### 2. Au niveau intracellulaire

###### A. Energétique

- L'oxydation des glucides est l'une des voies essentielles de production d'énergie dans les cellules non photosynthétiques.
- Des polymères (amidon chez les végétaux et glycogène chez les animaux) mettent en réserve cette énergie.

###### B. Métabolique

Ils sont transformés en d'autres molécules d'intérêt biologique, glucidiques ou non.

##### 3. Au niveau intercellulaire

**A. Fonctionnel :** Liés à des protéines (glycoprotéines) ou à des lipides (glycolipides) membranaires, des glucides sont impliqués dans les processus de reconnaissance cellulaire. L'exemple classique est celui des groupes sanguins du système ABO qui sont caractérisés par des chaînes oligosaccharidiques

différentes présentes dans une glycoprotéine de la membrane des globules rouges.

### **III.3. Importance biologique**

Le principal intérêt des glucides est d'apporter de l'énergie à l'organisme quand ils sont apportés en excès des besoins. L'organisme transforme le glucose en glycogène qui est un assemblage de molécules de glucose différent de l'amidon et qui a la propriété de pouvoir être décomposé très rapidement quand l'organisme a besoin d'énergie (**Christian Moussared, 2006**).

### **III.4. Méthodes d'analyses**

#### **III.4.1. Chromatographie Liquide à haute performance (HPLC)**

HPLC est la méthode de choix pour l'analyse de mono- et oligosaccharides et peuvent être utilisés pour l'analyse de polysaccharides après hydrolyse (**Hicks,1988 ; Huber et Bonn,1995**).

#### **III.4.2. Chromatographie en phase inverse**

Dans la chromatographie en phase inversée la phase stationnaire est hydrophobe, et la phase mobile est en grande partie de l'eau (**El Rassi,1995 ; Rajakyla,1986**).

#### **III.4.3. Chromatographie en phase gazeuse**

Cette méthode fournit à la fois une analyse qualitative et quantitative des glucides, les sucres doivent être convertis en dérivés volatils (**Biermann et McGinnis,1989 ; Fox et al,1989**).

#### **III.4.4. Spectrométrie de masse**

Avec les hydrates de carbone la Spectrométrie de masse est utilisée pour l'analyse structurale mais pas dans une manière routinière (**Settinieri, 1995**).

**III.4.5. Électrophorèse capillaire**

L'électrophorèse capillaire est également utilisée pour séparer et mesurer les hydrates de carbone, puisque les glucides sont incolores, un révélateur ou une détection avec un UV ou un détecteur de fluorescence est requis (**El Rassi, 1995**).

### I. Objectif du travail

L'objectif recherché à travers cette étude est de déterminer la composition chimique (taux d'humidité et matière sèche, teneur en cendres, teneur en protéines, teneur en lipides, teneur en fibres, teneur en hydrates de carbone) de différentes parties de *Foeniculum vulgare* à savoir : feuilles, tiges, bulbe, racines, graines locales, graines importées.

### II. Matériel et réactifs utilisés

**Tableau 3:** Solvants et produits chimiques utilisés dans cette étude.

Techniques utilisées	Produits chimiques	Références
1. Détermination de la teneur en lipides	Hexane	CARLO ERBA Reagents S.A.S  P=95-99,98%
2. Détermination de la teneur en protéines	-comprimés kjeltabs  -Acide sulfurique : H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  -Hydroxyde de sodium (NaOH)  -Acide borique H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>  -Acide chlorhydrique HCL	Kjeltec  SIGMA-ALDRICH  P=95-97%  Chem-lab NV. P= 98,8 %  VWR PROLABO CHEMICALS .P= 99%  BIOCHEM. P = 37 %



<b>3.</b>	-Acide sulfurique	SIGMA-ALDRIC
Détermination de la teneur en fibres brute		P=95-97%
	-Hydroxyde de sodium (NaOH)	Chem-lab NV. 98,8 %
	-Acétone	SIGMA-ALDRICH
		P= ≥ 99,5%

**Tableau 4.** Appareils utilisés dans cette étude

Appareils	Marque
Lyophilisateur	CHRIST- Alpha 1-2 LD plus
Etuve	Memmert GmbH + Co.KG / Postfach 1720 / D-91107 Schwabach
Four à moufle	Wisetherm .model : FHP-05 S /N 0402142132R004
Plaque chauffante	SELECTA 580883 S / N
Appareil soxhlet	Nahita (heating mantle w/ regulation code 50655220 E06007
Balance analytique	OHAUS CORPORATION Q / SGYM 1009
Rotavapeur	Stuart rotary evaporator
Appareil de minéralisation de type TDS 20 postes	FOSS
Scrubber : dispositif d'aspiration et de neutralisation de vapeur acides.	FOSS Scrubber 2501 Tecator™ line
Appareil de distillation	FOSS Kjeltet™ 8100 Tecator™ line
Hotte	CRUMA ,Model: CR670EG

	SERIAL N°:VTR594016
--	---------------------

### **III. Méthodes**

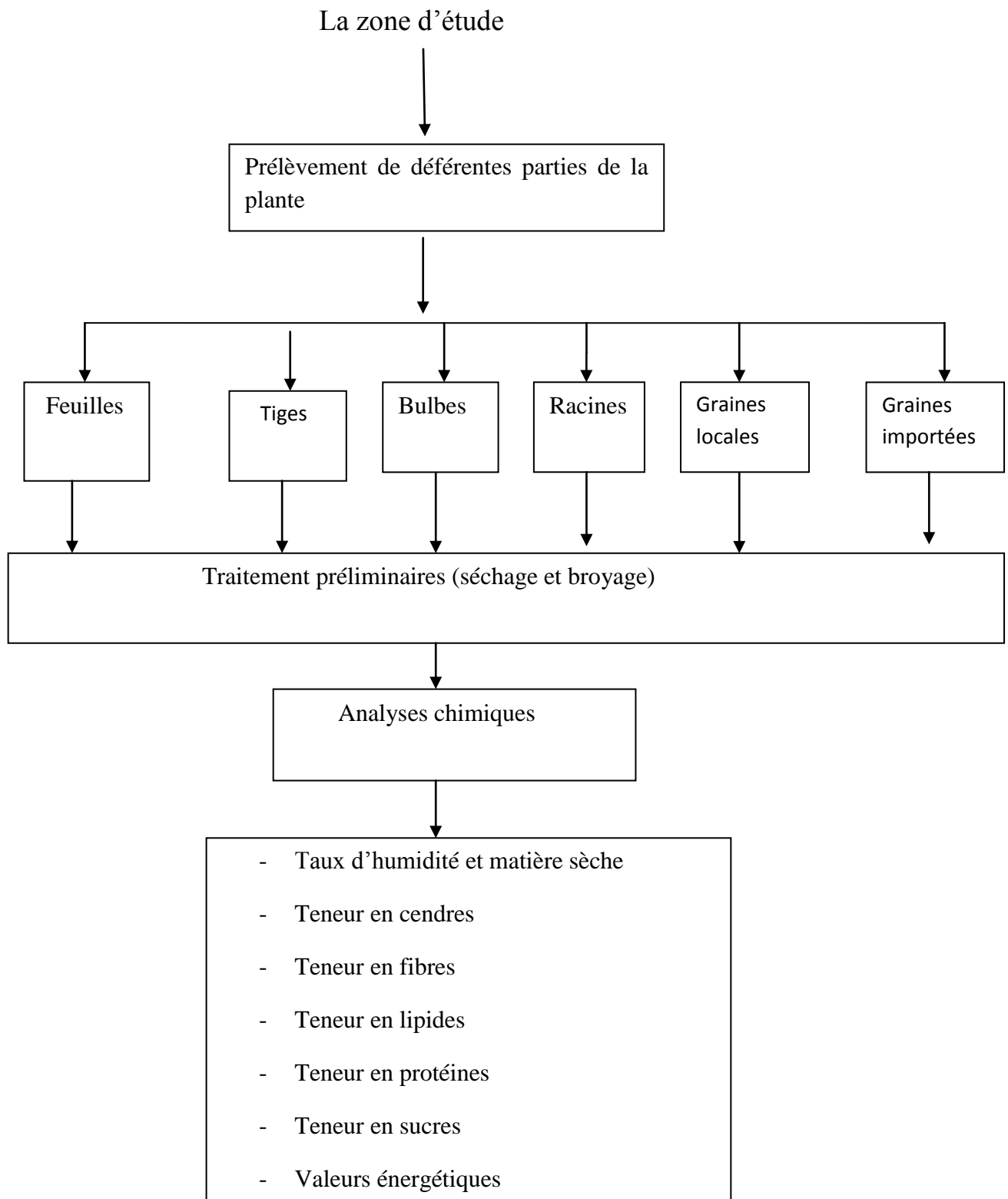
#### **III.1. Protocole expérimental**

Le protocole expérimental de notre étude est représenté par la figure 17. Il repose sur les étapes suivantes :

- Le prélèvement.
- Le traitement préliminaire des échantillons.
- Les analyses.

#### **III.2. Echantillonnage**

Le matériel végétal utilisé a été prélevé de la région d'El Asnam -Bouira- .



**Figure 17** : schéma de protocole expérimental

### III.3. Méthodes d'analyse chimiques

#### III.3.1. Détermination de la teneur en eau et la matière sèche (AOAC ,1998).

##### III.3.1.1. Mode opératoire

2g de l'échantillon frais dans chaque coupelle: c'est le poids P1 ; Placer les dans une étuve réglée à 105°C pendant environ trois heures ; Peser les coupelles et répéter l'opération avec une heure d'intervalle entre chaque pesée jusqu'au poids constant.

##### III.3.1.2.Expression des résultats

La teneur en eau (%) du matériel végétal est donnée par la formule suivante:

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

**P 1**: masse en g de la prise d'essai avant séchage.

**P2** : masse en g de la prise d'essai après séchage.

A partir de la teneur en eau, on détermine le taux de matière sèche qui est donné par la formule suivante

$$\text{Taux de matière sèche (MS)} = 100 - \text{teneur en eau (\%)}$$

#### III.3.2.Détermination de la teneur en cendre

Les différentes parties de la plantes sont séchés à 105 ° C puis elles sont broyées et tamisées .Le broyat obtenu est conservé dans des flacons hermétiques et bien fermés jusqu'au jour des analyses.

##### III.3.2.1.Principe

La teneur en cendres d'une denrée alimentaire représente le résidu inorganique restant après la destruction de la matière organique (**Cohen, 1971**).

### III.3.2.2. Mode opératoire

Noter le poids à vide de trois creusets, peser 5 g de l'échantillon dans chacun (**figure 18**), cendre le matériau à pas plus de 525 ° C pendant 4 à 6 heures, au besoin, la cendre pendant la nuit, dans un four à moufle. Après le refroidissement on fait la peser. La différence de poids donne la teneur totale en cendres et est exprimée en pourcentage (Cohen, 1971).

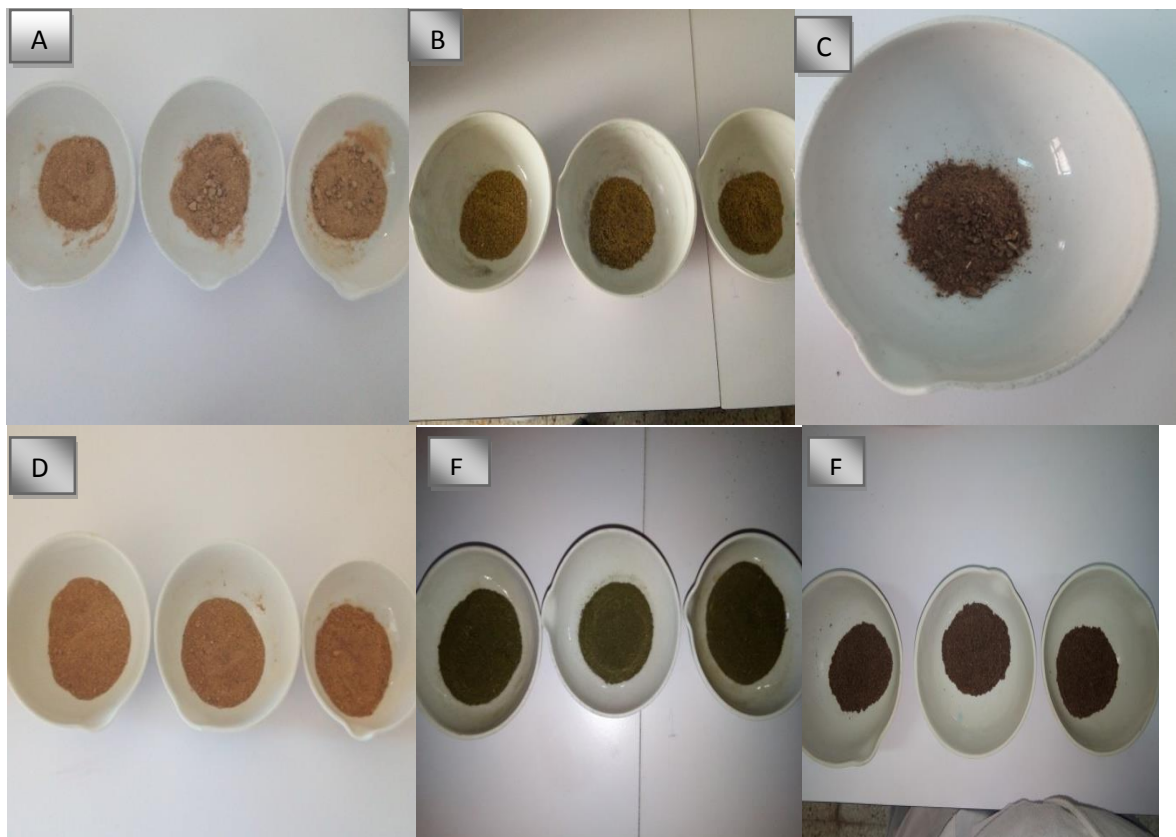
### III.3.2.3. Expression des résultats

$$\text{Cendre (\%)} = [(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)] \times 100$$

$M_0$ : poids de creuset vide (g);

$M_1$  : poids (creuset + échantillon) avant incinération (g)

$M_2$  : poids (creuset + cendres) après incinération (g)



**Figure 18** : Défférentes parties de *F. vulgare* en poudres

### III.3.4. Détermination des fibres brutes

La méthode est basée sur la solubilisation de composés non cellulosiques par des solutions d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium, selon la méthode de Weende (Wolff, 1968).

#### III.3.4.1. Mode opératoire

Peser dans un creuset 1g d'échantillon et on ajoute 100 ml d'acide sulfurique (1.25%), chauffé jusqu'au début de l'ébullition, compter exactement 30 minutes, puis le lavage de l'acide sulfurique trois fois avec 30ml d'eau distillée chaude, ensuite ajouter 100 ml de NaOH (0,313N), chauffer jusqu'au début de l'ébullition (30 minutes). Filtrer et laver 3 fois, avec 30 ml d'eau distillée chaude et effectuer un dernier lavage à l'eau distillée froide puis laver 3 fois le contenu du creuset avec 25 ml d'acétone.

Retirer les creusets et déterminer le poids sec, après séchage à 105 °C pendant une heure ou jusqu'à poids constant. Laisser refroidir dans un dessiccateur. Quand la teneur en cendres est également requise, le creuset est placé dans un four à moufle à 550 °C pendant cinq heures et repesé après refroidissement.

$$\text{Fibres brutes} = [\text{poids des résidus filtrés et séchés} - \text{poids des cendres}] \times 100$$

### III.3. 5.Détermination de la teneur en lipides

#### III.3.5.1. Principe

Dans un système conventionnel de Soxhlet comme montré dans la figure 19, la matière végétale est placée dans une cartouche, et remplie de solvant frais condensé à partir d'un ballon à distiller. Quand le liquide atteint le niveau de débordement, un siphon aspire la solution de la cartouche et la décharge de nouveau dans le ballon à distiller, portant les corps dissous extraits dans le liquide en bloc. Dans le ballon, le corps dissous (soluté) est séparé du solvant par distillation. Le soluté reste dans le flacon et le solvant frais passe de nouveau dans le lit de solide. L'opération est répétée jusqu'à ce que l'extraction complète soit réalisée (Luque-Garcia et Luque de Castro, 2004).

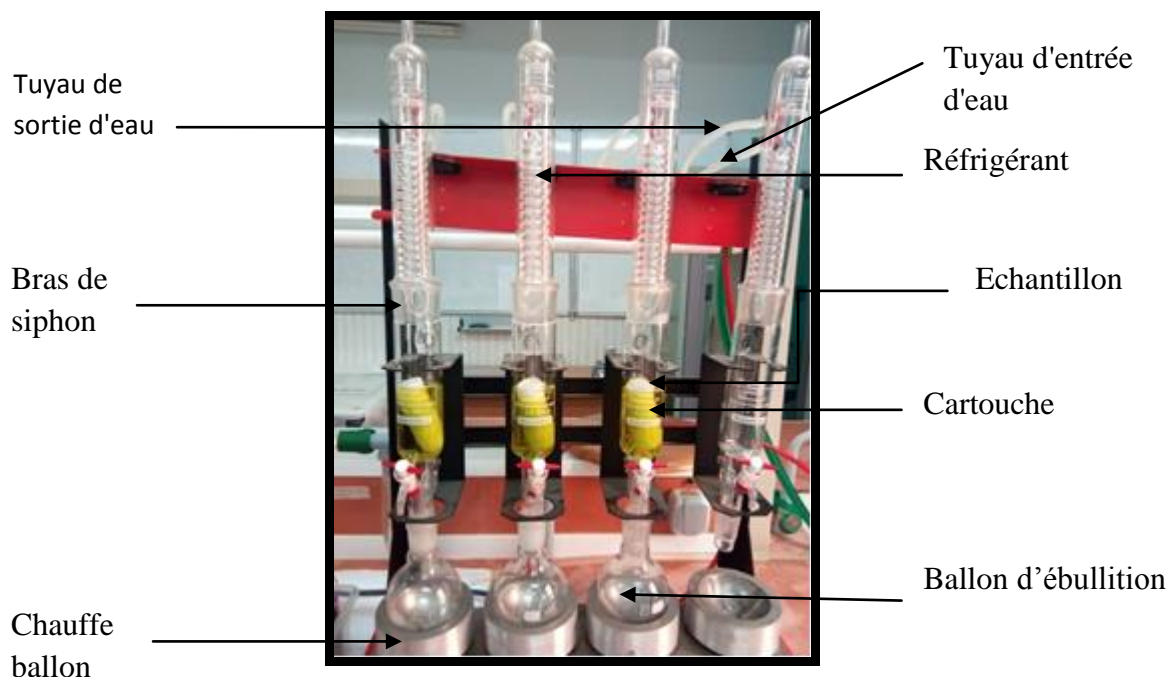


Figure 19: Appareil de soxhlet

### III.3.5.2. Mode opératoire

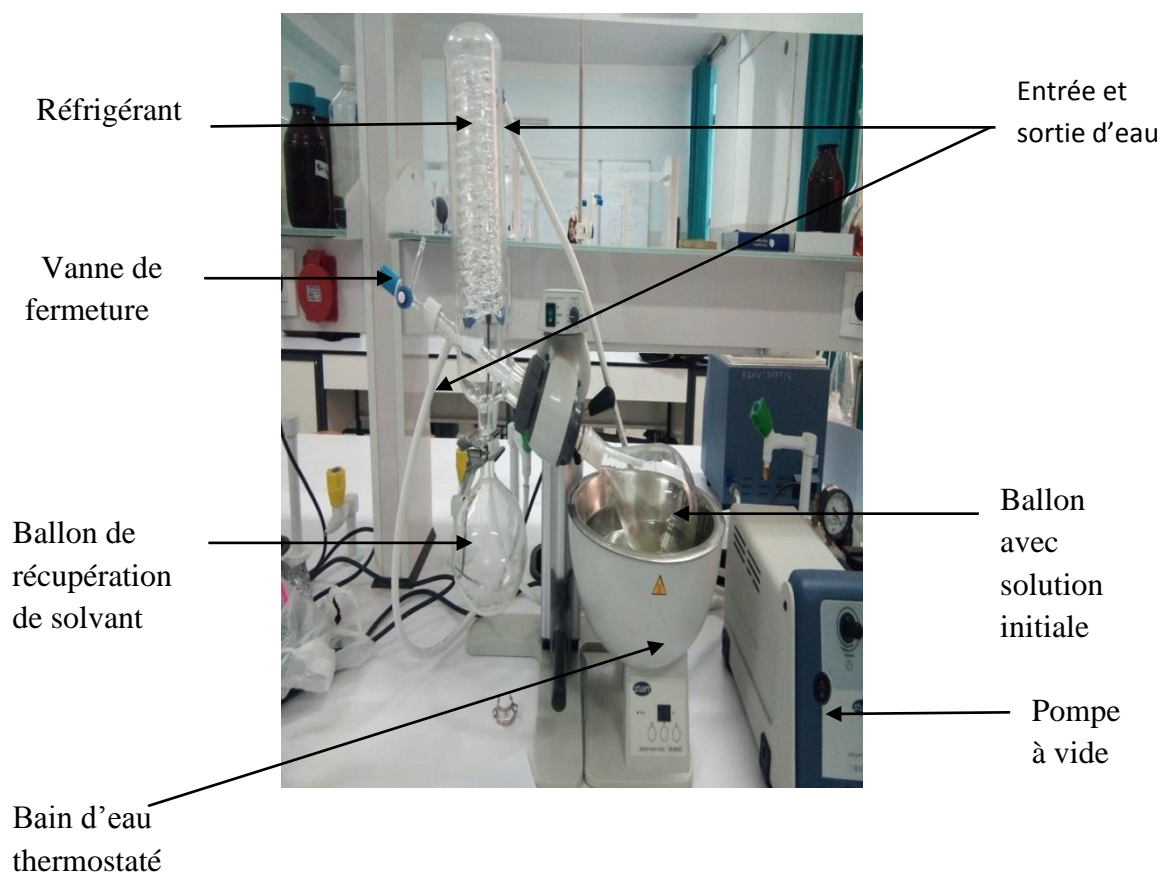
On remplit 25 g de poudre dans une cartouche de soxhlet, l'extraction se fait par 200 ml de l'hexane, pendant 4 à 5 heures dans la pression atmosphérique.

On mit en marche le chauffe ballon, on ouvre le robinet d'eau passant par le réfrigérateur, puis le solvant est porté à ébullition, ensuite les vapeurs de solvant se condensent dans le réfrigérant et les gouttelettes de solvants s'écoulent dans le récipient du Soxhlet entre en contact avec l'échantillon. Quand le solvant condensé atteint son plus haut niveau, il retourne par le trop-plein du ballon et le cycle évaporation – condensation se poursuit jusqu'à épuisement de la matière végétale. L'extrait avec le solvant est recueilli dans le ballon. Après 5 heures on arrête l'extraction (AOAC, 2007).

### III.3.5.3. Elimination du solvant

La séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide d'un appareil appelé Rotavapeur (**figure20**).

Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide (l'eau distillée) chauffé à température égale à la température d'évaporation du solvant (**45°C**). L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat (**Moser et al., 2014**).



**Figure 20:** appareil rotavapeur (photo prise)

### III.3.5.4. Expression des résultats

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$MG(\%) = (P_1 - P_2) / ME \times 100$$



**P<sub>2</sub>** : poids du ballon vide.

**P<sub>1</sub>** : poids du ballon après évaporation.

**ME** : masse de la prise d'essai.

**MG** : taux de la matière grasse.

### III.3.5.5. Analyse des acides gras

L'analyse des acides gras a été réalisée en utilisant un Hewlett Packard Chromatographe en phase gazeuse (série HP 6890), équipé d'une ionisation de flamme détecteur et une colonne capillaire, HP5 (30 m; 0,32 mm; Épaisseur de film 0,5  $\mu$ m).

**Tableau 5** : Les températures de la colonne et le débit

Température (°C)	Temps (min)	Débit (ml/min)
150	1	
235		17
245		1
245	5	
260		
275		

L'azote était le transporteur gaz à un débit de 1,5 ml / min. L'identification des pics était réalisé par les temps de rétention et en les comparant avec normes standards analysées dans les mêmes conditions (O'Fallon *et al.*, 2007).

### III.3.6. Détermination de la Teneur en glucides (carbohydrates)

#### III.3.6.1. Procédure d'extraction

La poudre d'échantillon séchée (1,0 g) a été extraite avec 40 ml d'éthanol aqueux à 80% à 80 ° C pendant 30 minutes. La suspension résultante a été centrifugée à 15 000 g pendant 10 minutes. Le surnageant a été concentré à 60 ° C sous pression et dégraissé trois fois avec 10 ml d'éther éthylique, successivement. Après concentration à 40 ° C, les résidus solides ont été dissous dans l'eau jusqu'à un volume final de 5 ml, filtré un disque de filtre de 0,22  $\mu$ m, transféré dans un flacon d'injection et analysé par HPLC (Barros *et al.*, 2010).

**III.3.6.2. teneur en Carbohydate**

La teneur en glucides a été estimée par différence de valeurs moyennes:

100 - (pourcentage d'humidité, de cendres, de protéines, de lipides)

(Lima *et al.*, 2014).

**III.3.7. Détermination de la Teneur en protéines****III.3.7.1. Méthode de kjeldahl**

La méthode de kjeldahl est utilisée pour la détermination de l'azote organique et connue comme la méthode standard pour déterminer le taux d'azote.

On distingue 3 étapes pour un dosage des protéines par la méthode de kjeldahl (**voir annexe 1**).

**III. 3.7.2. Mode opératoire****1. Prise d'essai**

Peser la prise d'essai dans un papier exempt d'azote, on a pesé 0.5 g de poudre de chaque partie de plante

**2. Minéralisation**

On ajoute dans l'ordre dans le tube de minéralisation : La prise d'essai, 2 comprimés kjeltabs, 15 ml d'acide sulfurique, cette méthode est basée sur la transformation de l'azote organique en azote minéral sous forme ammoniacale  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  par l'action oxydative de l'acide sulfurique bouillant sur la matière organique. On mélange le contenu du tube, puis le laisser au repos pendant 10 minutes. On positionne le collecteur de fumées sur les tubes, et activer le scrubber, ensuite transférer les tubes sur le minéralisateur préchauffé à 400° C, puis minéraliser pendant une heure et 30 minutes, à la fin de cette étape, le minéralisât doit être limpide, enfin retirer les tubes et laisser le portoir en position de refroidissement pendant 20 minutes, la collecte de fumée doit être maintenue lors de cette étape.



**Figure 21:** Appareil de minéralisation(A), scrubber(B) (photo prise)

### 3. Distillation

Transférer le portoir avec les tubes à proximité du distillateur, puis diluer le contenu des tubes refroidis avec 80 ml d'eau distillée en rinçant parfois la paroi des tubes, ensuite placer sous le tube d'écoulement du distillat : un erlenmeyer de 250 ml contenant 25 ml d'acide borique coloré. Après Alcaliniser le contenu de tubes en introduisant automatiquement 70 ml de soude à 40% ( la quantité de soude est dite insuffisante lorsque le contenu du tube commence à bleuir).

-Pendant la distillation, la couleur rose d'acide borique transforme en couleur verte.



**Figure 22** : Appareil de distillation (photo prise)

#### 4. Titration

Titrer le contenu de l'erenmeyer avec de l'acide chlorhydrique à 0.1N, le point final est atteint lorsque la couleur rose apparait, on titre jusqu'à PH d'acide borique= 4.60 On note le volume d'acides délivré à 0.05 ml près (**Bradstreet, 1965**).



**Figure 23** : la titration d'acide borique

**Calcul**

$$\% \text{ d'azote} = \frac{(\text{titre d'échantillon} - \text{titre de blanc}) \times \text{Normalité de HCL} \times 14}{\text{prise d'essai}} \times \frac{100}{1000}$$

$$\% \text{ Protéine} = \text{Azote} \times 6,25$$

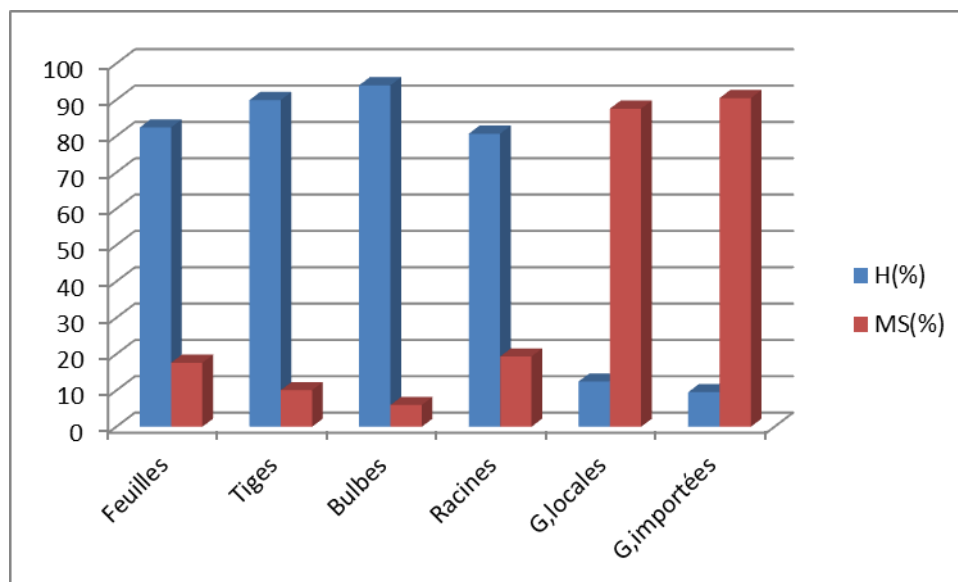
-Normalité de HCL = 0.1 N

- Facteur d'azote = 14

- Titre de blanc = 0.1

### 1. La teneur en eau et matière sèche

Les résultats de la teneur en eau et matière sèche de différentes parties de *F. vulgare* sont regroupés dans la **Figure 24**



**Figure 24:** Taux d'humidité et matière sèche de différentes parties de *F. vulgare*

La teneur en humidité analysée chez le *F. vulgare* est en générale plus élevée dans le bulbe avec une valeur de  $94,01 \pm 0,57\%$  et plus faible dans les graines avec une valeur de  $12,45\%$  dans les graines locales et de  $9,53\%$  dans les graines importées.

D'après nos résultats, les feuilles et la tige semblent être élevées ( $82,38 \pm 0,72\%$  et  $89,93 \pm 0,11\%$  respectivement) par rapport à ceux rapportés par **Zubay, (2006)** qui sont respectivement de  $76,36\%$  et  $77,46\%$ . Par contre les résultats obtenus par **Barros et al., (2010)** ont montré que le taux d'humidité des feuilles d'une variété du Nord Est du Portugal est de  $76,36\%$ . Une autre étude sur une variété de fenouil sauvage (plante entière) provenant de l'ouest algérien, a montré un taux d'humidité de  $76,5\%$  **Lazouni et al., (2006)**.

Par ailleurs, pour le bulbe, sa teneur en humidité est de  $94,01 \pm 0,57$  qui sont plus élevés par rapport à ceux trouvés par **Zubay, (2006)** qui est de  $71,31 \pm 4,01$ .

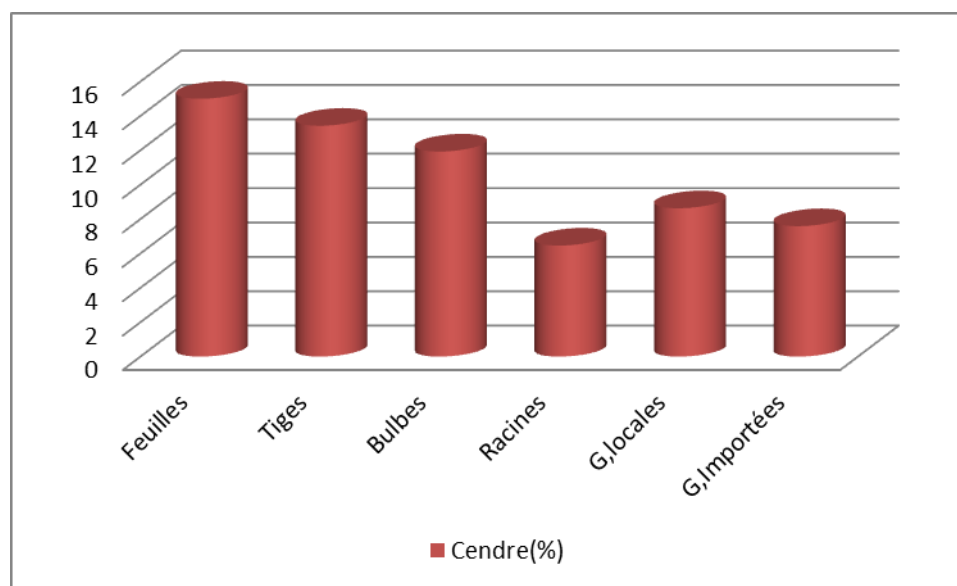
D'autre part, la teneur en humidité des graines de *F. vulgare* était faible ( $12,45 \pm 2,47\%$ ), donc ces graines sont moins hydratées ce qui est bénéfique pour

prolonger la durée de conservation des graines car une teneur élevée en humidité pourrait entraîner la décomposition des acides gras par action microbienne, et selon **Moura et al.,(2005)** et **Stavri et Gibbons, (2005)** l'humidité des graines locales de *F.vulgare* était de 7,6% et 8.39%.

**Bensadon et al.,( 2010)** expliqueront ces différences observées entre les résultats par les différences environnementale entre les régions , par contre **Hamoudi, (2012)** explique la différence marquée entre les teneurs en eau par la saison et la région de récolte, aussi les plantes cultivées dans les régions chaude comme le sud Algérien a un taux d'humidité plus faible par rapport aux plantes cultivées dans le nord.

## 2. la teneur en cendres

La composition en cendres des aliments est souvent utilisée comme mesure du niveau des éléments inorganiques. Les résultats de la teneur en cendres de différentes parties de *F.vulgare* sont regroupés dans la **Figure 25**



**Figure 25** : Teneur en cendres des différentes parties de *F.Vulgare*

D'après nos résultats ; on remarque que la teneur en cendre la plus élevée a été trouvée dans les feuilles ( $15 \pm 0.04 \%$ ) de matière sèche, et qui est de 3,70g / 100g de matière fraîche, ceci est en accord avec les résultats rapportés par **Barros et al., (2010)** qui ont trouvés la teneur la plus élevée des cendres au niveau de feuilles ( $3,43 \pm 0.04g$

/100g ) de matière fraîche, alors que la plus faible valeur a été trouvée au niveau des tiges ( $1,62\% \pm 0,12\text{g} /100\text{g}$ ) qui est proche avec nos résultats trouvés ( $1,88 \pm 0,14\text{g} /100\text{g}$ ). Ceci est en accord avec d'autres auteurs qui ont rapporté des niveaux plus élevés de minéraux dans les feuilles de fenouil que dans les fruits **O' zcan et Akbulut , (2007)**. Par ailleurs, la teneur en cendre de bulbe obtenue par **Barros et al., (2010)** est de  $2,39 \pm 0,02 \text{ g} /100\text{g}$  da matière fraîche qui est faible par rapport nos résultats qui sont de  $3,04 \pm 0,04 \text{ g} /100\text{g}$  .

Ceci est probablement dû à une forte accumulation d'éléments minéraux en raison de leur caractère halophile. Par contre selon **Lazouni et al., (2006)** la teneur en cendre de la plante entière est de 6 % de matière sèche qui est faible par rapport à nos résultats.

La teneur en cendres des graines de *F.vulgare* est de  $8.63 \pm 0,26 \%$  qui sont proche aux résultats obtenus par **Stavri et Gibbons , (2005)** qui sont de 9,8 %.

On constate qu'en générale les feuilles sont plus riches en cendres que les autres partie de la plante, c'est au niveau des feuilles que s'accumule les minéraux **Berri, (2008)**.

Les variations rencontrées dans la teneur en éléments minéraux et le taux de cendres de nos échantillons comparés à certains travaux antérieurs, peuvent être dues à certains facteurs écologiques, au facteur environnemental comme les minéraux du sol où la plante est cultivée, de la région de culture, l'âge de la plante, la période du cycle végétatif, l'année de récolte, ou même à des facteurs génétiques **Atchley, (1984)** ; **Laurent, (1991)**.



### 3. la teneur en protéines

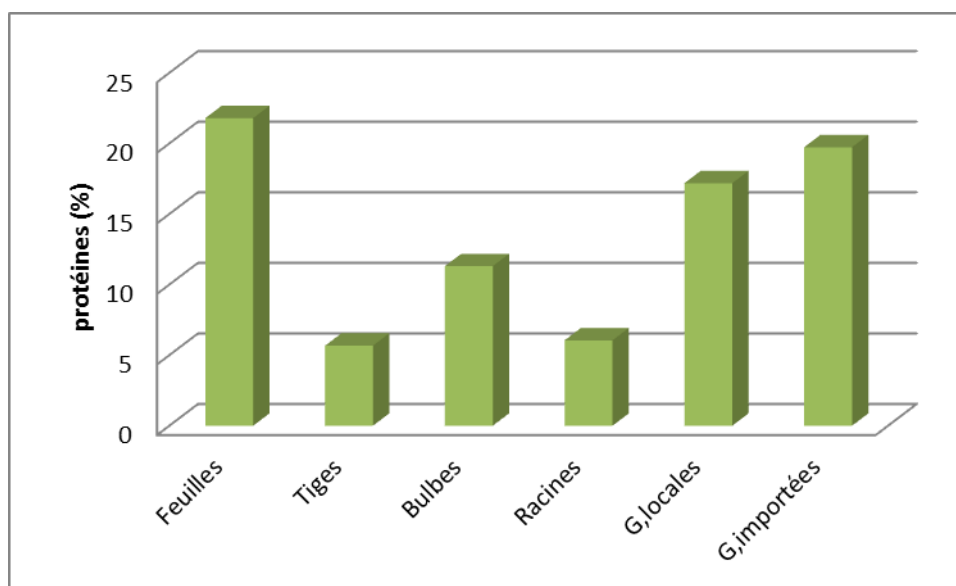
D'après nos résultats, la teneur en protéines la plus élevée a été trouvée dans les feuilles avec une valeur de 21,79%, une valeur de 17,18 % dans les graines locales et 19,73% dans les graines importées. Par contre la plus faible valeur a été trouvée dans la tige (5,67%). Cette variabilité des résultats entre les organes de plante peut s'expliquer par la localisation de l'azote dans la plante, L'azote est le constituant principal des protéines (chaînes d'acides aminés). Il est absorbé sous forme nitrique ou ammoniacale. Ces formes chimiques s'associent aux sucres et aux acides élaborés au niveau des feuilles pour former des acides aminés, dans les feuilles où la photosynthèse s'effectue, la plante reçoit des acides aminés et des sucres qui constituent la sève élaborée. Cela explique la teneur élevée en protéine au niveau des feuilles. La synthèse des réserves azotées se réalise au niveau des fruits et des graines cela explique la teneur importante des protéines trouvées dans les graines **Mucciarelli, et al, (1985)**.

Les graines locales contiennent une teneur en protéines qui est de valeur 17,18 ±0,007% exprimé en matière sèche, cette valeur est élevée par rapport à celle obtenue par **Malhotra, (2012)** et **Purwaningsih, (1999)** qui est de 15,8 % et qui est faible par rapport aux résultats trouvés par **Gurinder, (2010)** et **Sayed-Ahmad et al., (2017)** qui sont de 9,5%. Par contre, la teneur en protéines de la plante entière de *F.vulgare* est 17,50 % **Lazouni et al., (2006)** qui est approximative par rapport nos résultats, et qui est faible par rapport aux valeurs de la littérature qui est 20%

Selon **Barros et al., (2010)** les protéines de *F.vulgare* ont varié entre 1,08 % dans les tiges et 1,16% dans les feuilles (exprimé en poids frais) qui sont faibles par rapport nos résultats(1,25 % de poids frais) et aussi ils ont trouvé une teneur en protéines dans le bulbe qui est de 1,33 % qui est faible par rapport nos résultats (1.69 % de poids frais).

Globalement les variations de la composition chimique observée entre nos échantillons comparés à certains travaux antérieurs, peuvent s'expliquer essentiellement aux moments de prélèvement des échantillons qui étaient différents. Par ailleurs, selon **Mucciarelli, et al, (1985)**, divers facteurs peuvent intervenir : L'âge de la plante, Stade de développement, les conditions pédo-climatique, la partie échantillonnée, le niveau d'azote disponible et la localisation **Flegg et Maw, (1977)**.

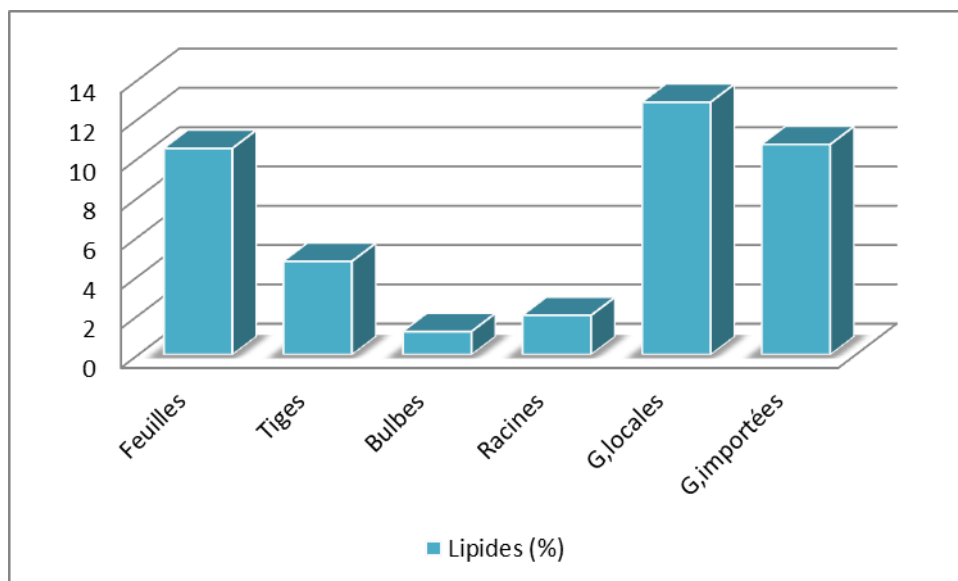
Les résultats de la teneur en protéines de différentes parties de *F.vulgare* sont regroupés dans la **Figure 26**



**Figure 26** : Teneur en protéines de différentes parties de *F.vulgare*

#### 4. la teneur en lipides

Les graisses et les huiles sont des composants essentiels de l'alimentation humaine et peuvent servir de sources d'énergie, de glycérol et d'acides gras. Plusieurs huiles naturelles contiennent également des composés pharmaco-logiquement actifs, des composés phénoliques et des antioxydants (**Chen et al., 2012; Gajalakshmi et al., 2011; Veberic et al., 2008**). L'apport alimentaire de quantités adéquates d'huiles dans les fruits et légumes est donc souhaitable pour promouvoir la santé et le bien-être de l'homme. Les résultats de la teneur en lipides de différentes parties de *F.vulgare* sont regroupés dans la **Figure 27**



**Figure 27** : Teneur en lipides de différentes parties de *F.vulgare*

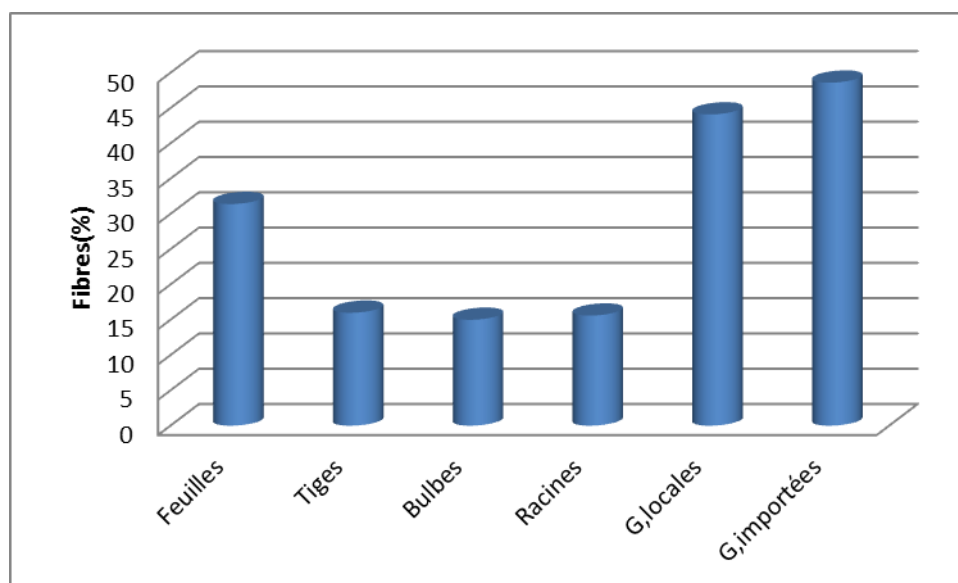
Les graines locales possèdent la teneur la plus élevée en matière grasse qui est de valeur 12.7% de matière sèche. Par contre, les résultats rapportés par **Barros et al., (2010)**, montrent que les feuilles possèdent la teneur la plus élevée qui est de  $0,61 \pm 0,16\%$  exprimé en matière fraîche, qui est proche à nos résultats (0,66 % de matière fraîche) et aussi ils ont trouvés la teneur en lipides dans le bulbe possède la valeur  $0,49 \pm 0,05\%$  exprimé en matière fraîche qui est faible par rapport nos résultats (0,62 % de matière fraîche), ils ont trouvés aussi une teneur en lipide dans la tige de valeur  $0,45 \pm 0,07\%$  de matière fraîche qui est un peu faible par rapport nos résultats trouvés (0,52% exprimé en matière fraîche). Par ailleurs, **Ibrahim et al., (2013)** indique une teneur en matière grasse de *F.vulgare* de 13% exprimé en matière sèche qui est similaire à nos résultats (12,7%). Selon **Lazouni et al., (2006)** la teneur en lipides de plante entière de *F.vulgare* est de 12 % qui est similaire à nos résultats.

Les variations rencontrées dans la teneur en lipide de nos échantillons comparés à certains travaux antérieurs, peut-être dues aux divers paramètres influent sur le taux de matière grasse comme la granulométrie, l'humidité et la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée. Beaucoup de travaux confirment que l'extraction réalisée par l'hexane permet d'obtenir un meilleur rendement d'huile par rapport à d'autres solvants comme l'éther de pétrole ou le chloroforme **Beghdad, (2009)**.

## 5. La teneur en fibres brutes

L'expression fibre alimentaire universellement adoptée par les nutritionnistes et les diététiciens est difficile à définir car elle représente un concept nutritionnel et physiologique qu'une catégorie définie de substances chimiques. La notion de fibre, d'abord appliquée à la cellulose, devenue par la suite fibre brute (résidu végétal résistant aux traitements chimiques acides et alcalins) a évolué vers le concept, physiologique, de fibres alimentaires (résidu végétal résistant à la digestion par les enzymes du tractus digestif de l'homme).

L'apport en fibres dans un régime normal provient majoritairement des végétaux qui constituent notre alimentation : fruits, légumes, graines diverses et produits céréaliers (**Bruneton, 1993**). Les résultats de la teneur en fibres brutes de différentes parties de *F. vulgare* sont regroupés dans la **Figure 28**



**Figure 28:** teneur en fibres brutes de différentes parties de fenouil

La teneur en fibre la plus élevée a été trouvée dans les graines locales et importées avec une valeur de  $44,1 \pm 0,002$  % et de 48,6 % respectivement, et la plus faible valeur a été trouvée dans bulbe avec une valeur de 15 %.

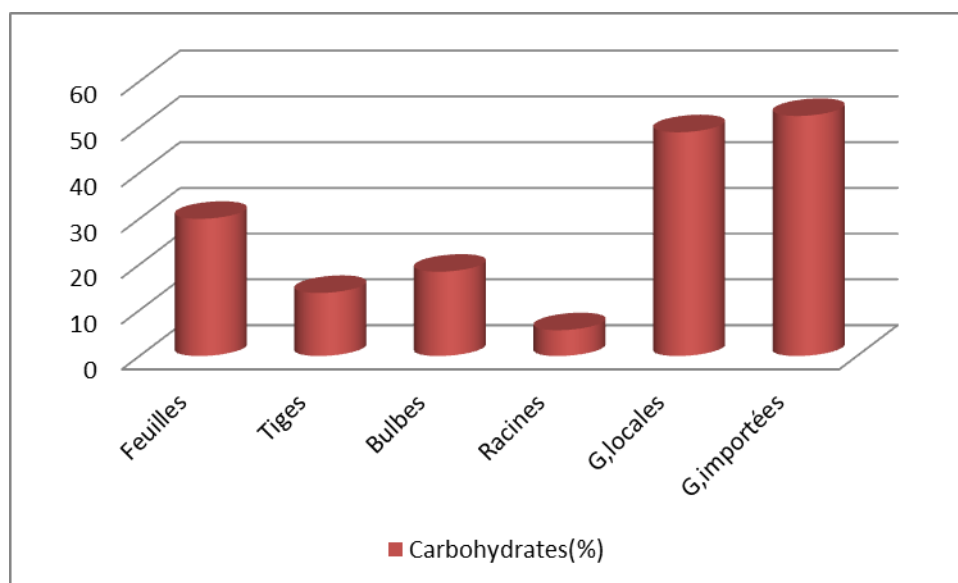
La teneur en fibres dans les graines semblent être élevés par rapport à ceux rapportés par **Malhotra, (2012)** et **Sayed-Ahmad et al., (2017)** qui sont respectivement

de 15,7 % et 18,5% , par contre pour les feuilles, nos résultats sont plus importants (31,4 ± 0,004%) par rapport à ceux rapportés par **Jimoh *et al.*, (2010)** et qui sont de l'ordre de 12,02 % chez les feuilles de *Leonotis leonorus* (Lamiaceae),

Les différences observées entre les résultats seraient dues : aux différentes conditions d'analyses, en particulier à des différences de stades de prélèvement (stades phénologiques), aux moments et périodes des prélèvements, aux conditions pédoclimatiques qui sont différentes **Berri, (2008)**.

## 6. Teneur en hydrates de carbones

Chez les plantes, les hydrates de carbone produits par la photosynthèse sont bien connus pour leur rôle essentiel en tant que sources vitales d'énergie et squelettes carbonés pour les composés organiques et les composants de stockage (**Koch, 1996, Sheen *et al.*, 1999, Rolland *et al.*, 2006, Smeekens *et al.*, 2010**). Les résultats des teneurs en hydrates de carbones de différentes parties de *F.vulgare* sont regroupés dans la **Figure 29**



**Figure 29** : la teneur en hydrates de carbones de différentes parties de *F.vulgare*

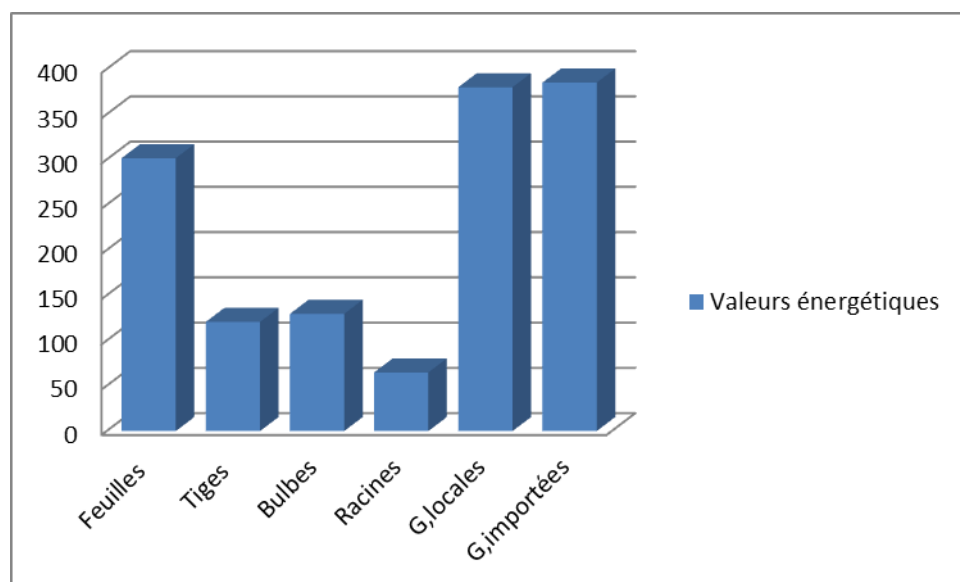
D'après les résultats rapportés par **Borros *et al.*, (2010)**, la teneur en hydrate de carbone de *F.vulgare* la plus élevée a été trouvée dans le bulbe de valeur 21,91 % de portion fraîche qui est faible par rapport à nos résultats qui sont de valeur 27,88 % de matière fraîche, ils ont trouvés aussi une teneur en hydrate de carbone qui est de 18,44% dans les feuilles qui est similaire avec nos résultats (19,89%), par ailleurs ils ont trouvés la teneur en hydrates de carbones dans la tige avec une valeur de 19,39% qui est faible par

rapport nos résultats(22,51%). La teneur en hydrates de carbones des graines de *F.vulgare* cités par **Sayed-Ahmad et al., (2017)** et **Purwaningsih, (1999)** est de 42,3 % et 36,6 % respectivement qui sont faibles par rapport nos résultats (48,89 %).

Les différences dans les valeurs rapportées par les chercheurs suggèrent que la composition en pourcentage de différentes parties n'est pas fixe mais varie d'un endroit géographique à l'autre. Cela signifie que la composition du sol joue un rôle essentiel dans le contenu nutritif de fenouil **Atchley, (1984)**.

### 7. Valeurs énergétiques de *F.vulgare*

Les résultats de valeurs énergétiques de différentes parties de *F.vulgare* sont regroupés dans la **Figure 30**



**Figure 30** : valeurs énergétiques de différentes parties de *F.vulgare*

#### Les valeurs caloriques moyennes :

Protéines	4 kcal /g (17 kj)
Lipides	9 kcal / g (37 kj)
Glucides	4 kcal / g (17 kj )

La valeur énergétique = 4 x (la teneur en protéines + la teneur en glucides) + 9 x (la teneur en lipides).

La valeur énergétique la plus élevée de *F.vulgare* a été trouvée dans les graines avec une valeur de 379,93 Kcal pour les graines locales, et de 385,02 Kcal pour les graines importées, par contre la plus faible valeur a été trouvée dans les racines avec une valeur de 64,76Kcal.

D'après les résultats rapportés par **Borros et al., (2010)**, ils ont trouvés la valeur énergétique dans le bulbe qui est de 97,37Kcal de matière fraîche, cette valeur est faible par rapport nos résultats (123,90Kcal de matière fraîche).Par contre pour les feuilles et tiges, nos résultats sont plus importants, en effet ,pour ces auteurs, il ont trouvés des valeurs énergétiques qui sont de 83,90Kcal et 85,91Kcal respectivement. D'autre part, **Malhotra, (2012)** a enregistré une valeur de 1440 KJ au niveau des graines qui est faible par rapport nos résultats (1470,14 KJ) et ramené aussi une valeur de 130KJ (31 Kcal) dans le bulbe cru qui est faible par rapport nos résultats (123,90Kcal).

Ces différences en valeur énergétique dépendent de plusieurs facteurs: **L'âge**, qui peut exercer un effet sur la valeur énergétique des matières premières. Le principal facteur de variation est la présence de matières grasses. **Les traitements technologiques**, la granulation améliore légèrement les valeurs énergétiques des aliments. D'autres traitements, tels que, l'extrusion, peuvent également améliorer la valeur énergétique des matières premières .Encore ces variations entre les résultats sont directement liées à la variation de la composition chimique des plantes **Manzi et al., (1999)**.

### Conclusion et perspectives

Nos résultats montrent que les différentes parties du fenouil (feuille, tiges, bulbes, racines, graines locales et importées) sont variables dans leurs composition chimique. La teneur en eau est élevée dans le bulbe avec une valeur de  $94,01 \pm 0,57\%$  ainsi que dans les feuilles, tiges et racines avec une valeur de  $82,38 \pm 0,72\%$  et  $89,93 \pm 0,11\%$  et  $80,67 \pm 0,08\%$  respectivement. Les graines locales et importées riche en matière sèche, présentent des valeurs de  $87,55\%$  et  $90,47\%$  respectivement. Les feuilles présentent une teneur en cendres qui est de  $15 \pm 0,04\%$ , alors que la tige et le bulbe présentent une teneur de  $13,43 \pm 0,14\%$  et  $11,93 \pm 0,04\%$  respectivement. La teneur en protéines dans les feuilles est de  $21,79 \pm 0,02\%$  et de  $17,18 \pm 0,0007\%$  dans les graines locales et une teneur importante en fibre qui de  $44,89\%$ . Les graines locales présentent une teneur en hydrates de carbone de  $48,89\%$ , par ailleurs, les graines importées présentent une teneur de  $52,45\%$ . On a constaté que la valeur énergétique est élevée dans les graines avec une valeur de  $379,93\text{Kcal}$  pour graines locales et de  $385,02\text{ Kcal}$  pour les graines importées.

A la lumière de cette étude, on peut conclure que la valeur nutritive des graines locales est proche à celle des graines importées et leur richesse en fibres facilite le transit intestinale, aussi le fenouil et plus précisément ses racines ont un effet diurétique grâce à son abondance en eau. Les graines avec leur concentration importante en carbohydrates (glucides) constituent un apport majeur d'énergie à l'organisme.

Du point de vue nutritionnel, les résultats obtenus mettent à contribution la valeur des protéines végétales comme nouvelle source susceptible d'être exploitée à l'échelle industrielle en vue de leur utilisation dans l'alimentation animale et/ou humaine.

Pour compléter ce travail, il serait judicieux :

- ❖ De caractériser les métabolites primaires du fenouil : acides aminés, acides gras, types de sucres...etc. Par des méthodes chromatographiques HPLC, CPG-SM...etc.
- ❖ D'étudier la composition chimique des métabolites secondaires et d'évaluer les activités biologiques du fenouil.

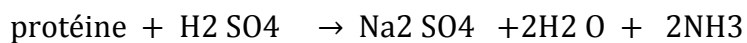


### Annexe 1

#### Les 3 étapes pour un dosage des protéines par la méthode de kjeldahl :

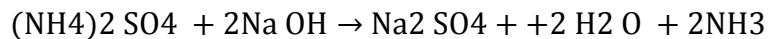
##### Etape 1 : la minéralisation

La réaction entre la fraction protéique et l'acide sulfurique produit essentiellement du sulfate d'ammonium.

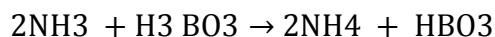


##### Etape 2 : La distillation

L'addition de soude provoque une réaction avec production d'ammonium :



L'ammoniac est entraîné avec la vapeur d'eau, condensé et incorporé dans une solution d'acide borique contenant un indicateur coloré, il se forme du borate d'ammonium donnant une couleur verte à la solution qui devient basique :



##### Etape 3 : Titration

La quantité de sel formé est proportionnelle aux protéines de départ, elle est dosée par HCL à 0.1N, le virage au rose violet est observé à PH =4.6 (**Jones et Benton,1991**).

### Matériel utilisés

- ❖ Burette
- ❖ Pissette
- ❖ Papiers filtres (diamètre 125mm)
- ❖ Les creusets
- ❖ Coupelles
- ❖ Les cartouches
- ❖ Spatules

## Références bibliographiques

**AOAC.**, (1998). Official Methods of Analysis of the association of Official Analytical Chemistry, 16th ed. Arlington, VA, AOAC, Washington, DC.

**AOAC International.**, (2007). Official methods of analysis, 18th edn, 2005; Current through revision 2, 2007 (Online). AOAC International, Gaithersburg, MD

**Agarwal, R., Gupta, S.K., Agarwal, S.S., Srivastava, S., Saxena, R.**, (2008). Oculohypotensive effects of *Foeniculum vulgare* in experimental models of glaucoma. *Indian J. Physiol. Pharmacol.* 52, 77– 83.

**Abou El-Soud<sup>1</sup> N., El-Laithy N., El-Saeed G., Wahby M.S., Khalil M., Morsy F. et Shaffie N.**, (2011). Antidiabetic Activities of *Foeniculum Vulgare* Mill. Essential Oil in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Macedonian Journal of Medical Sciences.* 4(2):139- 146.

**Adler-Nissen, J.**, (1986). In *Enzymic hydrolysis of food proteins*. Elsevier Applied Science Publishers, London et New-York, 1-425.

**André Briend.**, (1985). *Prévention et traitement de la malnutrition, guide pratique*, collection initiation documentation techniques n°62, Paris,

**Audigie C.L., Dupon G. et Zongain F.**, (1995). *Principes des méthodes d'analyse biochimique*. T1, 2ème ED. Doin, Paris, p. 44.

**Atchley, A. A.**, (1984). *Nutritional Value of Palms*. *Principles*, 28 (3): 138-143.

**Anonyme:** <http://www.southampton.ac.uk/~gjl/Research/sfc.htm#ref13>

**Barros, L., S. A. Heleno, et al.**, (2009). "Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare* Mill. from Portugal." *Food Chem Toxicol* 47(10): 2458-2464.

**Barros, L., A. M. Carvalho, et al.**, (2010). "The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences." *LWT - Food Science and Technology* 43(5): 814-818

**Barros Lillian, Ana Maria Carvalho, Isabel C.F.R. Ferreira.**, (2010). The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences, *LWT - Food Science and Technology* 43 .814–818

**Badgujar, S. B., V. V. Patel, et al.**, (2014). "Foeniculum vulgare Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology."

Biomed Res Int 2014: 842674.

**Benaissa A.,** (2011). Thèse doctorat « Etude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif », Université Mentouri Constantine.

**Bensadón S., Hervert-Hernández D., Sáyago-Ayerdi S.G. et Goñi I.,** (2010). ByProducts of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Food human nutrition*.65, 210–216.

**Berri, R.,** (2008). Contribution à la détermination de la biomasses consommable d'une halophyte : *Atriplex*. Mém. Ing. agronomie saharienne. Université KASDI MERBAH-Ouargla. pp 36

**Bernath j, katta a, nemeth e and frank r .,** (1994) Production-biological investigation of fennel (*Foeniculum vulgare*) populations of different genotypes, *Atti del Convegno Internazionale*, 287–92.

**Beghdad Mohammed Choukri.,** (2009). Etude phytochimique et activité antioxydante de quelques espèces végétales du Nord-ouest Algérien. Thèse .université Abou Bekr Belkaid .Tlemcen. pp133

**Biermann CJ, McGinnis GD (eds),** (1989) .Analysis of carbohydrates by GLC and MS. CRC, Boca Raton, FL

**Bidlingmeyer BA.,** (1993). Practical HPLC methodology and applications. Wiley, New York

**Bonner PLR .,** (2007). Protein purification. Taylor and Francis Group, New York

**Bradstreet, R. B.** (1965) The Kjeldahl Method for Organic Nitrogen. New York, NY: Academic Press Incorporated, avec modification 4–58.

**Bruneton J.,** (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition, Ed. TEC et DOC, Paris.

**Bruneton J.,** (1993) Pharnacognosie et Phytochirnie. Plantes médicinales. Paris, France : *Lavoisier*, 278-279

**Canter, P.H., Thomas, H., Ernst, E.,** (2005). Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends Biotechnol.* 23, 180–185.

**Coligan JE, Dunn BM, Speicher DW, Wingfield PT (eds),** (2007). *Current protocols in protein science.* Wiley, New York

**Cohen, E.H.,** (1971). *J.assoc.Offic.Anal.Chem.* , Handbook of analysis and control quality of fruit and vegetable products ,54,212

**Chapman D. and F. M. Goni.,** (1994). Physical properties: Optical and spectral characteristics. In: *The Lipid Handbook*, 2nd ed. (F. D. Gunstone, J. L. Harwood, and F. B. Padley, eds.). Chapman and Hall, London, , pp. 487–504

**Chen, Y., Xu, et al.,** (2012). Anti-tumor activity of *Annona squamosa* seeds extract containing annonaceous acetogenin compounds. *J. Ethnopharmacol.* 142 (2), 462–466.

**Choi, E. M. and J. K. Hwang.,** (2004). "Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*." *Fitoterapia* **75**(6): 557-565.

**Christian Moussared.,** (2006). *Biochimie structurale et métabolique*,39,B-1000 Bruxelles,

**De Marino, S., F. Gala, et al.,** (2007). "Phenolic glycosides from *Foeniculum vulgare* fruit and evaluation of antioxidative activity." *Phytochemistry* **68**(13): 1805-1812

**Diaaz-Maroto, M.C., Hidalgo, I.J.D., Saanchez-Palomo, E., Peñalva, M.S.,** (2005). Volatile components and key odorants of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and thyme (*Thymus vulgaris* L.) Oil extracts obtained by simultaneous distillation–extraction and supercritical fluid extraction. *J. Agric. Food Chem.* 53, 5385–5389

**Diao, W.-R., Q.-P. Hu, et al.,** (2014). "Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)." *Food Control* **35**(1): 109-116

**Dolnik V.,** (2008) .Capillary electrophoresis of proteins 2005–2007. *Electrophoresis* 29:143–156

**Dolnik V.,**(2008). Capillary electrophoresis of proteins 2005–2007. *Electrophoresis* 29:143–156

**Doultani S, Turhan KN, Etzel MR .,** (2004). Fractionation of proteins from whey using cation exchange chromatography. *Process Biochem* 39:1737–1743

**El Rassi Z.**, (1995). Reversed-phase and hydrophobic interaction chromatography of carbohydrates and glycoconjugates

**Farrell kt .**,(1999). Spices, Condiments and Seasonings, AVI Publishing, Westport, CT; VanNostrand, New York.

**Formacek V. K.H. Kubezka.**, (1982). « Essential Oils Analysis By Cappillary Gas Chromatography And Carbon –13 Nmr Spectroscopy », John Wiley And Sons, New York. (Alnap Database Ref. : Id. 171

**Fox A, Morgan SL, Gilbert J.**, (1989) .Preparation of alditol acetates and their analysis by gas chromatography (GC) and mass spectrometry (MS)

**Flegg, P. B., & Maw, G.**, (1977). Mushrooms and their possible contribution to world protein needs. Mushroom Journal, 48, 395–403

**Garcia-Jimenez N, Perez-Alonso MJ, Velasco-Neguerela A.**, (2000). Chemical composition of fennel oil, *Foeniculum vulgare* Miller, from Spain. J Essent Oil Res;12:159–62.

**Gajalakshmi, S., Divya, R., et al.**, (2011). Pharmacological activities of *Annona squamosa*: a review. Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 10 (2), 24–29

**Grieve, M.**, (1931). A Modern Herbal: the Medicinal, Culinary, Cosmetic and Economic Properties, Cultivation and Folk-lore of Herbs, Grasses, Fungi, Shrubs & Trees with their Modern Scientific Uses. Brace & Company, Harcourt.

**Gordon MH** (1990) Principles and applications of gas chromatography in food analysis. E. Horwood, New York

**Gunstone F. D.** (1996). Fatty Acid and Lipid Chemistry. Blackie, London, UK

**Günther H** (1995) NMR spectroscopy, 2nd edn. Wiley, New York

**Günther H.**, (1994). La spectroscopie de RMN. Principes de base, concepts et applications de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton et du carbone-13 en chimie, Ed Masson, Paris.

**Hayakawa M. , S. Sugiyama, and T. Osawa.**, (1994). HPLC analysis of lipids; Analysis of fatty acids and their derivatives by a microcolumn HPLC system. In: Lipid Chromatographic Analysis (T. Shibamoto, ed.). Dekker, New York, pp. 270–273.

**HAMOUDI N.**, (2012). Caractéristiques des huiles essentielles et son application antimicrobienne de la plante « *Ocimum basilicum* »; mémoire DEUA ; Univ. KhemisMiliana.

**Hemming F. W. and J. N. Hawthorne.**, (1996). Lipid Analysis. BIOS Scientific, Oxford.

**Heftmann E (ed).**, (1992) .Chromatography, 5th edn. Fundamentals and applications of chromatography and related differential migration methods. Part A: fundamentals and techniques. Part B: applications. J Chromatogr Libr Ser Vols. 51A and 51B. Elsevier, Amsterdam.

**Heftmann E (ed)** .,(2004) .Chromatography, 6th edn. Fundamentals and applications of chromatography and related differential migration methods. Part A: fundamentals and techniques. Part B: applications. J Chromatogr Library Ser vols 69A and 69B. Elsevier, Amsterdam

**Hicks KB.**, (1988)., High-performance liquid chromatography of carbohydrates. Adv Carbohydr Chem Biochem 46:17

**Huber CG, Bonn GK.**, (1995) HPLC of carbohydrates with cation- and anion-exchange silica and resin-based stationary phases

**Ibrahim, F. Y. and A. Y. El-Khateeb.**, (2013). "Effect of herbal beverages of *Foeniculum vulgare* and *Cymbopogon proximus* on inhibition of calcium oxalate renal crystals formation in rats." Annals of Agricultural Sciences **58**(2): 221-229

**JIMOH F.O., ADEDAPO A.A., AFOLAYAN A.J.**,(2010). Comparison of the nutritional value and biological activities of the acetone, methanol and water extracts of the leaves of *Solanum nigrum* and *Leonotis leonorus*. Food and Chemical Toxicology 48: 964–971

**Jones, J. Benton.**, (1991). Kjeldahl Method for Nitrogen Determination. Athens, GA: Micro-Macro Publishing

**Johnson EL, Stevenson R.**, (1978). Basic liquid chromatography. Varian Associates, Palo Alto, CA

**Kates M.**, (1986). Techniques of Lipidology, 2nd ed. Elsevier, New York.

**Kazmaier T, Roth S, Zapp J, Harding M, Kuhn R.**, (1998). Quantitative analysis of maltooligosaccharides by MALDI-TOF mass spectrometry, capillary electrophoresis, and anion exchange chromatography. Fresen J Anal Chem 361:473; 362:552

**Kingsley-Richards, S.**, (2011). Influence of Plant Age, Soil Moisture, and Temperature Cylcing Date on Containter-Grown Herbaceous Perennials.

**Koudela, M., Petrůvková, K.**, ( 2008). Nutritional compositions and yield of sweet fennel cultivars-*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *vulgare* var. *azoricum* (Mill.). *Theil. Hort. Sci.* 35 (1), 1–6.

**Koch K. E.**, (1996). Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47, 509–540. 10.1146/annurev.arplant.47.1.509

**Lazouni H. A, Benmansour A, Chabane Sari D et Smahi M. Dj. E.**, (2006). Valeurs nutritives et toxicité du *foeniculum vulgare* miller, Afrique *SCIENCE* 02(1) -94 – 101.

**Laurent L.**, (1991). Eléments minéraux. In : Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Volume 4. Lavoisier (Ed). Paris, pp78-98.

**Louisot P.**, (1983). Lipides et dérivés isoprénique. *Biochimie générale et médicale*. Paris, Simep. pp. 259–321.

**Luque-Garcia, J. L. and M. D. Luque de Castro.**, (2004). "Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: An expeditive approach for solid sample treatment-Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds." *Journal of Chromatography A* 1034: 237-242.

**Lima, B.N.B., Lima, F.F., Tavares, M.I.B., Costa, A.M.M., Pierucci, A.P.T.R.**, (2014). Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. *Food Chem.* 151, 293-299.

**Manzoor AR, Bilal AD, Shahnawaz NS, Bilal AB, Mushtaq AQ.**, (2012). *Foeniculum vulgare*: à comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arab J Chem.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.011>.

**Manzi, P., Gambelli, L., Marconi, S., Vivanti, V., & Pizzoferrato, L.**, (1999). Nutrients in edible mushrooms: An interspecies comparative study. *Food Chemistry*, 65, 477–482.



**Matthieu Viot , Val'erie Tomaoo,, Giulio Colnagui ,Franco Visinoni Farid Chemata.,** (2007).New microwave-integrated Soxhlet extraction An advantageous tool for the extraction of lipids from food products Journal of Chromatography A

**Meyer et Denier.,** (1996). « spectroscopie pratique dans le domaine du visible et de l'ultraviolet », Bull. Un. Phys. 784. P (895 – 908),

**Moser, B. R., V. D. Zheljzakov, et al.,** (2014). "Method for obtaining three products with different properties from fennel (*Foeniculum vulgare*) seed." Industrial Crops and Products **60**: 335-342

**Mossé J.,** (1990) .Nitrogen to protein conversion factor fortен cereals and six legumes or oilseeds. A reappraisal of its definition and determination. Variation according to species and to seed protein content. J Agric Food Chem 38:18–24

**Mucciarelli .,** (1985). White stronlda clever unguate eat an nat, (2), p118

**O'Fallon, J. V., Busboom, J. R., Nelson, M. L., & Gaskins, C. T.,** (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. Journal of Animal Science, 85, 1511–1521

**Oktay, M., İ. Gülçin, et al.,** (2003). "Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts." LWT - Food Science and Technology **36**(2): 263-271.

**Osman, Y.A.H.,** ( 2009). Comparative study of some agricultural treatments effects on plant growth, yield and chemical constituents of some fennel varieties under Sinai conditions. Res. J. Agric. & Biol. Sci. 5 (4), 541–554.

**O'zcan, M. M., & Akbulut, M.,** (2007). Estimation of minerals, nitrate and nitrite contents of medicinal and aromatic plants used as spices, condiments and herbal tea. Food Chemistry, 106, 852–858.

**Piccaglia R, Marotti M.,** (2001). Characterization of some Italian types of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). J Agric Food Chem;49:239–44.

**Pfeiffer C, Rogers LM, Gregory JF.,** (1997). Determination of folate in cereal-grain food products using tri-enzyme extraction and combined affinity and reverse-phase liquid chromatography. J Agric Food Chem 45:407–413

**Platzer N.**, (2002). Application de la RMN à la détermination des structures. Base Documentaire, Techniques d'analyse, Référence : P1092.

**Purdon M. P.**, (1991). Application of HPLC to lipid separation and analysis: Sample preparation. In: Analysis of Fats, Oils, and Lipoproteins (E. G. Perkins, ed.). AOCS Press, Champaign, IL, pp. 166–192.

**Rahimi, R. and M. R. Ardekani.**, (2013). "Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. in traditional Iranian medicine and modern phytotherapy." *Chin J Integr Med* **19**(1): 73-79.

**Rajakyla E.**, (1986) .Use of reversed-phase chromatography in carbohydrate analysis. *J Chromatogr* 353:1

**Roby, M. H. H., M. A. Sarhan, et al.**, (2013). "Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.)." *Industrial Crops and Products* **44**: 437-445

**Rolland F., Baena-Gonzalez E., Sheen J.**, (2006). Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57, 675–709. 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441

**Rouessac, F.; Rouessac, A.; Cruché, D.**, (2004). Analyse chimique Méthodes et techniques instrumentales modernes: Méthodes et techniques instrumentales modernes. Dunod - 6ème édition -

**Hase S.**, (1995). Pre- and post-column detection-oriented derivatization techniques in HPLC of carbohydrates.

**Sayed-Ahmad, B., T. Talou, et al.**, (2017). "The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses." *Industrial Crops and Products* **109**: 661-671

**Stavri M, Gibbons S.**, (2005). The antimycobacterial constituents of Dill (*Anethum graveolens*). *Phytother. Res.* 19: 938-941.

**Settineri CA, Burlingame AL.**, (1995). Mass spectrometry of carbohydrates and glycoconjugates.

**Singh, A., Singh, D.K.**, ( 2001). Molluscicidal activity of *Lawsonia inermis* and its binary and tertiary. *IJEB* 39 (March 3).

**Singh, G., S. Maurya, et al.**, (2006). "Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract." Food Control **17**(9): 745-752.

**seidemann j.**,(2005). *World Spice Plants, Economic Usages, Botany and Taxonomy*. Springer Verlag, Berlin, 372–4

**Senatore, F., F. Oliviero, et al.**, (2013). "Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of anethole-rich oil from leaves of selected varieties of fennel [*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *vulgare* var. *azoricum* (Mill.) Thell]." Fitoterapia **90**: 214-219.

**Simoneau C , M. J. McCarthy, D. S. Reid, and J. B. German.**, (1992). Measurement of fat crystallization using NMR imaging and spectroscopy. *Trends Food Sci Technol.* **3**:208– 211.

**Silverstein R.M. Basler G.C. et Morill T.C.**, (1998). Identification Spectrométrique de composés organiques. De Boeck & Larcier, ed., Paris.p.3-89

**Scopes RK.**, (1970) .Characterization and study of sarcoplasmic proteins. Ch. 22. In: Briskey EJ, Cassens RG, Marsh BB (eds) *Physiology and biochemistry of muscle as a food*, vol 2. University of Wisconsin Press, Madison, WI, pp 471–492

**Sloneker JH.**, (1972). Gas–liquid chromatography of alditol acetates. *Methods Carbohydr Chem* **6**:20.

**Van de Voort F. R. and J. Sedman.**, (2000). FTIR spectroscopy: The next generation of oil analysis methodologies? *Inform* **11**:614–620

**Veberic, R., Colaric, M., Stampar, F.**,( 2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food Chem.* **106** (1), 153–157.

**Wolff J. P.**, (1968). *Manuel d'analyse des corps gras*; Azoulay éd., Paris (France), 519 p.

**Weiss ea .**, (2002) *Spices Crops*. CABI, Wallingford, 356–60.

**Wiles PG, Gray I, Kissling RC.**, (1998). Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: review and interlaboratory study using dairy products. *J AOAC Int* **81**:620–632

**Zubay, G.**, (2006). *Biochemistry* (5th ed.). Wm. C. Brown Publishers

## Résumé

*Foeniculumvulgare*, communément appelé fenouil, est une plante médicinale et aromatique bisannuelle appartenant à la famille des apiacées. J'ai étudié la caractérisation de métabolites primaires des différentes parties: feuilles, tiges, bulbes, racines, graines locales et graines importées et aussi ses valeurs énergétiques. L'évaluation de la caractérisation comprenait la détermination de taux d'humidité et de matière sèche, la teneur en cendres, le taux de la matière grasse totale par la méthode desoxhlet, la teneur en protéines par la méthode de kjeldahl, les fibres brutes, les carbohydrates. Mes résultats montrent que la teneur en eau dans le bulbe est importante elle est de  $94,01 \pm 0,57\%$ , les graines locales et graines importées ont une teneur importante en matière sèche qui est de 87,55 % et 90,47% respectivement. Les feuilles ont une teneur en protéines qui est de  $21,79 \pm 0,02\%$ . La teneur en lipides est de 12,85% dans les graines locales et de 10,7% dans les graines importées, le bulbe de fenouil a une teneur en carbohydrates qui est de 18,42% et de 48,89 % dans ses graines locales. A la lumière de cette étude, et d'après les résultats obtenus, le fenouil est riche en fibres ainsi leur teneur importante en hydrate de carbones (glucides) constituent un apport majeur d'énergie à l'organisme.

**Mots-clés :** *Foeniculumvulgare* ; métabolites primaires ; valeurs énergétiques.

## Summary

*Foeniculumvulgare*, commonly known as fennel, is a biennial medicinal and aromatic plant belonging to the apiaceae family. I studied characterization of primary metabolites of its different parts: leaves, stems, bulbs, roots, local seeds and imported seeds and values energy. The evaluation of characterization included determination of moisture content and dry matter, ash content, total fat content by soxhlet method, the protein content by the kjeldahl method, fibers crude, and carbohydrates. My results show that the water content in the bulb is important it is  $94.01 \pm 0.57\%$ , local seeds and imported seeds have a high dry matter content of 87.55% and 90.47% respectively. The leaves have a protein content of  $21.79 \pm 0.02\%$ . The fat content is 12.85% in the local seeds and 10.7% in the imported seeds, the fennel bulb has a carbohydrate content which is 18.42% and 48.89% in its local seeds. In the light of this study, and from the results obtained, fennel is rich in fibers and their content important in carbohydrate constitutes a major contribution of energy to the body.

**Keywords:** *Foeniculumvulgare*; primary metabolites; values energy.

## المخلص

*Foeniculumvulgare* المعروف باسم الشمر هو نبات طبي وعطري ينتمي إلى عائلة apiaceae. درست وصف المستقلبات الأولية لأجزائه المختلفة: الأوراق والسيقان والثمار والجذور والبذور المحلية والبذور المستوردة وقيمة طاقته. شملت الدراسة تحديد محتوى الرطوبة والمادة الجافة، محتوى الدهون الكلي بواسطة طريقة soxhlet، محتوى البروتين بواسطة طريقة kjeldahl، الألياف الخام، الكربوهيدرات. نتائجي تظهر أن البذور المحلية والبذور المستوردة تملك محتوى هام من المادة الجافة بنسبة 87.55% و 90.47% على التوالي. تحتوي الأوراق على نسبة بروتين  $21.79 \pm 0.02\%$ . نسبة الدهون هي 12.85% في البذور المحلية و 10.7% في البذور المستوردة، يحتوي الشمر على محتوى من الكربوهيدرات بنسبة 18.42% و 48.89% في بذورها المحلية. في ضوء هذه الدراسة، ومن النتائج التي تم الحصول عليها استنتج أن الشمر غني بالألياف مع التركيز الكبير في الكربوهيدرات هي مصدر رئيسي للطاقة في الجسم.

**الكلمات المفتاحية:** *Foeniculumvulgare*؛ المستقلبات الأولية؛ قيمة الطاقة.