

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention de Master Académique

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Agrobiotechnologie

THEME :

Etude des propriétés émulsifiantes de l'extrait aqueux des graines du fenugrec obtenu par décoction traité par microonde

Membres de jury :

Président : M^r BENBEGUARA M M AA.

Promoteur : M^r ACEM K MCB.

Examineur : M^r METTAI K MAA.

Présenté et soutenu par :

BELMORSLI SABRINA

Année universitaire : 2014 – 2015

Remerciements

*Je remercie avant tout notre **Dieu** qui ma éclairé le chemin du savoir et qui ma donné le courage et la volonté d'achever ce modeste travail et mon grand salut sur le premier éducateur notre prophète **Mohamed**.*

❖ *Je tiens à remercier en premier lieu **Mr Acem K**, pour avoir accepté de m'encadrer et de me diriger ainsi que pour ses discussions enrichissantes, ses conseils qui ma permis d'évoluer dans la vision de la recherche, qu'il trouve ici l'expression de mon profond gratitude.*

❖ *Je m'adresse mes vifs remerciements et mes sincères gratitudees à :*

- *Mr **Benbeguara M** d'avoir accepté d'évaluer mon travail.*

- *Mr **Mettai K** d'avoir examiner mon travail.*

❖ *Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail en particulier : Mon mari **Mohamed Touhami**, et mon amie **Zohra**.*

❖ *Un grand merci pour mes parents mes sœurs et mon petit frère, et tous ceux qui mon aidé de près ou de loin de réaliser ce modeste travail.*

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de la Normalisation.

AOAC : Association Officielle des Chimistes analytiques.

as : Avec stabilisant.

a_w : Activité de l'eau.

BMM : Basse Masse Moléculaire.

EA : Extrait aqueux brut.

EAT : Extrait aqueux traité.

FAO: Food and Agriculture organisation.

IFT: Inter Faciale

HLB : Hydrophile Lipophile Balance.

ISO : Organisation International de la normalisation.

min : Minute.

tr : Tour.

ss : Sans Stabilisant.

µm : Micromètre.

µS : Micro siemens.

°C : Degré Celsius.

Liste des figures

Figure 1: La plante <i>Trigonella foenum-graecum</i>	02
Figure 2: Les graines du fenugrec.....	03
Figure 3 : phase dispersée et phase dispersante d'une émulsion.....	05
Figure 4 : Molécule d'un tensioactif.....	06
Figure 5 : Les deux types d'émulsions entre une phase huileuse et une phase aqueuse	07
Figure 6: Les deux types d'émulsions doubles	07
Figure 7: Constitution d'un four microonde.....	10
Figure 8 : Le spectre électromagnétique et exemples d'ordre de grandeur et d'utilisations associées	11
Figure 9 : Coupe schématique d'un magnétron.....	12
Figure 10: Protocole expérimental.....	18
Figure 11: Cinétique de la température d'extrait aqueux traité par microondes en fonction du temps.....	31
Figure 12: Variation de la viscosité de l'EA durant le traitement aux microondes.....	32
Figure13: Densité des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	33
Figure 14 : Conductivité électrique des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	34
Figure 15 : les pH de l'extrait aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	35
Figure 16 : Les Résultats de l'indice de réfraction de l'extrait aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	36
Figure 17: Les Résultats du taux de cendres des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	37
Figure 18 : Taux de la matière sèche des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.....	38

Figure 19 : Taux des sucres totaux des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.....	39
Figure 20 : Teneur en protéines des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec	40
Figure 21: Cinétique du diamètre moyen des globules gras des émulsions sans stabilisant de l'EA (non traité) et l'EA (traité) aux microondes au cours du temps.....	41
Figure 22: Cinétique du diamètre moyen des globules gras des émulsions avec stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps	41
Figure 23 : Cinétique de la stabilité des émulsions sans stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.....	43
Figure 24 : Cinétique de la stabilité des émulsions avec stabilisant aux microondes au cours du temps.....	43
Figure 25 : Cinétique de l'index de stabilité des émulsions sans stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.....	45
Figure 26 : Cinétique de l'index de stabilité des émulsions avec stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.....	45
Figure 27 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux.....	(Annexe 02)
Figure 28: Courbe d'étalonnage des protéines.....	(Annexe 02)
Figure 29 : extrait aqueux non traité par microondes.....	(Annexe 03)
Figure 30: extrait aqueux traité par microondes.....	(Annexe 03)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Applications des micro-ondes.....	14
Tableau 2 : Les produits chimiques utilisés pour les analyses physicochimique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec.....	17
Tableau 3 : la composition des émulsions préparées.....	26
Tableau 4 : Paramètres physicochimiques à 20° C de l'huile d'olive utilisée.....	29
Tableau 5 : L'aspect microscopique des émulsions à base d'extrait aqueux (traité et non traité) aux microondes.....	47
Tableau 6 : La classification des émulsifiants et le niveau d'utilisations maximum des émulsifiants.....	(Annexe 1)
Tableau 7 : Résultats d'analyses physicochimiques.....	(Annexe 3)
Tableau 8 : Résultats du diamètre moyen des globules gras et de la stabilité en fonction du temps de l'EAT et EA sans stabilisant.....	(Annexe 3)
Tableau 9 : Résultats du diamètre moyen des globules gras et de la stabilité en fonction du temps de l'EAT et EA avec stabilisant.....	(Annexe 3)

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Etude bibliographique

Chapitre I : Le fenugrec

1. Description botanique.....	02
2. Stades d'évolution de la plante:.....	02
3. Aspect des graines de fenugrec :.....	03
4. Nomenclature et taxonomie :.....	04
5. Valeur nutritionnelle.....	04
6. Formes d'utilisation de fenugrec.....	04

Chapitre II : Les émulsions

1. Les émulsions.....	05
1.1. Définition.....	05
1.2.. Constituants d'une émulsion.....	05
1.2.1. La phase huileuse.....	05
1.2.2.. La phase aqueuse.....	05
1.3. Caractéristique des émulsions.....	05
1.3.1. Les émulsifiants.....	06
1.3.2. LA CMC.....	06
1.4. Les différents types d'émulsion.....	06
1.4.1. Emulsions simples.....	06
1.4.2. Emulsions multiples.....	07
1.4.3. Les microémulsions ou émulseoide.....	07
2.5. Préparation des émulsions.....	07
2.5.1. Préparation de la phase hydrophile	08
2.5.2. Préparation de la phase lipophile	08
2.5.3. Mélange des deux phases.....	08

2.5.4. Emulsification.....	08
3. Stabilité des émulsions.....	08
4. Intérêt des émulsions.....	09
4.1. L'industrie alimentaire.....	09
4.2. Dans l'industrie pharmaceutique.....	09
4.3. Cosmétologie.....	09
4.4. D'autres utilisations.....	09

Chapitre III : Les micro-ondes

1. Définition.....	10
2. Mécanisme d'action.....	10
3. Eléments constitutifs d'un dispositif micro-onde.....	11
4. Chauffage et procédés alimentaire.....	12
5. Action des microondes sur le produit.....	12
5.1. Paramètres importants du produit.....	12
5.2. Puissance absorbée	14
6. Applications des microondes.....	14

Etude expérimentale

Chapitre IV: Matériel et méthodes

1. Durée et lieu du travail.....	15
2. Objectif du travail.....	15
3. Materiel.....	15
3.1. Graines de fenugrec.....	16
3.2. Huile d'olive vierge.....	16
3.3. Stabilisant.....	17
3.4. Appareillages et produits utilisés.....	17
3.4.1. Appareillages utilisés.....	17
3.4.2. Verreries.....	17
3.4.3 Produits chimiques.....	18

4. Méthodes d'analyses.....	18
4.1. Protocole expérimentale.....	19
4.2. Préparation d'extrait aqueux des graines de fenugrec.....	20
4.2.1. L'extrait aqueux	20
4.2.1. L'extrait aqueux traité par microondes.....	20
4.3. Analyses physiques.....	21
4.3.1. Viscosité.....	21
4.3.2. Densité.....	22
4.3.3. Indice de réfraction degré Brix	22
4.3.4. Teneur en eau	23
4.3.5. Détermination du taux de cendres.....	24
4.3.6. Mesure du pH.....	24
4.3.7. Conductivité électrique.....	24
4.4. Analyses chimiques.....	24
4.4.1. Détermination de la teneur en sucre totaux.....	24
4.4.2. Dosage des protéines par la méthode de Biuret.....	25
4.5. Etude des propriétés émulsifiantes.....	26
4.5.1. Préparation de l'émulsion.....	26
4.5.2. Mesure de stabilité.....	27
4.5.3. Observation microscopiques et prise de photos.....	27
4.5.4. Détermination du diamètre.....	28

Chapitre V : Résultats et discussions

1. Caractérisation des phases d'émulsions.....	29
1.2. Huiles d'olive vierge.....	29
2. Caractérisation physique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec	29
2.1. Température.....	32
2.2. Viscosité	32
2.3. Densité.....	33
2.4. Conductivité électrique.....	34
2.5. pH.....	35
2.6. Indice de réfraction.....	36
2.7. Taux de cendres.....	37
2.8. Matière sèche.....	38

3. Caractérisation chimique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec.....	39
3.1. Teneur en sucre totaux.....	39
3.2. Teneur en protéines.....	40
4. Propriétés émulsifiantes.....	41
4.1. Diamètre moyen des globules gras.....	41
4.2. Stabilité des émulsions.....	43
4.3. Index de stabilité.....	45
4.3. Prises des photos.....	47

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum L*), compte parmi les plus anciennes plantes médicinales et culinaires de l'histoire de l'humanité.

Il est répandu autour du bassin méditerranéen et sur la côte ouest de la mer-noir, sa présence et son utilisation sont anciennes du Inde, au moyen-orient et d'Égypte, en Ethiopie, il est cultivé en Afrique du nord (Tunisie), en Ukraine et en Chine (**Wichtl et Antom, 2003**).

Le fenugrec est une plante très riche, qui renferme de nombreux nutriments ; ses graines riches en mucilage et en protéines qui sont exploitées dans la phytothérapie et l'industrie alimentaire (**Lanc, 2014**).

Les propriétés émulsifiantes des agents tensioactifs peuvent être améliorées par de nombreuses techniques d'ordre chimique, physique et membranaire.

Le chauffage aux microondes est l'un des traitements technologiques appliqués dans le secteur agro-alimentaire (**Cendre, 2011**).

Dans cet objectif ; il s'inscrit notre travail du mémoire qui porte sur l'étude des propriétés émulsifiantes d'extrait aqueux des graines de fenugrec obtenu par décoction traité par microondes., le présent document comporte d'une part une partie bibliographique (chapitre I : Le fenugrec, chapitre II : Les émulsions, chapitre III : Les microondes) et d'autre part d'une partie expérimentale qui englobe les principaux objectifs suivants: caractérisation physique et chimique d'extrait aqueux des graines de fenugrec traité par microonde et du contrôle de ses propriétés émulsifiantes.

Etude Bibliographique

Chapitre I

Le fenugrec

1. Description botanique

Plante annuelle pouvant atteindre 60 cm de hauteur et dont les racines présentent des nodosités dues à une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote, du genre *Rhizobium* (Eberharder et al., 2005).

Les fleurs sont axillaires, solitaires ou groupées par deux de type papilionacé jaune pâle à violet claire de forme triangulaire (d'où le nom trigonelle) (Wichtl et Antom, 2003).



Figure 1: La plante du fenugrec *Trigonella foenum-graecum*.

2. Stades d'évolution de la plante du fenugrec

Selon Deutsch et Small (2001) et FAO (2004); les stades d'évolution des graines de fenugrec se résument comme suit :

- **La floraison** : Vers la fin de l'été, la plante produit de petites fleurs parfumées jaune pâle parfois blanche ou teinté.
- **Après la floraison** : La plante produit de longues gousses ; renferment 10 à 20 graines d'abord verte ou rougeâtre, puis pâle ou brune claire à maturité.
- **A l'état frais** : Les graines ont un goût et une odeur rappelant celle du Céleri.
- **La maturation** : Une fois moulue les graines ont une saveur très caractéristique ; sucrée mais à la fois épicé et légèrement amère.

3. Aspect des graines du fenugrec

Les graines sont très dures (figure 2), unies, recouvertes par un tégument de couleur variable, un brun jaunâtre au roux, de forme plus ou moins rhomboïde (anguleuses et tronquées aux deux extrémités) et à bords arrondis, d'environ 3 à 5 mm de long sur 2 à 3 mm de large et 1.5 à 2 mm d'épaisseur (Eberharder *et al.*, 2005).



Figure 2: Les graines du fenugrec.

4. Nomenclature et taxonomie

D'après **Wichtl et Antom (2003)** le fenugrec est connu sous son nom scientifique : la *Trigonella foenum-graecum L.*, sa taxonomie est comme suit :

Règne : Plantae.

Sous regne : Tracheobionta.

Division : Magnoliophyta.

Classe : Magnoliopsida.

Sous classe : Rosidae.

Ordre : Favales.

Famille : Fabaceae.

Genre : Trigonella.

5. Valeur nutritionnelle

Le fenugrec est une épice très riche qui contient du phosphore, du fer, du soufre, de l'acide nicotinique, des alcaloïdes, saponines (propriétés stimulantes de l'appétit), Flavonoïde, glucides (57%), vitamines A, B, C, magnésium, calcium, lécithine, protéines (30%); des huiles essentielles et des fibres (29%) sous forme de mucilage (**Le floch, 1983 ; Monnier, 2004 ; Couplan, 2009**).

6. Formes d'utilisation du fenugrec

Les usages du fenugrec sont multiples, tant sur le plan culinaire qu'en médecine humaine et vétérinaire ; cette légumineuse est classiquement consommée sous la forme : poudre totale sèche, extrait sec en gélule pour phytothérapie mais aussi en décoction, en infusion, en jus (ampoules buvables) (**Volpé et al., 2009**).

Selon **Catherine et Jean(2001) ; Tiran(2003) ; Ruby(2005) ;kaviarasan , (2007) ; Jeans et al., (2009)**, les modes d'usages du fenugrec sont :

6.1. Voie externe

- Elle a des propriétés antiseptiques. ,
- Effet calmant sur la peau et les muqueuses, soulageant les irritations de la peau et allégeant le gonflement et la douleur.

6.2. Voie interne

- Stimulant les contractions utérines et de la lactation (utilisation la plus courante).
- Contribution au contrôle du taux de glucose et du cholestérol.
- Stimulant de l'appétit (utilisé par les personnes pratiquant de la musculation en phase de prise de masse).
- Fortifiant pour les convalescents, les personnes anorexiques, anémiques ou déprimées.
- Traitement adjuvant de la dysenterie, la dyspepsie, la toux chronique, la bronchite, le rhume, ainsi que l'arthrose et les névralgies.

Chapitre II

Les émulsions

1. Les émulsions

1.1. Définition

Une émulsion est un mélange hétérogène de deux liquides non miscibles, sous forme de gouttelettes de tailles colloïdales ou microscopiques (Dickinson, 1998 ; Maude, 2000). Selon Flesinski (2011) plus généralement une émulsion est une dispersion d'une phase liquide (dispersée) dans une autre phase non miscible (dispersante) (voir figure 3).

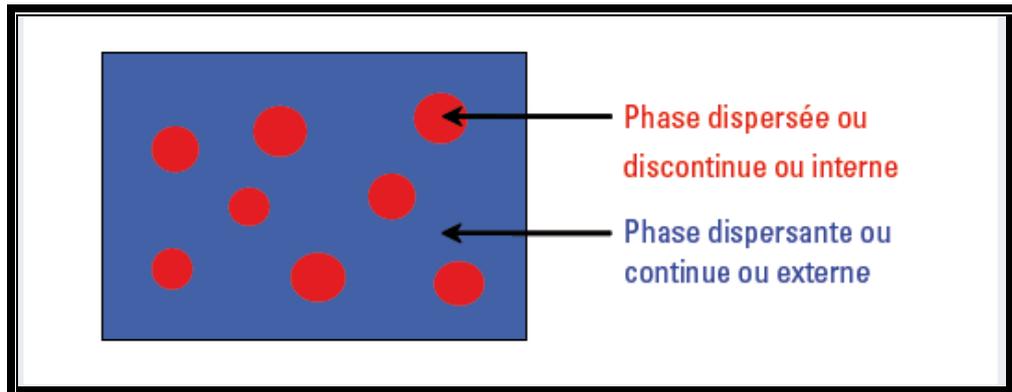


Figure 3: Phase dispersée et phase dispersante d'une émulsion (Doumeix, 2011).

1.2. Constituants d'une émulsion

1.2.1. La phase huileuse

Appelée également phase grasse, phase lipophile ou phase organique, comporte des huiles, des cires et des graisses (respectivement liquides, solides ou semi-solides à température ambiante) (Doumeix, 2011).

1.2.2. La phase aqueuse

Ou phase hydrophile contient de l'eau et divers composants hydrosolubles, les solutés de la phase aqueuse sont de nature diverse : ions minéraux, acides, bases, vitamines, glucides, protéines, etc (Doumeix, 2011).

1.3. Caractéristiques des émulsions

Pour maintenir une émulsion, il faut augmenter la surface interfaciale entre les deux phases ; en apportant de l'énergie de système, il convient ensuite de stabiliser les gouttelettes en suspension par addition d'un agent émulsionnant (Marleen et Elisabeth, 2001).

1.3.1. Les émulsifiants

D'après **Mangino (1994)** et **Vierling (2008)** et **Doumeix (2011)**, les émulsifiants sont des molécules amphiphiles appelées : tensioactifs, surfactifs, surfactants ou agents de surface, comportant des fonctions hydrophiles et des fonctions hydrophobes ; (voir figure 4) la classification et les normes d'utilisations des émulsifiants sont données par l'annexe 01.

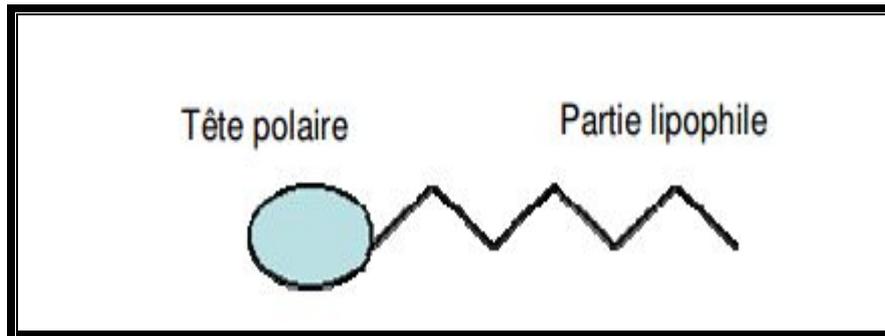


Figure 4 : Molécule d'un tensioactif (**Solano, 2006**).

Les émulsifiants sont caractérisés selon leur capacité à abaisser la tension inter faciale (IFT) et leur concentration micellaire critique (CMC) (**Gupta et Muralidhara, 2001**).

1.3.2. La CMC

Est la concentration à partir de laquelle l'émulsifiant en solution dans l'eau se rassemble sous la forme de micelles. (**Gupta et Muralidhara, 2001**).

L'HLB (Hydrophilic Lipophilic Balance) permet de caractériser un émulsifiant, généralement de basse masse moléculaire (BMM). Plus le nombre de sites hydrophiles est important dans la molécule par rapport au nombre de sites hydrophobes, plus l'HLB sera élevée et plus l'émulsifiant sera soluble dans l'eau (**Emiline, 2004**).

1.4. Types d'émulsion

1.4.1. Émulsions simples

Elles sont composées d'une phase aqueuse, d'une phase huileuse et d'un émulsifiant (Martini, 2008), la figure 5 illustre les deux types d'émulsions simples.

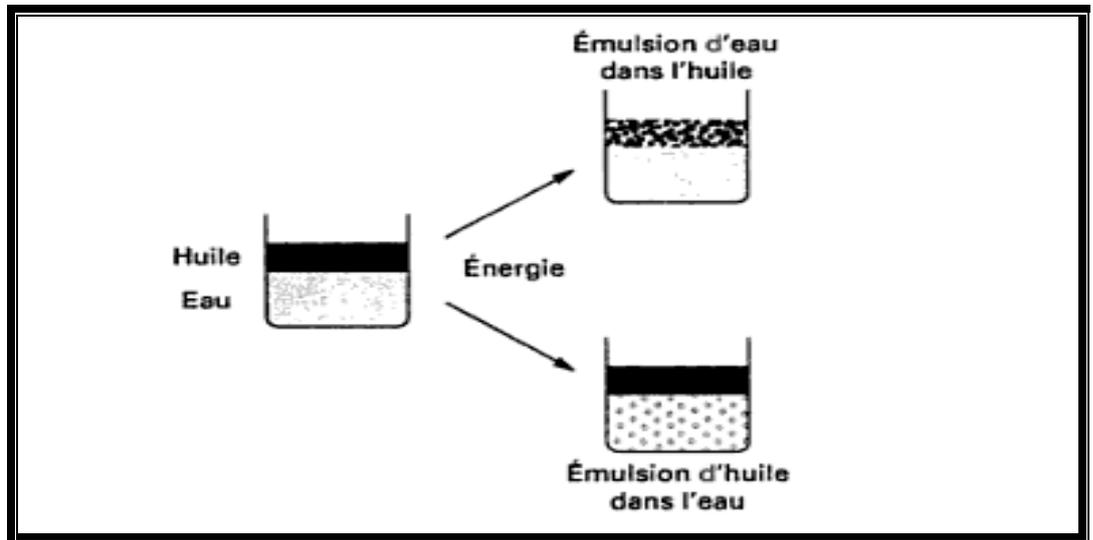


Figure 5 : Les deux types d'émulsions simples entre une phase huileuse et une phase aqueuse (Bocard, 2006).

1.4.2. Émulsions multiples

D'Après Anne et Pensée (2014), les émulsions multiples sont des émulsions où la phase dispersée est elle-même une émulsion, il s'agit le plus souvent d'émulsion double.

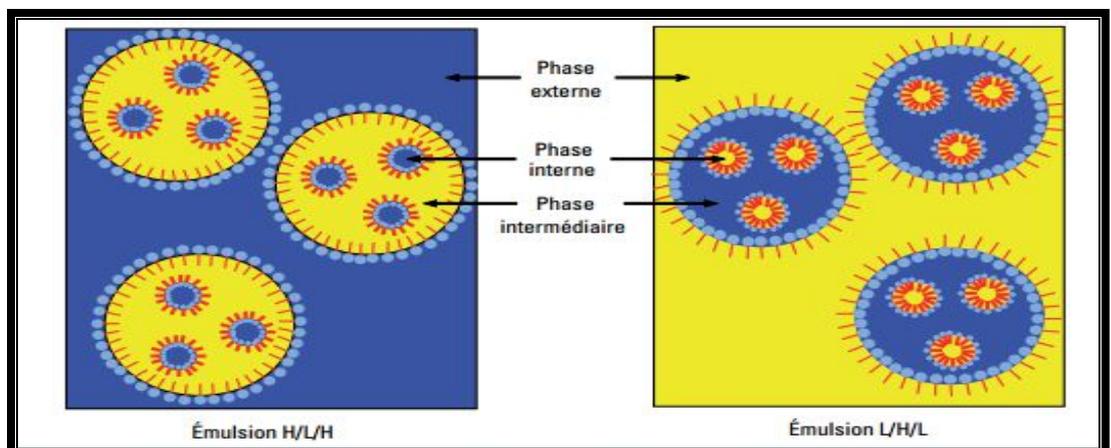


Figure 6: Les deux types d'émulsions doubles (Doumeix, 2011).

1.4.3. Les microémulsions ou émulsoides

Les microémulsions sont décrites comme des systèmes biphasiques composés de gouttelettes très fines (10-200 nm), d'où leur aspect (lié au fait que les diamètres des gouttelettes sont inférieurs aux longueurs d'onde de la lumière visible) (**Doumeix, 2011**).

2.5. Préparation des émulsions

Selon **Mathieu et Fonteneau (2008)**, il faut commencer par la détermination des composants qui vont constituer la phase hydrophile et ceux de la phase lipophile.

2.5.1. Préparation de la phase hydrophile

Il faut faire attention aux coefficients de solubilité, et à la sensibilité thermique.

2.5.2. Préparions de la phase lipophile

Il faut bien vérifier que tous les corps gras solides soient fondus.

2.5.3. Mélange des deux phases

Il est impératif que la phase hydrophile soit à une température égale celle de la phase lipophile afin d'éviter la formation de grumeaux.

2.5.4. Imulsification

C'est l'étape critique ; cette opération doit fractionner les gouttelettes de phase dispersée.

3. Stabilité des émulsions

D'après **Vaubourdolle (2007)**, **Mathieu et Fonteneau (2008)**, l'émulsion peut se séparer par divers phénomènes dont:

- **La coalescence** : (Séparation des deux phases).
- **Le crémage** : Les gouttelettes se rassemble en surface.
- **La sédimentation des globules** : Les gouttelettes se rassemble au fond.
- **La floculation** : Les gouttelettes en phase dispersée s'agglomèrent entre elles mais sans se réunir.

Ces phénomènes sont en fonction de :

- Rayon des globules.
- La viscosité de la phase dispersante.
- La gravité.
- La tension inter faciale.

4. Intérêt des émulsions

4.1. L'industrie alimentaire

En industrie alimentaire utiliser pour donner l'onctuosité à la pâte à pain, aux produits de biscuiterie, aux glaces alimentaires, mayonnaise, moutarde, **(Roudaut et Lefranq, 2005)**.

4.2. L'industrie pharmaceutique

Ils sont utilisés pour rendre les médicaments plus acceptables, d'améliorer l'efficacité en contrôlant le dosage des ingrédients actifs, et de fournir une esthétique améliorée pour les médicaments topiques tels que des onguents **(Randy et Perry, 2007)**.

4.3. Cosmétologie

En cosmétique, les émulsions rentrent dans la fabrication des différentes huiles et cires, des crèmes, des gels **(Randy et Perry, 2007)**.

4.4. D'autres utilisations

Les produits raffinés, les peintures, les butimes, les encres sont à base d'une émulsion **(Randy et Perry, 2007 ; Flesinski, 2011)**.

Chapitre III

Les Micro-ondes

1. Définition

Ce sont des ondes constituées d'un champ magnétique et d'un champ électrique se propageant dans un milieu, matériel ou dans le vide, de nombreuses sources artificielles émettent de l'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques (Wakim, 2008).

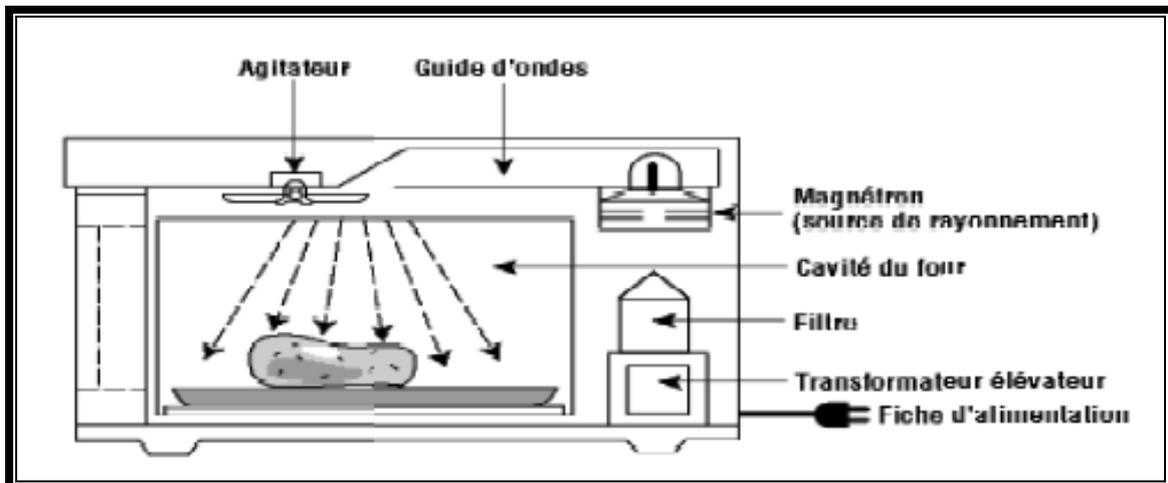


Figure 7 : Constitution d'un four microonde (Galwa, 2007)

2. Mécanisme d'action des microondes

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de haute fréquence non ionisantes comprises entre les ondes radiophoniques et les infrarouges. La gamme de fréquences des micro-ondes est comprise approximativement entre 300 MHz et 300 GHz, ce qui correspond à des longueurs d'ondes s'étendant d'environ 1 m à 1 mm (Datta et Anantheswaran, 2001, Wakim, 2008).

La place des micro-ondes dans le spectre électromagnétique est représentée en Figure 8.

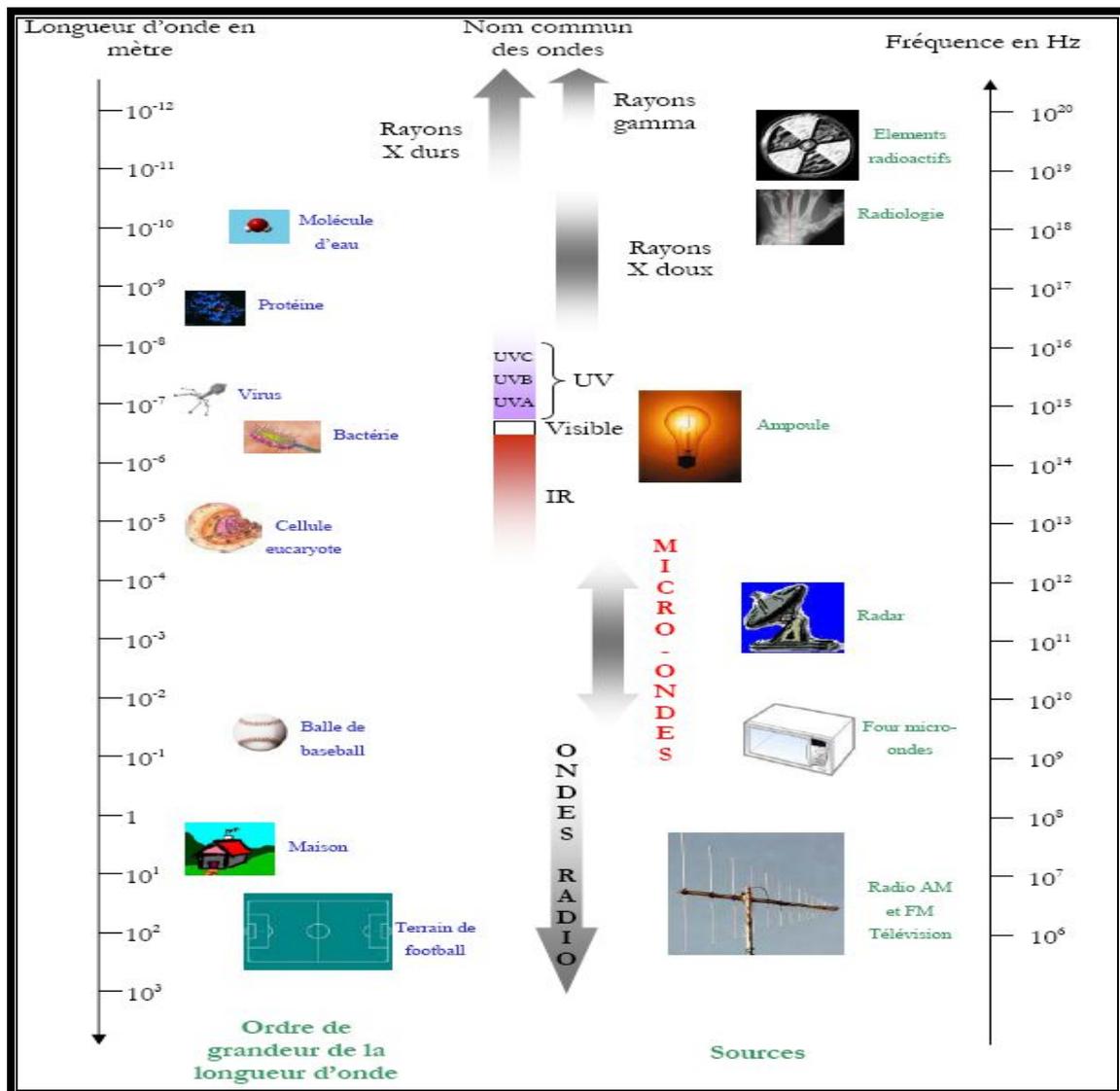


Figure 8: Le spectre électromagnétique et exemples d'ordre de grandeur et d'utilisations associées (Rougier, 2003).

3. Eléments constitutifs d'un dispositif micro-ondes

Trois éléments principaux constituent le dispositif micro-ondes :

- 1- Le générateur équipé d'un tube magnétron qui transforme l'énergie électrique en énergie micro-ondes (figure 9).
- 2 - Un transporteur d'ondes ou guide d'ondes.
- 3 - L'applicateur, où le matériau à traiter est placé.

A ces 3 éléments peuvent s'ajouter :

- 4 - Une charge à eau ou un absorber d'ondes refroidit à l'eau ou à l'air, permettant d'absorber les ondes résiduelles.

5 - Un circulateur, qui est un dispositif permettant de diriger les ondes réfléchies vers la charge à eau, c'est un élément de protection du magnétron (Wakim, 2008).

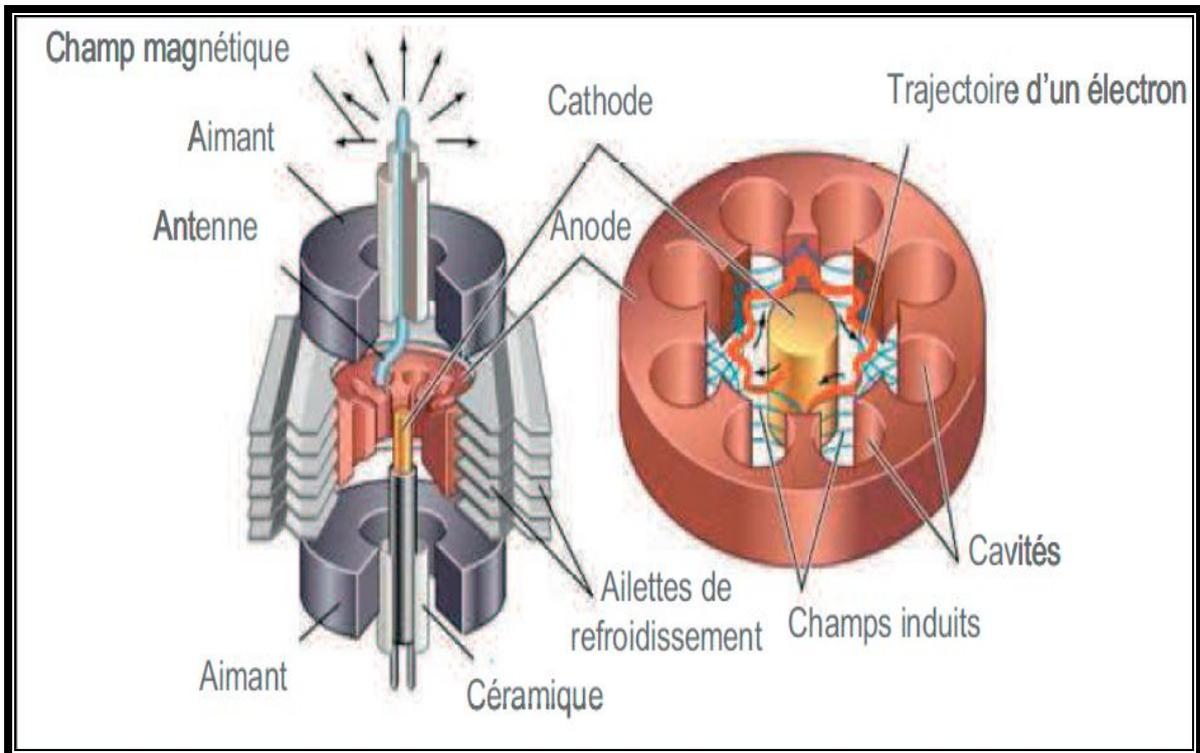


Figure 9 : Coupe schématique d'un magnétron (Viro, 2009).

4. Chauffage et procédés alimentaires

Pour les micro-ondes, l'agitation moléculaire est la source principale de production de chaleur. Ainsi, la matrice, le mélange ou le volume traité absorbe l'énergie directement et s'échauffe rapidement, devenant lui-même source de chaleur, il s'agit d'un chauffage en volume et non en surface, les parois externes du récipient sont plus froides que le cœur de la solution (Wakim, 2008).

5. Action des microondes sur le produit

5.1. Paramètres importants du produit

5.1.1. Propriétés diélectriques

Les propriétés diélectriques, qui sont le coefficient d'absorption, jouent un rôle important dans le chauffage microondes (Nelson *et al.*, 2000), en pénétrant dans l'aliment à traiter, l'onde électromagnétique a l'avantage de créer une élévation de chaleur directement dans

la masse, cependant il peut exister, en particulier avec les micro-ondes, une hétérogénéité de traitement, due soit au produit lui-même, soit à une mauvaise répartition du champ dans l'enceinte (**Schiffman, 1993**).

5.1.2. Propriétés thermiques

L'aptitude d'un produit à chauffer aux micro-ondes ne dépend pas uniquement de ses propriétés diélectriques, ses propriétés thermiques peuvent en effet avoir un effet décisif dans certains cas, par exemple, la température de l'huile, à chaleur spécifique réduite, augmente plus rapidement que celle de l'eau traitée sous les mêmes conditions de traitement micro-ondes (**Ryyanem et Ohlson, 1996 ; Zhang et al., 1999**).

La composition de l'aliment, si elle évolue au cours du chauffage (opération entraînant une élimination partielle de l'eau), peut entraîner une modification de ses propriétés thermiques telles que, la chaleur spécifique, la conductivité thermique de même que sa densité, par conséquent, le chauffage devient non uniforme (**Wakim, 2008**).

5.1.3. Activité de l'eau

L'activité de l'eau (a_w) est un concept thermodynamique, lié au potentiel chimique de l'eau du produit par rapport à celui de l'eau pure dans les mêmes conditions de température et de pression, l' a_w est utilisée communément par les microbiologistes pour décrire, dans un produit, l'eau disponible pour les micro-organismes (**Le Meste et al ; 2002**).

5.1.4. Puissance absorbée

Dans les milieux complexes tels que les aliments la génération de chaleur suite à l'absorption des micro-ondes est liée à la présence de molécules polaire (eau, alcool,..), toute fois une petite énergie dissipée est liée à l'oscillation d'ions (**Schiffman, 1995**).

6. Applications des micro-ondes

Les applications du four aux micro-ondes dans le secteur agroalimentaire sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Applications du four aux micro-ondes dans le secteur agroalimentaire (Ademe, 2002).

Produit	Application
Biscuiterie, boulangerie, Pâtisserie	Décongélation, trempage Chauffage, traitement thermique
Fruits et légumes, épices, Plantes	Décongélation, trempage Décontamination, désinsectisation
Plats cuisinés	Décongélation, trempage Cuisson
Pâtes alimentaires	Séchage, déshydratations Pasteurisation
Poissons	Décongélation, trempage Chauffage, traitement thermique Cuisson
Viandes	Décongélation, trempage Chauffage, traitement thermique Cuisson
Boissons	Séchage, déshydratations Pasteurisation

Etude Expérimentale

Chapitre IV

Matériel et méthodes

1. Lieu du travail

Le travail s'est déroulé au niveau des laboratoires (biochimie, technologie alimentaire et amélioration des plantes) de l'université Ibn khaldoun de Tiaret à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

2. Objectif du travail

L'objectif principal de notre travail, est de mettre en évidence l'effet du traitement aux microondes sur les propriétés physicochimiques et émulsifiantes de l'extrait aqueux des graines de fenugrec.

3. Matériel

3.1. Graines du fenugrec *Trigonella foenum- graecum*

Le choix des graines de fenugrec est basé sur sa disponibilité sur le marché, et son utilisation ; elles proviennent du commerce.

3.2. Huile d'olive vierge

L'huile d'olive utilisée est une huile vierge, de catégorie supérieure, obtenue exclusivement au moyen de procédés mécaniques, sa dénomination commerciale : CHIALI produite par Le groupe Chi Ali zone industriel Sidi Bel Abbès.

3.3. Stabilisant

Le stabilisant utilisé c'est la caséinate de sodium préparé au sein du laboratoire.

3.4. Appareillages et produits utilisés

3.4.1. Appareillages utilisés

- Balance de précision (SARTORUS BASIC BA 1110S).
- Etuve (MEMMERT).
- pH mètre (SCHOTT-G Erat CG 822).
- Plaque chauffante (RTC Basic).
- Refractomètre RL2.
- Bain marie (MEMMERT).
- Spectrophotomètre (GENWAIY UV-V).
- Conductimètre électrique (PHYWE 1370193).

- Centrifugeuse (SIGMA LABORENTRIFUEUSE 2-15).
- Microscope optique (ZEISS, WEST GERMANY).
- Passoire en plastique.
- Thermomètre électronique (TESTO).
- Réfrigérateur.
- Viscosimètre (THERMO-ELECTROCORPORATION).
- Appareil ultraturax (KIKA LABORATECHNIQUE type 5).
- Four aux microonde (Samsung) de cuisine.
- Four à moufle (HEARAREUS INSTRUMENTS WEST GERMANY).

3.4.2. Verreries

- Bêchers.
- Eprouvette graduée.
- Creusets.
- Capsules.
- Entonnoir.
- Erlen Meyer.
- Fioles jaugées.
- Tubes à essai.
- Lames et lamelles.
- Micropipettes.
- Pycnomètre.

3.4.3. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés pour les analyses physicochimiques sont démontrés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les produits chimiques utilisés pour les analyses physicochimique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec.

Produits chimiques	Analyses effectués
-Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) 95 %. -Phenol 5%. -Ethanol (C ₂ H ₅ OH). -Eau distillée	Teneur en sucre totaux
- Eau distillée. -Réactif de Biuret. -NaOH (0.3N).	Taux des protéines
- Eau distillée. -Solutions tampons pH= 4 et pH = 8 (acide acétique et acétone)	pH

4. Méthodes d'analyses

4.1. Protocole expérimentale

La démarche expérimentale réalisée durant cette présente étude, est illustrée dans la figure 10 :

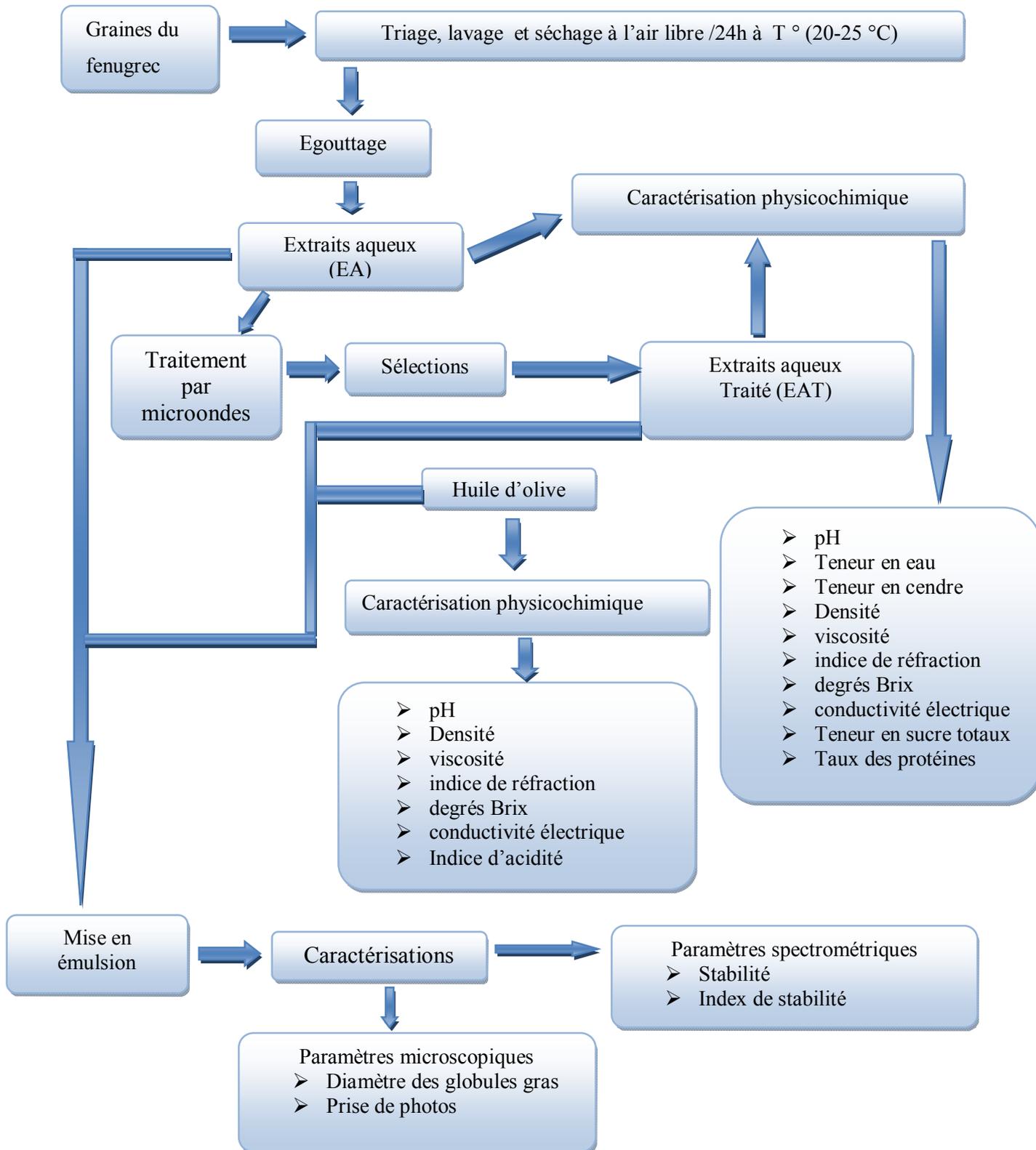


Figure 10: protocole expérimental.

4.2. Préparation d'extrait aqueux des graines du fenugrec**4.2.1. L'extrait aqueux**

Après le triage, le lavage, et le séchage des graines du fenugrec à l'air libre et à la température ambiante, l'extrait aqueux est préparé selon le mode opératoire suivant :

- 25 g des graines du fenugrec ont été mises dans un bécher avec 100 ml d'eau potable.
- Les chauffer sur une plaque chauffante dont le temps du chauffage est compté dès l'ébullition jusqu'à 5 minutes.
- Séparer l'extrait aqueux par une passoire en plastique dont le diamètre des pores est inférieur à la taille des graines du fenugrec.

4.2.2. L'extrait aqueux traité par microonde

Les étapes du traitement sont :

- Mettre l'extrait aqueux dans des fioles jaugé de 50 ml.
 - Placer les fioles par alternance l'une après l'autre au four aux microondes.
 - Le traitement aux microondes est réglé en secondes (5 s, 10s ,15s, 20s ,25s.....)
- à 2.45 GHz. Et 800 w.
- Mesurer la température et la viscosité ; à l'aide d'un viscosimètre pour chaque échantillon.
 - Le traitement aux microondes est arrêté une fois la température atteint 95 °C.,
 - Choisir l'extrait aqueux traité par microondes qui possède la viscosité la plus élevée pour la réalisation des analyses physiques et chimiques.

4.3. Analyses physiques

4.3.1. Viscosité

D'après **Marlene et Elisabeth (2001)**; la viscosité est définie comme étant la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière (**Guyon et al. 2001**). Elle est exprimée usuellement en centipoise (**Elisabeth, 2008**). Cette méthode consiste à :

- Remplir le tube avec l'échantillon.
- Fixer la température à 20° C.
- Lorsque l'équilibre de la température est atteint, choisir une bille pour laquelle son écoulement à travers l'échantillon dans le tube viscosimètre, doit être aussi lent que possible.
- Laisser ensuite la bille s'écouler librement et lorsqu'elle atteint le repère de la partie supérieure, mettre le chronomètre en marche.
- Lorsque la bille atteint le repère situé à la partie inférieure du tube viscosimétrique ; noter le temps de chute de la bille.

Le calcul de la viscosité se fait selon la formule suivante :

$$\mu = t (D_1 - D_2) \cdot K$$

Ou :

μ : Viscosité en centipoise.

t : La durée de chute en seconde.

D1 : Densité de la bille.

D2: Densité du liquide à la température de mesure.

K : constante de la bille égale à 0.10277.

4.3.2. Densité

Selon **AFNOR « Nf 75-111 (1999) »**. La densité est définie comme étant le rapport de la masse d'un certain volume d'huile à 20 °C et la masse d'eau distillé à 20 °C.

La densité est calculée à 20°C selon les étapes suivantes :

- Peser le pycnomètre vide et parfaitement sec (P_0).
- Peser le pycnomètre rempli d'eau distillé (P_1).
- Sécher le pycnomètre, puis le remplir avec l'échantillon (P_2).

Les résultats sont donnés par la formule suivante :

$$D = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0}$$

Ou :

P_0 : Poids du pycnomètre vide.

P_1 : Poids du pycnomètre rempli d'eau.

P_2 : Poids du pycnomètre rempli de l'échantillon.

4.3.3. Indice de réfraction et le degré Brix

D'après les normes **ISO (2000)**, l'indice de réfraction c'est le rapport de la vitesse de la lumière, à une longueur d'onde définie dans le vide, à sa vitesse dans la substance.

Selon la norme **AFNOR « Nf 75-112, (1999) »**, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un réfractomètre d'abbé prisme, cet indice permet de connaître le degré de pureté d'un liquide ou de connaître la dose de solide dissoute dans une solution.

Le degré Brix (%) exprime le pourcentage de la concentration des solides solubles contenus dans un échantillon (**Cendres, 2011**).

Selon la méthode AFNOR « NF ISO-279, (1999) », l'indice de réfraction est mesuré comme suit :

- Etalonner le refractomètre avec l'eau distillé dont l'indice de réfraction est égal à 1.333.
- Laver les prismes du refractomètre avec l'acétone et les essuyer avec un papier absorbant.
- Verser entre les prismes 2 à 3 gouttes de l'échantillon.
- Déplacer alors la lunette de visée pour que la ligne de séparation de plage claire et de plage sombre se situe à la croisée des fils de réticule.
- Lire l'indice de réfraction du corps à étudié.

4.3.4. Teneur en eau

La teneur en eau ou l'humidité est la teneur d'eau perdu par l'aliment elle est déterminée selon le mode opératoire suivant :

- 15ml de l'extrait aqueux de fenugrec (traité et non traité) a été mis dans des creusets préalablement pesés et tarés puis ont été placés dans l'étuve à 105 ° C pendant 3 heures, les creusets ont été retirés, et placés dans un dessiccateur et pesés après refroidissement.

D'après AOAC (2000), la teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$TE = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \cdot 100$$

Dont :

TE : Teneur en eau %.

M₀ : Poids de la prise d'essai (g).

M₁ : Poids du creusets + échantillon avant étuvage (g).

M₂ : Poids du creusets + échantillon après étuvage (g).

4.3.5. Détermination du taux de cendres

Les cendres totales sont le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon contenant des substances organiques d'origine animale, végétale ou synthétique (Salghi, 2013).

D'après Lazouni et al (2006), la teneur en cendres est obtenue suite à une calcination de l'échantillon végétal dans un four à moufle, le taux moyen de la quantité de cendres est déterminé par la différence du poids.

➤ Mode opératoire

On évapore à sec 25 ml de l'extrait (traité et non traité) dans des capsules en porcelaine au bec benzène ; après incinération au niveau du four à moufle pendant 2 heures à 550 ° C jusqu'à l'obtention d'un résidu grisâtre et les capsules sont pesées par la suite.

Le taux de cendre est calculé par la formule suivante (AOAC, 2000) :

$$TC = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

Dont :

TC : Taux de cendres (%).

P₀ : Poids de la prise d'essai (g).

P₁ : Poids des creusets vide (g).

P₂ : Poids d'échantillon + creuset après incinération (g).

4.3.6. Mesure du pH

Le pH d'un milieu donné, c'est sa concentration en ions H⁺ déterminée par la méthode potentielle ou électronique (Lenaire et Morel, 2003).

Il est mesuré par un pH-mètre selon le mode opératoire suivant :

- L'électrode doit être rincée par l'acétone et nettoyé avec du papier absorbant.
- Etalonner le pH-mètre à l'aide d'une solution tampon.
- Tremper l'électrode du pH-mètre dans un volume suffisant de l'échantillon et lire le pH indiqué sur l'écran de l'affichage du pH-mètre.

4.3.7. Conductivité électrique

La conductivité électrique nous renseigne sur la teneur en sels solubles, Elle est mesurée à l'aide du conductimètre, les résultats sont exprimés en $\mu\text{s/cm}$.

4.4. Analyses chimiques

4.4.1. Détermination de la teneur en sucres totaux

Il a été réalisé, selon la méthode au phénol-sulfurique (**Dubois ; 1956**), par la mesure de l'absorbance à 490 nm, C'est la concentration d'hydrate de carbone en solution aqueuse.

➤ Mode opératoire

Pour l'extraction des sucres solubles: on met 0.1 g de l'extrait aqueux chaud (traité et non traité). Dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%, le tout est laissé au repos pendant 48 h à la température ambiante. Ensuite évaporer le total de l'alcool en mettant les tubes à essai dans une étuve à 80° C.

➤ Dosage

Mettre dans chaque tube à essai 20 ml d'eau distillée, prendre ensuite 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter. Enfin ajouté 2 ml d'acide sulfurique concentré, et déposé les tubes à essai dans un bain marie à 20 ° C, puis procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm en se référant à la courbe d'étalonnage (**Dubois ; 1956**), Le calcul se fait à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage (voir annexe 2).

➤ Expression des résultats

La quantité des sucres totaux est déterminée à partir de la courbe d'étalonnage (voir annexe 2) selon la formule suivante :

$$ST = [(X. V.D)/P] \times 100$$

D'où :

ST : Taux de sucre totaux (%).

X : Quantité de sucre calculée à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml).

D : Facteur de Dilution.

V : Volume de la solution analysée (ml).

P : Poids de la prise d'essai (g).

4.4.2. Dosage des protéines

Développée par **Gornall et al.,(1949)**, la méthode du Biuret reste de loin la réaction la plus générale caractéristique de la liaison peptidique.

En milieu alcalin, le biuret ($\text{NH}_2\text{-CO-NH-CO-NH}_2$) se combine avec le cuivre pour donner une coloration violette. Cette coloration révèle en effet la présence de deux radicaux -CO-NH- ou -CH-NH- séparés par un atome d'azote ou de carbone.

La réaction du Biuret est assez peu sensible et s'applique difficilement à des solutions diluées de protéines, toutefois c'est une des méthodes les plus fiables, pratiques et rapides utilisées pour le dosage des protéines totales d'un milieu biologique, l'avantage de la méthode réside dans la non influence de la nature des protéines mais l'inconvénient majeur en est la faible sensibilité (**Loncle, 1992**).

➤ Mode opératoire

- Dans une fiole de 50 ml on met 1g d'échantillon et on complète le volume en ajoutant l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, ramener à pH=8 avec NaOH (0.3N).
- Centrifuger pendant 30 min à 400 tours /min.
- Récupérer le surnageant.
- Préparer 4 tubes à essais.
- Mettre successivement dans chaque tube les volumes suivants (0.2 .4.6 ml) de solution d'échantillon.
- Diluer chaque tube avec de l'eau distillée en ajoutant respectivement les volumes suivants (6.4, 2.0 ml).
- Prendre de chaque tube 2 ml, puis ajouter 3 ml de réactif de Biuret.
- Homogénéiser et placer les tubes 30 min à l'obscurité pour développer la coloration.
- Mesurer l'absorbance à 540 nm en remplissant la cuve de l'échantillon et la placer dans le spectrophotomètre.
- Noter les valeurs obtenues pour tracer la courbe.
- Les résultats sont extrapolés à partir d'une courbe d'étalonnage (voir annexe 3).

- Le calcul de la concentration de protéines est donné par la formule suivante :

$$\text{Protéines (g/l)} = \frac{A \times D}{P}$$

D'où :

A : Absorbance d'échantillon.,

D : Facteur de dilution.,

P : Pente de la courbe d'étalonnage.

4.5. Etude des propriétés émulsifiantes

4.5.1. Préparation des émulsions

D'après les travaux réalisés par **Acem (2001)**, la composition des émulsions préparées est citée dans le tableau 3 :

Tableau 3: la composition des émulsions préparées.

Composants (%)	Emulsion	
	HO/EA	HO/EA
Huile d'olive	5	4.5
Extraits aqueux	95	95
Stabilisant	0	0.5

Le mélange est homogénéisé à l'aide d'un homogénéisateur à raison de 8000 tr/2min (ultra-turrax) à 25 °C pendant 30 min.

4.5.2. Mesure de la stabilité

- A partir de l'émulsion mère on prépare une dilution au 1/20^{ème}.
- On homogénéise la dilution en retournant la fiole sans agiter.
- Une nouvelle dilution a raison du 1/5^{ème} est réalisé à partir de la première dilution, on remplit la cuve du spectrophotomètre.
- On lit l'absorbance à 500 nm après avoir réalisé un blanc avec l'eau distillée.
- La solution mère est conservée pour les mesures ultérieures.
- On reprend les mêmes étapes à 30 ; 60; 90 ; 120 ; 150 et 180 min.

$$S (\%) = \frac{At \times 100}{At_0}$$

D' où :

At: l'absorbance à t finale.

At₀ : l'absorbance à t₀.

- L'index de stabilité est exprimé par la formule suivante :

$$S (\text{heures}) = \frac{At_0}{At_0 - At} (t - t_0)$$

4.5.3. Observation microscopique et prise de photos

Après la préparation des émulsions une gouttelette est prélevée et déposée à l'aide d'une pipette pasteur sur une lame en verre ; on dépose une goutte de bleu de méthylène. Puis on étale à l'aide d'une petite lamelle. La préparation est prête à l'observation microscopique à l'aide d'un microscope optique ; Après la mise au point des photos sont directement prise grâce à un appareil à photos numérique.

4.5.4. Détermination du diamètre

On détermine macroscopiquement le diamètre moyen des gouttelettes de l'huile à l'aide d'un micromètre oculaire gradué de 0-10 dont les graduations sont distantes les unes des autres de 0.1 μm .

- On fait coïncider les deux règles (lame porte objet et micromètre oculaire).
 - Sur la lame préparée ; on se déplace au hasard ; et en réalisent 10 déterminations successives des diamètres.
 - La détermination de diamètre des globules gras est faite sous l'objectif 40.
- Le calcul du diamètre moyen est donné selon la formule suivante :

$$\Phi [t] = \frac{K}{10} \left(\sum_{i=1}^{i=10} D_i \right)$$

Dont :

T : Diamètre moyen des globules gras à temps (t) en μm .

K : Coefficient oculaire (K=1.333).

I : Nombre des globules gras fixés au hasard.

D : Diamètre des globules gras en μm .

Chapitre V

Résultats et discussions

1. Caractérisation des phases d'émulsions

1.1. Huile d'olive vierge

1.1.1. Paramètres physicochimiques

Les résultats physicochimiques moyens de l'huile d'olive sont donnés dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Paramètres physicochimiques à 20° C de l'huile d'olive utilisée.

Paramètres	Valeurs moyennes
Conductivité électriques ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9.42
Densité	0.91
Indice de réfraction	1.471
Indice d'acidité (%)	0.1
Degré Brix (%)	0.712
Viscosité (cP)	76
pH	6.56

1.1.2. Conductivité électrique

La valeur de la conductivité électrique est inférieure à celle obtenue par **Akkak et Laaredj (2007)** : $9.61 \mu\text{S}/\text{cm}$, donc d'une façon générale, la CE d'un corps varie avec la composition minérale et la mobilité des ions.

1.1.3. Densité

La densité de l'huile d'olive est égale à 0.91 ; elle est en accord avec les normes internationales du **Codex Alimentarius (1989)** et **FAO (2001)** ; elle est égale : 0.91, la densité des huiles végétales dépend de la composition chimique, la température et le taux de saturation (**Karlkind ,1992**).

1.1.4. Indice de réfraction

Selon les normes de **Codex stan33-(1981)** ; l'indice de réfraction de l'huile d'olive vierge varie entre 1.4677-1.4705, donc nos résultats ne sont pas conformes à cette norme.

L'indice de réfraction d'une substance donnée varie avec la longueur d'onde de la lumière incidente et avec la température (**Benrachou, 2013**).

1.1.5. Indice d'acidité

L'indice d'acidité est égale à 0.1% ; cette valeur est conforme aux normes internationales du **Codex Alimentarius (1989)** et **FAO(2001)**, qui doit être inférieure à 1 %, pour être catégorisée en huile d'olive vierge extra, une huile ne doit présenter aucun défaut organoleptique, une très faible acidité et un très faible état d'oxydation, ces caractéristiques assurent au consommateur l'achat d'un produit de qualité qui se conservera bien dans le temps (**Benrachou, 2013**).

1.1.6. Viscosité

La valeur obtenue de la viscosité est inférieure à la valeur obtenue par **Allouche et al. , (2011)** dont elle est égale à 83 cP.

Selon **Ancey (2015)**, la viscosité dépend foncièrement de la température, elle augmente avec le poids moléculaire et diminue avec l'augmentation du nombre d'insaturation des corps gras (double liaison) (**Djadoun, 2010**).

1.1.7. pH

Le résultat de la valeur du pH trouvée est conforme au résultat de **Grem et Aouni (2014)** qui est 6.53, le pH intervient dans le mécanisme d'oxydation des lipides, principalement en modifiant la solubilité des catalyseurs et inhibiteurs de l'oxydation (**Cheftel, 1976**)

2. Caractérisation physique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec

2.1. Température

La figure 11 donne la cinétique de la température de l'extrait aqueux des graines du fenugrec durant le traitement aux microondes.

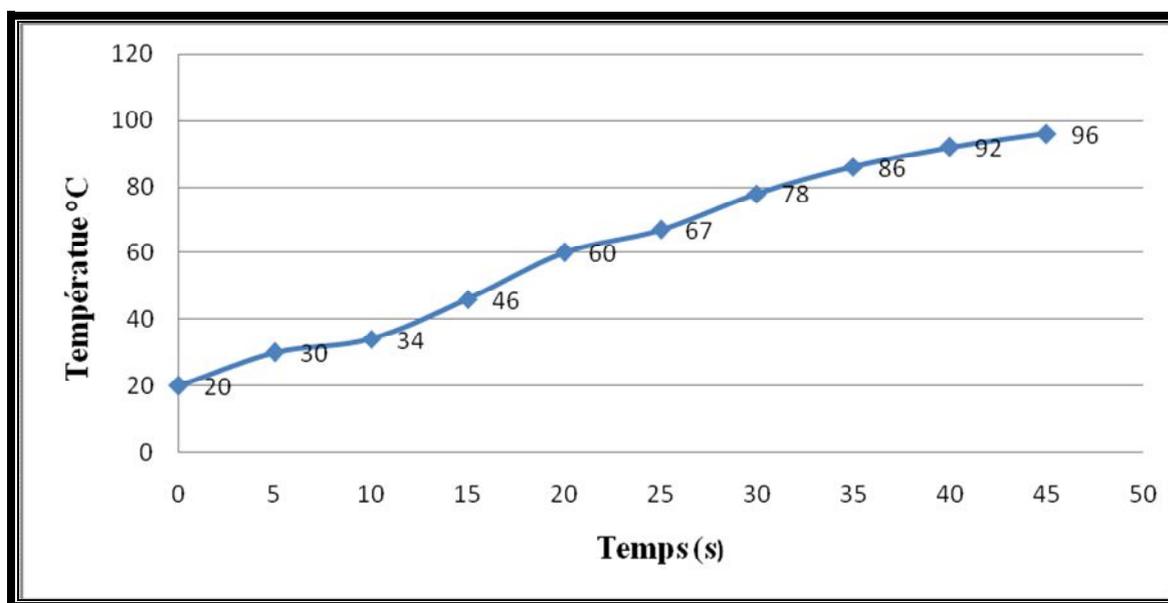


Figure 11: Cinétique de la température d'extrait aqueux traité par microondes en fonction du temps

Nous remarquons une élévation des valeurs de la température suivant différents temps de traitement, cette augmentation progressive de la température peut être expliquée par le phénomène d'absorption qui dépend du champ électrique de la fréquence d'onde ; de la nature du milieu ainsi que des propriétés électriques et diélectriques de celui-ci (Knuston et al., 1987).

2.2 Viscosité

Les résultats de la variation de la viscosité moyenne durant le traitement aux microondes sont illustrés dans la figure 12 :

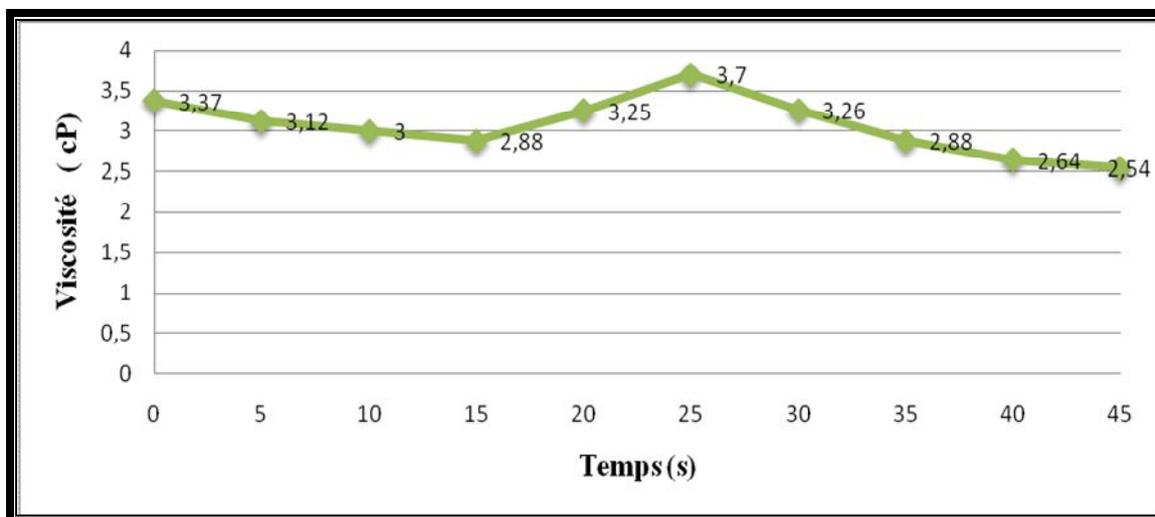


Figure 12: Variation de la viscosité de l'extrait aqueux durant le traitement aux microondes.

Nous remarquons que la viscosité varie en fonction du temps et de la température; elle décroît au début du traitement thermique aux microondes; jusqu'à 60 °C pendant 15 s;

A 67°C pendant 25 s de traitement aux microondes; la viscosité atteint son maximum 3.7 cP, et elle commence à diminuer et atteindre son minimum 2.54 cP lorsque le traitement thermique dure progressivement.

Les résultats obtenus sont conformes avec la recherche effectuée par **Perez (1969)** C'est à 60 °C que l'extrait est le moins détérioré : au-dessus de ce seuil, la température provoque une dégradation plus importante.

Selon **Ligier (1997)**; beaucoup de liquides présentent des variations de viscosité avec la température, en solution diluée les viscosités peuvent augmenter, diminuer ou rester stables sous l'effet de l'augmentation de la température.

D'après **Fauduet (2011)**; La viscosité augmente avec le nombre d'atome de carbone; gradient de vitesse et le temps de certains fluides.

Selon **Bidri et Choay (2013)**; les graines de fenugrec renferment un taux élevé de protéines; donc la concentration et les caractères intrinsèques des protéines permettent l'augmentation de la viscosité (**Fernot et vierling, 2001**).

La viscosité des liquides dépend de la température, la nature chimique du liquide ; la concentration en solution. (Haussone et al., 2005 ; Fauduet, 2011), en effet Moore et al., (1965) Globalement, la température influence la viscosité des solutions de polymères en modifiant les valeurs de l'indice de consistance et de l'indice d'écoulement.

2.3. Densité

Les résultats des valeurs de la densité trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec à 20 ° C sont illustrés dans la figure 13.

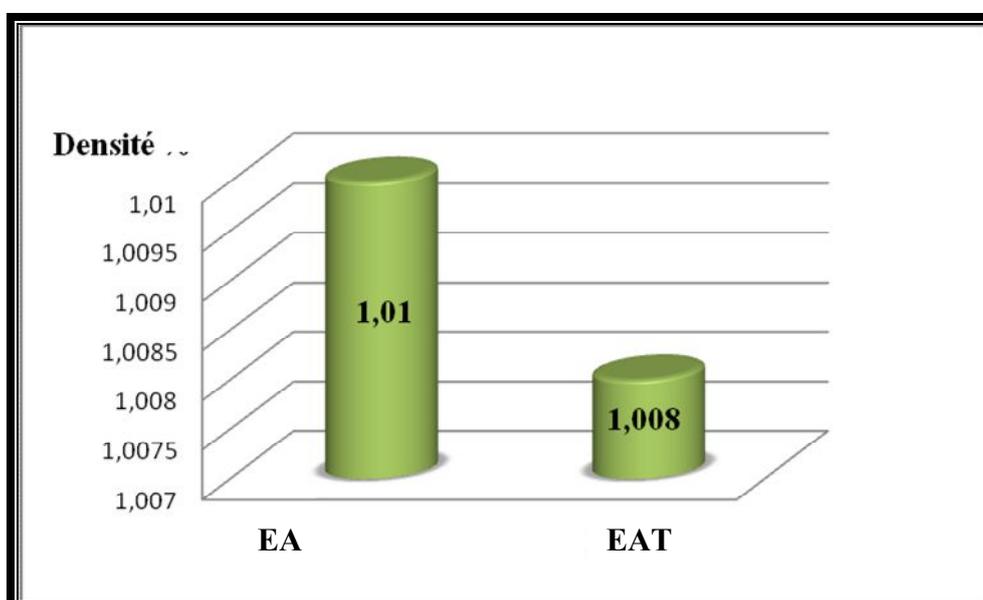


Figure 13 : Densité des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.

La densité d'extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec sont presque identiques.

D'après Boudier et Luquet (1980), la densité dépend de la teneur en matière sèche ; matière grasse et ainsi la température

2.4. Conductivité électrique

Les résultats des valeurs moyennes de la conductivité électrique trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec à 20 ° C sont illustrés dans la figure 14.

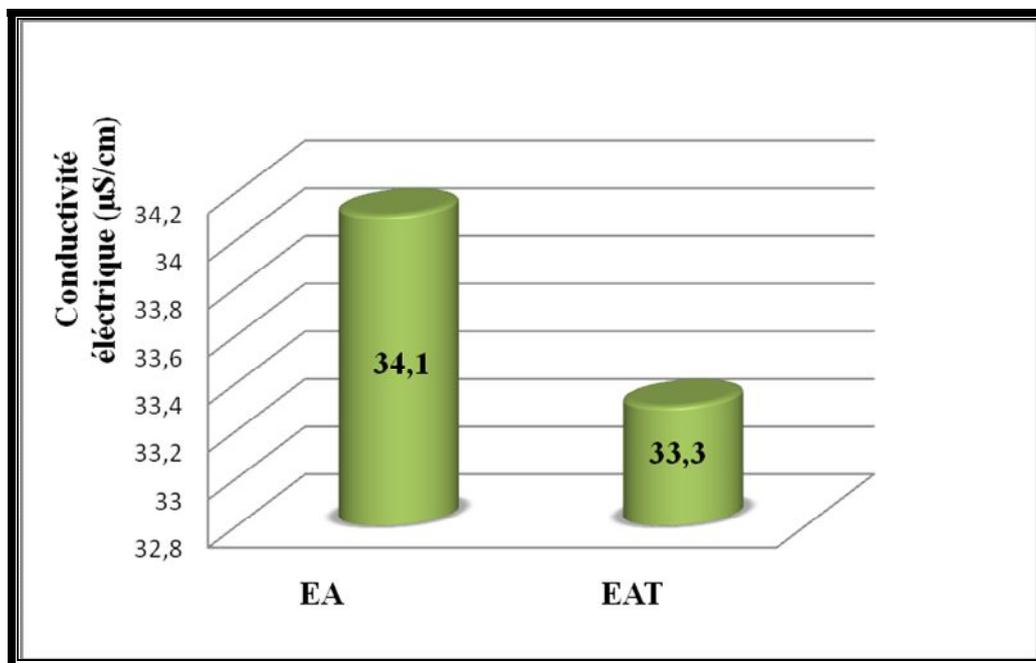


Figure 14 : Conductivité électrique des extraits (EA et EAT) des graines de fenugrec.

Les valeurs de la conductivité électrique des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont comparables.

La conductivité électrique exprime l'aptitude d'une solution aqueuse à conduire un courant électrique ; elle est en corrélation avec la teneur en sel solubles (Amellal, 2008).

2.5. pH

Les résultats des valeurs moyennes du pH trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont présentés dans la figure 15.

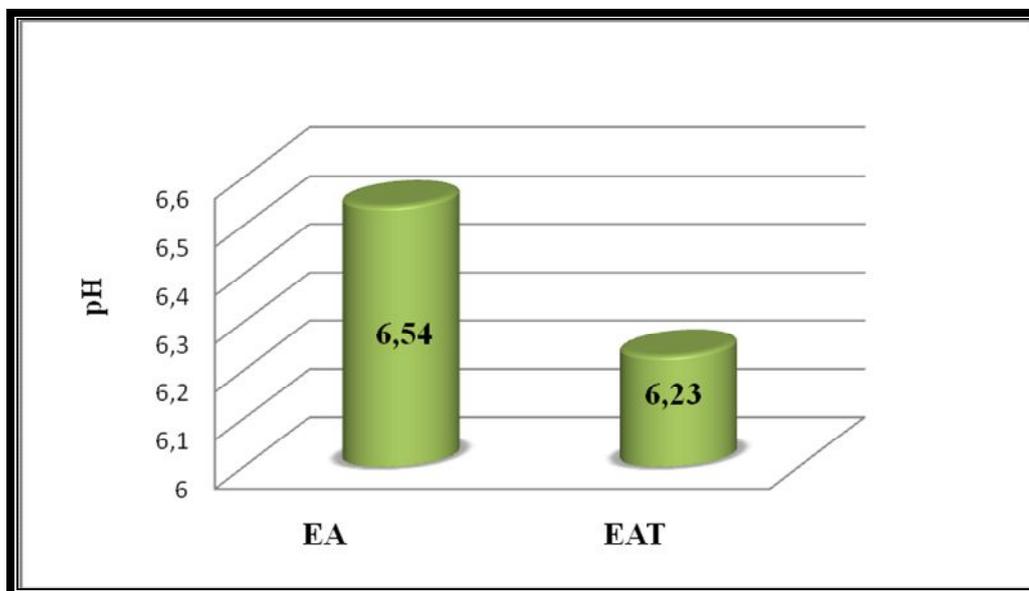


Figure 15 : pH des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.

La valeur moyenne du pH de l'extrait aqueux (non traité) est légèrement supérieur à celle trouvée dans l'extrait aqueux traité (EAT), ces valeurs de pH déterminent la concentration des ions H^+ (Lemaire et Philipe , 2003).

2.6. Indice de réfraction

Les résultats des valeurs moyennes de l'indice de réfraction trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont présentés dans la figure 16.

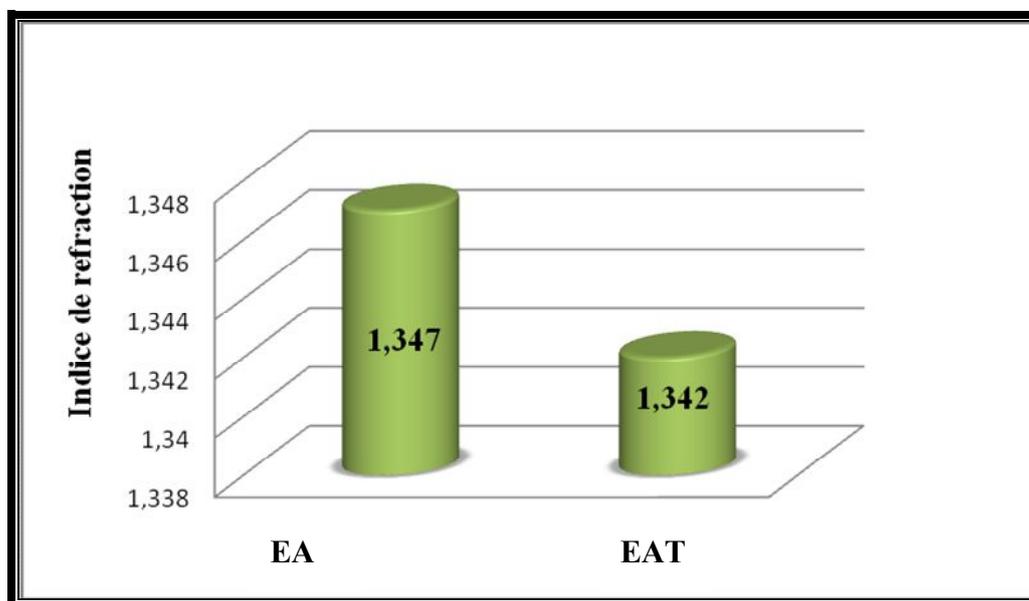


Figure 16 : Indice de réfraction des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.

Nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs de l'indice de réfraction des extraits aqueux (traité et non traité), cela peut être dû à la teneur en matière sèche et la température ; les solides solubles représentent l'ensemble de tous les solides dissous dans l'eau, incluant les sucres, les sels, les protéines et les acides carboxyliques (Dokani et Tabak, 2015).

2.7. Taux de cendres

Les résultats des valeurs du taux de cendre trouvés pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont illustrés dans la figure 17.

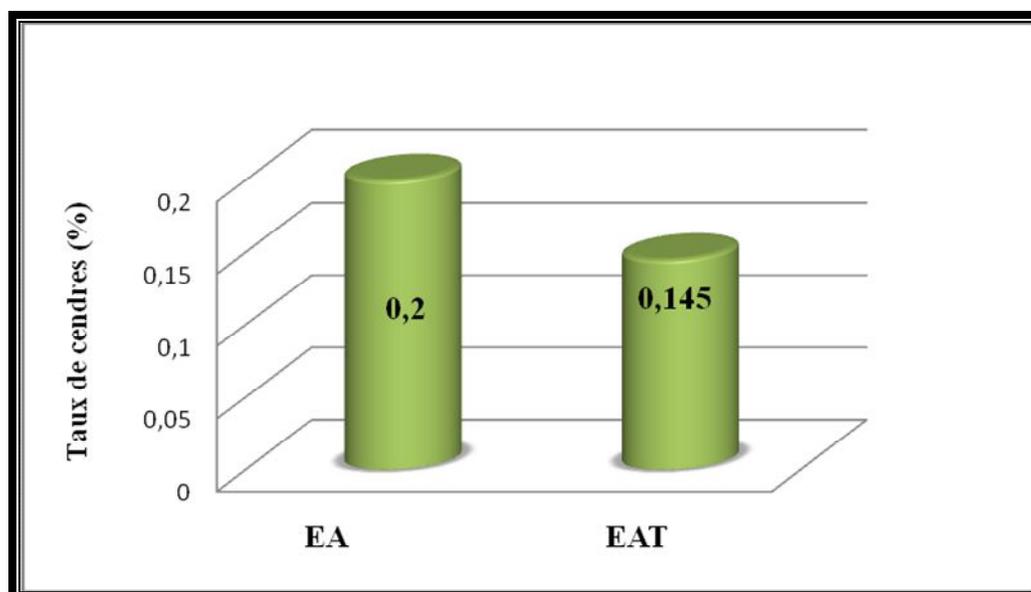


Figure 17: Taux de cendre des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.

On remarque que la teneur en cendre de l'extrait aqueux (EA) est élevée à celui enregistré de l'extrait aqueux (EAT); le taux de cendres varie dans la graine, selon la variété, la région de culture, les méthodes culturelles, l'année de récolte (**Benhania, 2013**).

2.8. Matière sèche

Les résultats des valeurs de taux de la matière sèche trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont illustrés dans la figure 18.

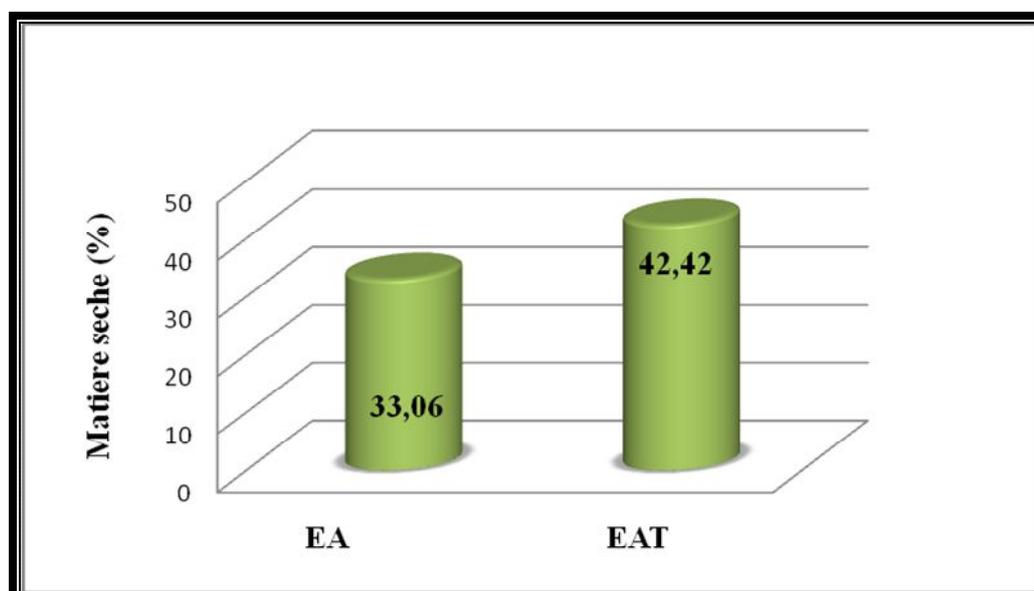


Figure 18 : Taux de la matière sèche des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.

La valeur de la matière sèche de l'extrait aqueux (EAT); est élevée à celle enregistrée pour l'extrait aqueux (EA).

Les facteurs qui peuvent influencer sur la teneur en eau sont: l'âge de la plante, la période du cycle végétatif et même des facteurs génétiques, cette variation de la teneur en eau peut être due aussi aux différentes conditions environnementales: exposition aux différentes conditions pédoclimatiques et répartition géographique (**Doukani et Tabak, 2015**).

3. Caractérisation chimique de l'extrait aqueux des graines de fenugrec

3.1. Teneur en sucres totaux

Les résultats des valeurs des sucres totaux trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont illustrés dans la figure 19.

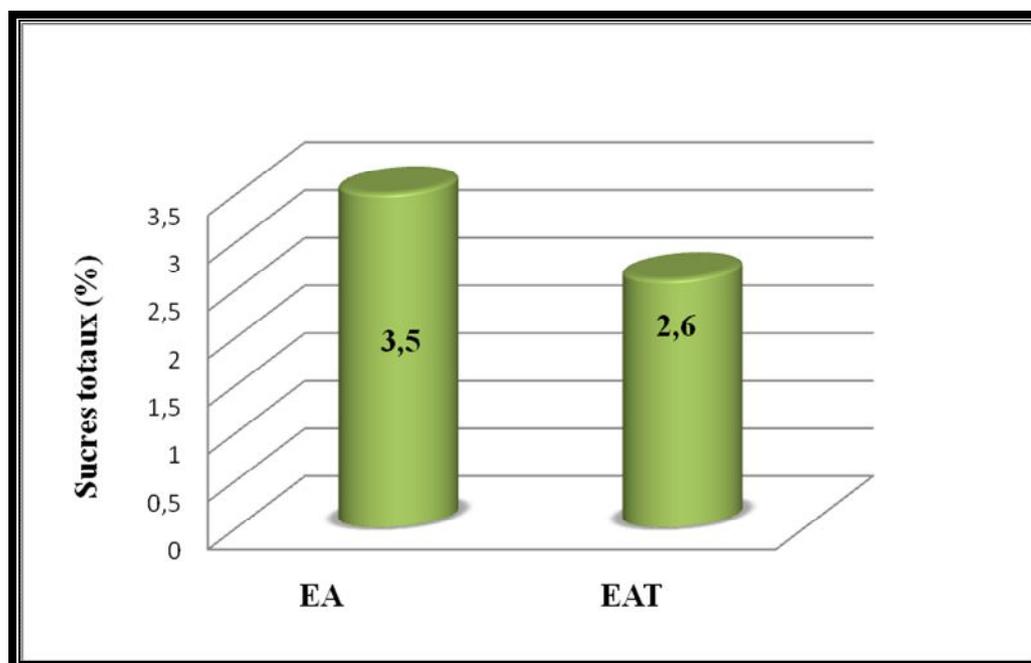


Figure 19 : Taux des sucres totaux des extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec.

On remarque que la valeur des sucres totaux de l'extrait aqueux (EA) est supérieur à la valeur de l'extrait aqueux traité (EAT) ; ces résultats sont conformes à celui obtenu par **(Paris et Hurabielle, 1980)** et **(Moorthy et al., 2010)** dont elle varie entre : 28 à 32 %.

3.2. Teneur en protéines

Les valeurs des protéines trouvées pour les extraits aqueux (traité et non traité) des graines de fenugrec sont illustrés dans la figure 20.

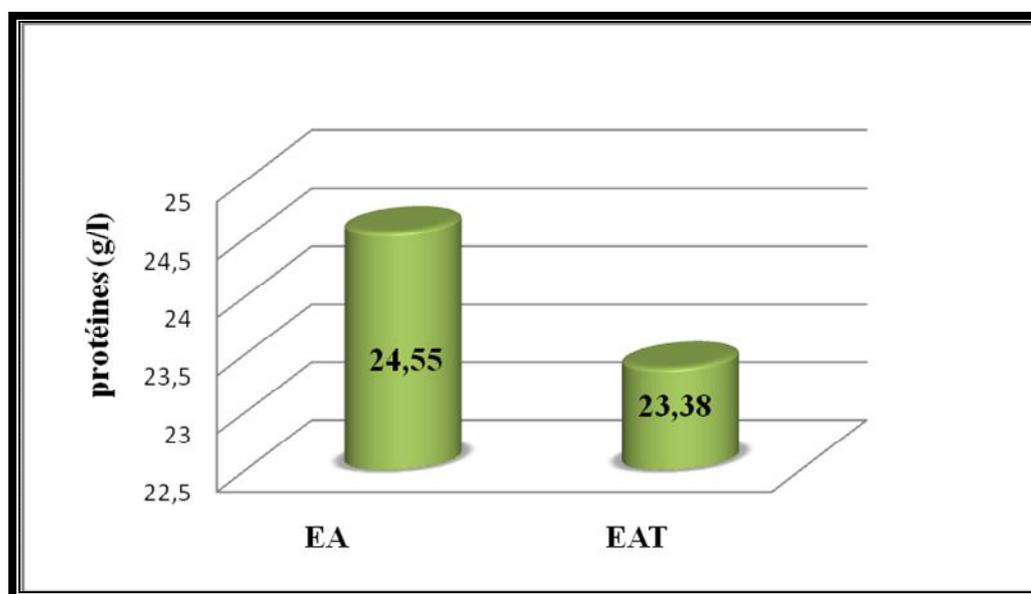


Figure 20 : Teneur en protéines des extraits aqueux (EA et EAT) des graines de fenugrec.

Nous remarquons que la teneur en protéines marquée pour l'extrait aqueux (EA) est légèrement supérieure à celle notée pour l'extrait aqueux (EAT).

Pour les aliments à haute teneur en eau libre, l'efficacité du chauffage aux micro-ondes diminue avec l'augmentation de température car les liaisons hydrogènes deviennent plus rares et ainsi les molécules montrent des mouvements plus intenses nécessitant moins d'énergie pour rompre les liaisons intermoléculaires (**Tang Hao et al., 2000**).

Les changements physiques se produisant lors de la transformation alimentaire tels que la déshydratation du produit et la dénaturation des protéines affectent les propriétés diélectriques des aliments, la dénaturation des protéines entraîne une perte de solubilité et donc une augmentation de viscosité dans les matrices alimentaires (**Cendres, 2011**).

3. Propriétés émulsifiantes

3.1. Diamètres moyens de globules gras

Les figures 21 et 22, indiquent la cinétique du diamètre moyen des globules gras des émulsions à base d'extraits aqueux (EA et EAT) au cours du temps.

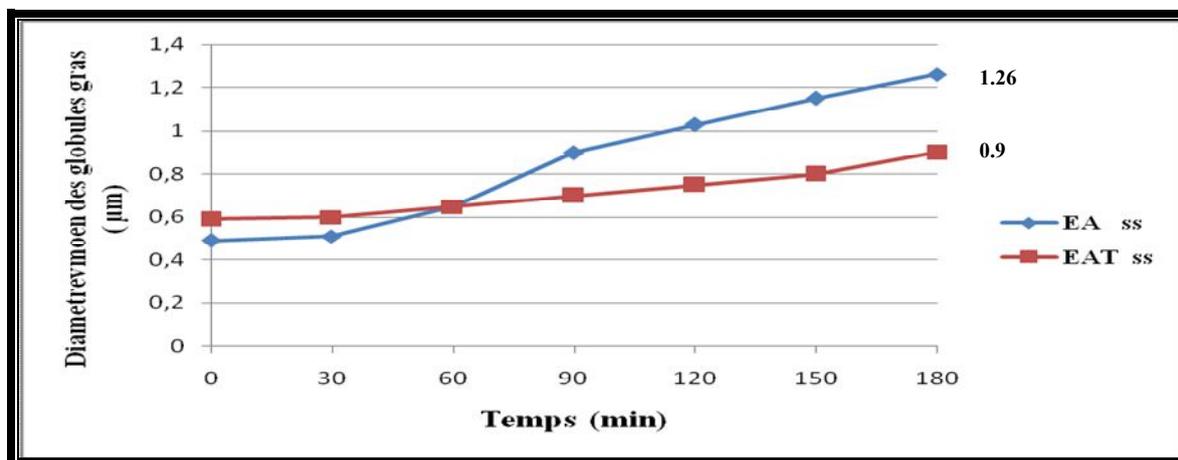


Figure 21: Cinétique du diamètre moyen des globules gras des émulsions sans stabilisant de base d'extraits aqueux au cours du temps.

On constate que le diamètre moyen des globules gras des différentes émulsions sans stabilisant sont compris entre :

- 0.49 à 1.26 µm pour l'extrait aqueux brut (EA ss).
- 0.59 à 0.9 µm pour l'extrait aqueux traité aux micro-ondes (EAT ss).

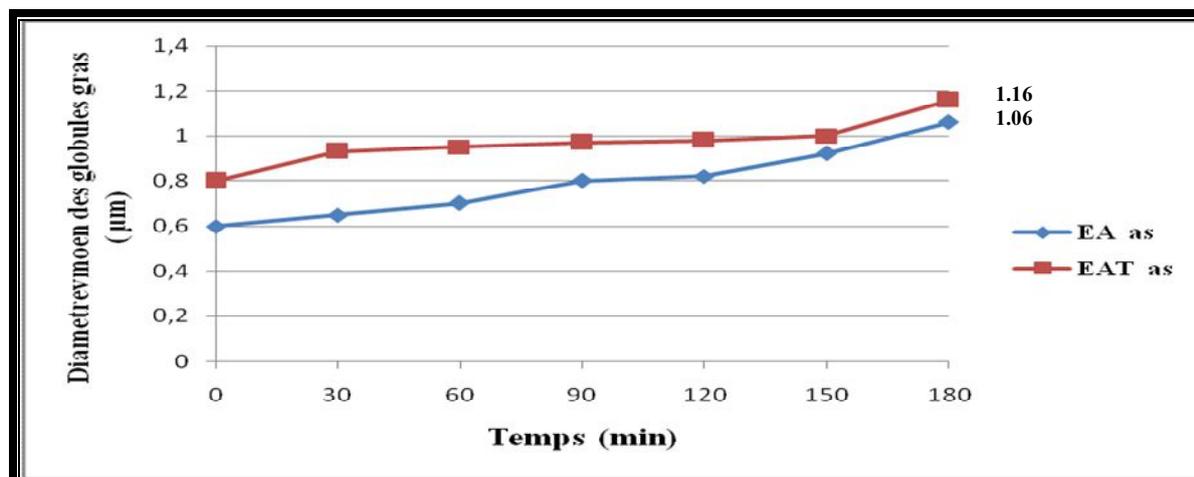


Figure 22: Cinétique du diamètre moyen des globules gras des émulsions avec stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.

On constate que le diamètre moyen des globules gras des différentes émulsions avec stabilisant sont compris entre :

- 0.6 à 1.06 μm pour l'extrait aqueux brut (EA as).
- 0.8 à 1.16 μm pour l'extrait aqueux traité (EAT as).

Les résultats obtenus sont identiques avec les données de **Cheftel (1985)**, qui indique que le diamètre des gouttelettes des globules gras dispersées est compris entre 0.1 et 50 μm .

Selon **Domeix (2011)**, la taille des gouttelettes d'une émulsion se distribue de façon continue des plus petites aux plus grosses, l'aspect des émulsions dépend de trois paramètres :

- La taille des gouttelettes de phase dispersée ;
- La concentration de l'émulsion ;
- Le rapport d'indice de réfraction entre phase dispersante et phase dispersée.

3.2. Stabilité des émulsions

Les figures 23 et 24, indiquent la cinétique de la stabilité des émulsions à base d'extraits aqueux au cours du temps.

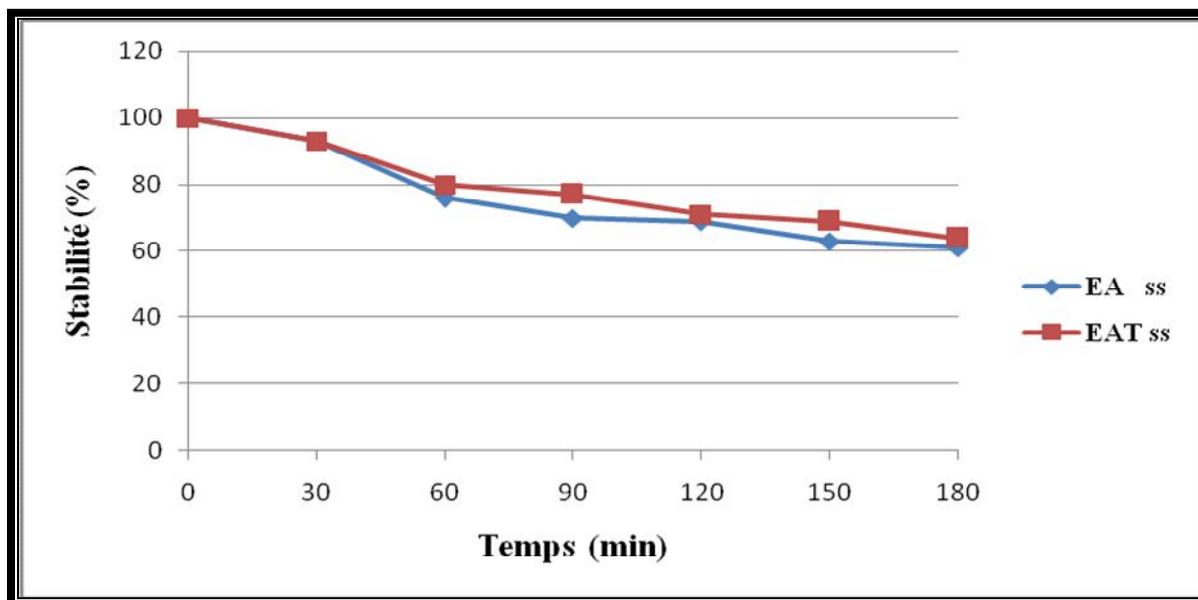


Figure 23 : Cinétique de la stabilité des émulsions sans stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.

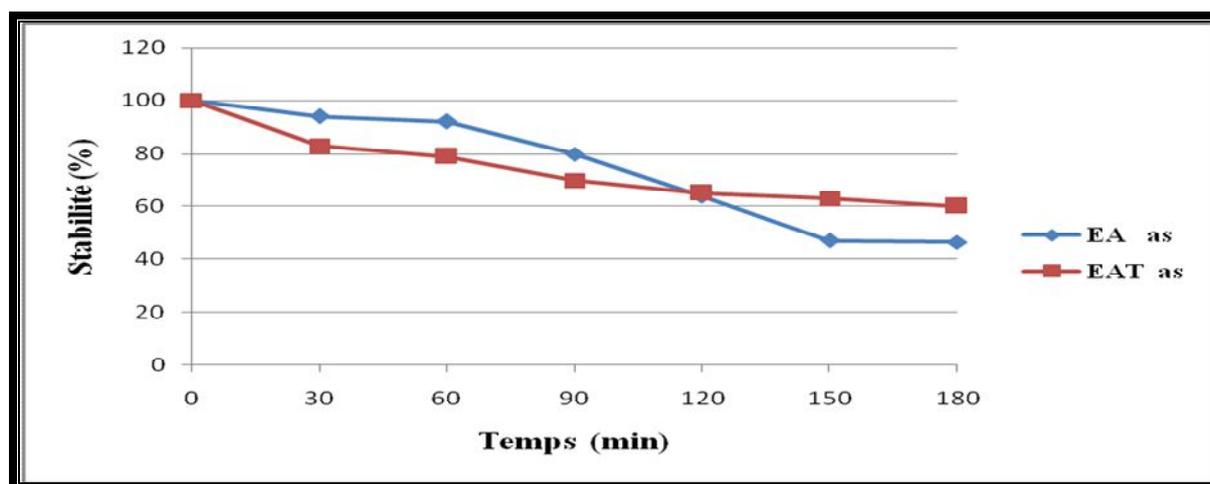


Figure 24 : Cinétique de la stabilité des émulsions avec stabilisant à base d'extraits aqueux au cours du temps.

Nous remarquons que les différentes allures de la stabilité ont une tendance à se diminuer au cours du temps.

Pour les émulsions sans stabilisant nous avons constaté que la stabilité d'émulsions varie :

- Du 100 à 60 %, pour celle formée à base d'extrait aqueux brut (EA).
- Du 100 à 60 %, pour celle confectionnée à base d'extrait aqueux traité (EAT).

Pour les émulsions avec stabilisant nous avons constaté que la stabilité d'émulsions varie :

- Du 100 à 46 %, pour celle préparée à base d'extrait aqueux brut (EA).
- Du 100 à 60 %, pour celle confectionnée à base d'extrait aqueux traité (EAT).

D'après **Mekhaloi et Tobal (1998)**, la stabilité d'une émulsion est l'une des propriétés fondamentales et la plus importante, le système ne sera pas classé parmi les émulsions que s'il atteint un certain minimum de stabilité.

Selon **Mangino (1994)** ; elle dépend de plusieurs facteurs tels le type de traitement mécanique, la nature et la charge de l'agent émulsifiant ; le pH ; la force ionique et la viscosité de la phase continue, la densité des gouttelettes d'huile, la température, le champ gravitationnel, la structure à l'interface de l'émulsifiant, les propriétés physiques, mécaniques ainsi que l'épaisseur du film interracial.

3.3. Index de stabilité

Les figures 25 et 26, indiquent la cinétique de l’index de stabilité des émulsions à base d’extraits aqueux au cours du temps.

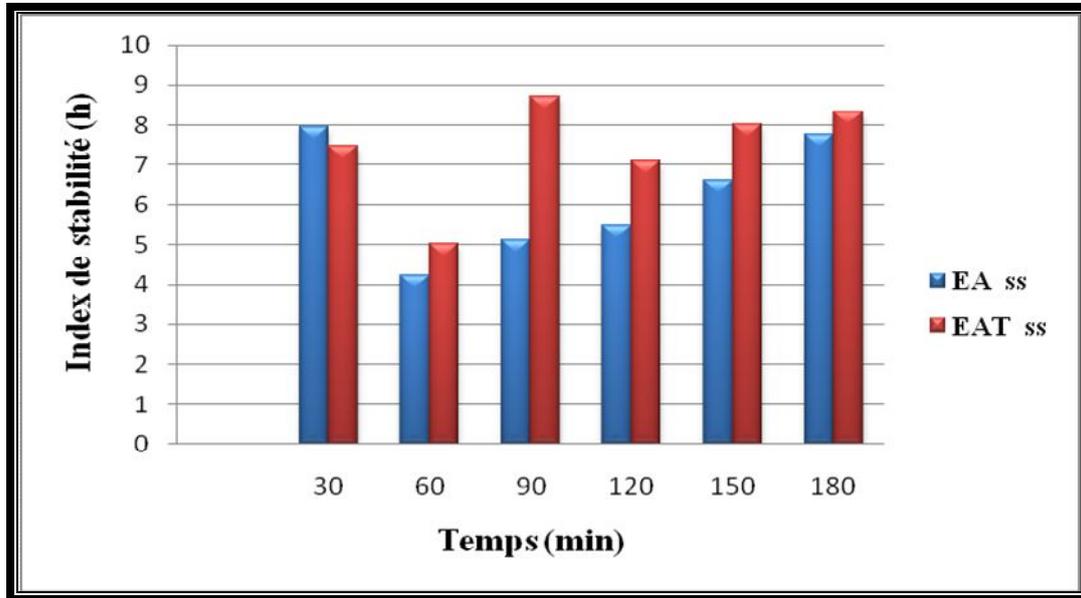


Figure 25 : Cinétique de l’index de stabilité des émulsions sans stabilisant à base d’extraits aqueux au cours du temps.

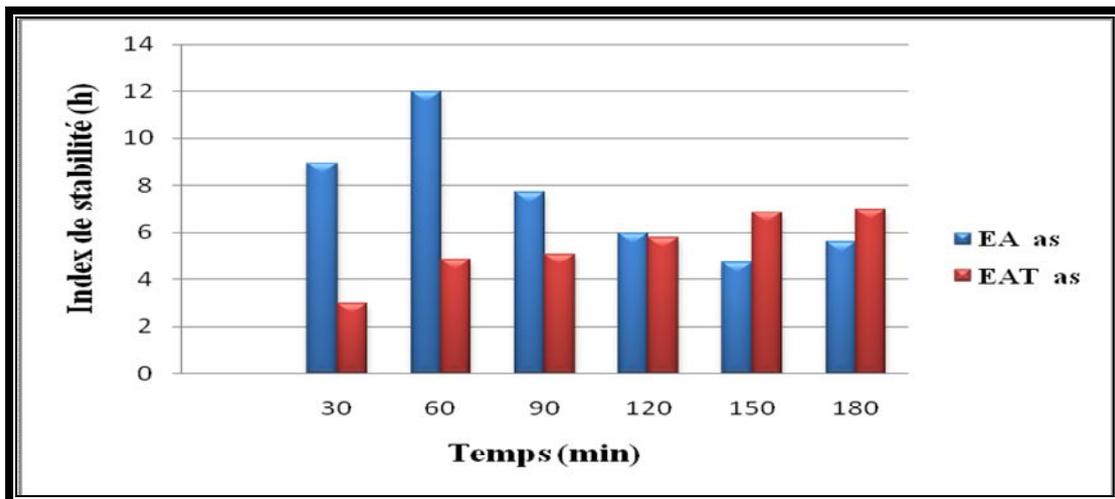


Figure 26 : Cinétique de l’index de stabilité des émulsions avec stabilisant à base d’extraits aqueux au cours du temps.

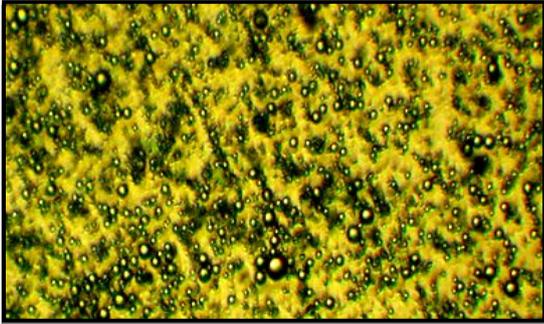
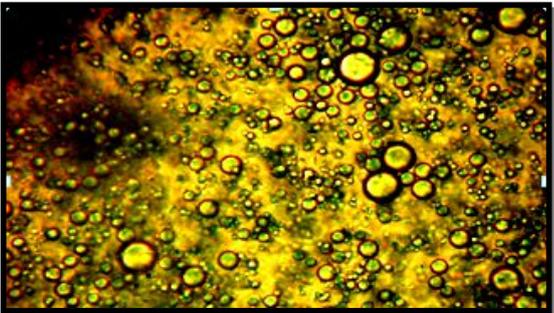
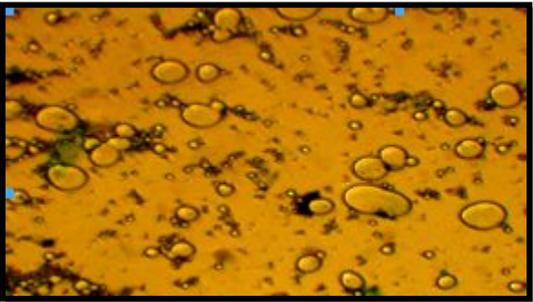
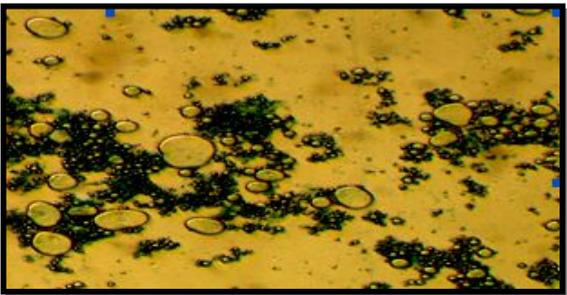
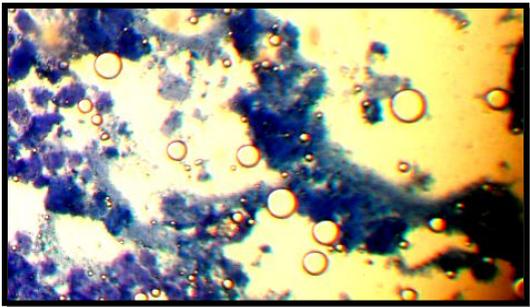
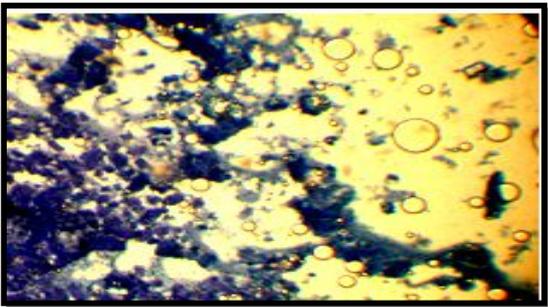
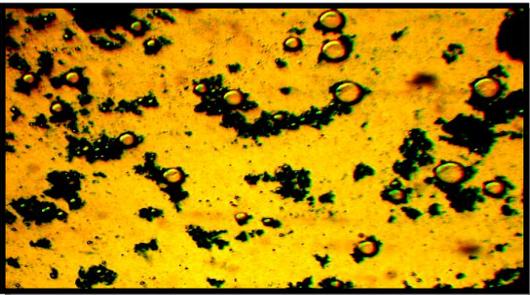
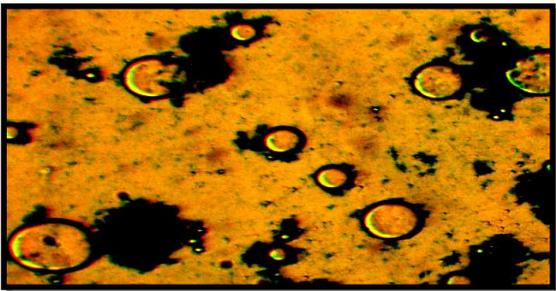
Les émulsions qui ont des longues durées de stabilité au cours du temps sont celles confectionnées à base de :

- L'extrait aqueux traité (EAT ss) avec index de stabilité qui se rapproche à 9h après 3h.
- L'extrait aqueux brut (EA ss) avec index de stabilité qui se rapproche à 8h après 3h.
- L'extrait aqueux traité (EAT as) avec index de stabilité qui se rapproche à 7h après 3h.
- L'extrait aqueux brut (EA as) avec index de stabilité qui se rapproche à 6h après 3h.

L'index de stabilité dépend de l'huile utilisé, et du milieu stabilisant (**Xalabarder, 1994**).

3.3. Prises des photos

Le tableau 6 montre l'aspect microscopique des émulsions à base d'extrait aqueux (EA et EAT).

	Photos à t0	Photos à t180
EA ss	 <p>$\Phi = 0.49 \mu\text{m}$</p>	 <p>$\Phi = 1.26 \mu\text{m}$</p>
EAT ss	 <p>$\Phi = 0.59 \mu\text{m}$</p>	 <p>$\Phi = 0.9 \mu\text{m}$</p>
EA as	 <p>$\Phi = 0.6 \mu\text{m}$</p>	 <p>$\Phi = 1.6 \mu\text{m}$</p>
EAT as	 <p>$\Phi = 0.8 \mu\text{m}$</p>	 <p>$\Phi = 1.16 \mu\text{m}$</p>

Conclusion

Conclusion

L'étude des propriétés émulsifiantes de l'extrait aqueux obtenu par décoction des graines de fenugrec et traité par micro-onde nous a permis de constater les résultats suivants :

- L'huile d'olive vierge a présenté des paramètres physiques et chimiques convenables à l'émulsification.
- Une variation des valeurs des analyses physicochimiques d'extraits aqueux (EA et EAT) à savoir : la viscosité, la densité, le pH, indice de réfraction, teneur en eau, taux de protéines et teneur en sucres totaux.
- Les émulsions qui ont enregistré des meilleures propriétés émulsifiantes sont celles formées à base d'extrait aqueux traité (EAT) avec ou sans stabilisant.
- La bonne stabilité des émulsions est celle confectionnée à base d'extrait aqueux traité (EAT) avec ou sans stabilisant qui varie entre 100 à 60 %.

Les études récentes sur le fenugrec ont confirmé son rôle dans la lutte contre la dénutrition. Par ailleurs, les scientifiques se sont attachés à cette plante dans le cadre de recherches menées sur le diabète et ont découvert qu'elle réduisait la résistance à l'insuline. La pharmacopée européenne intègre le fenugrec à la liste de ses monographies (**Cécile, 2011**).

Lorsqu'on examine cette légumineuse, on note qu'elle présente un grand nombre de caractéristiques très importantes. Chaque jour, de nouveaux bienfaits sont découverts sur le fenugrec et elle est maintenant utilisée à la fois comme médicament et comme aliment.

En perspective, nous proposons un travail porte sur l'étude des propriétés émulsifiantes d'extrait aqueux des graines du fenugrec en relation avec sa force ionique.

Références bibliographiques

1. **Acem K . 2001** : étude de propriétés émulsifiantes du lactosérum en vue de sa valorisation dans le domaine cosmétique ; Thèse magister ; AG ISA Tiaret, 87p.
2. **Ademe K . 2002**: Les énergies radiantes et leur application industrielles, partenaire des entreprises, centre d'angers.Pp : 26-26.
3. **Akkak S ., Lairedj O. 2007** : Caractérisation et valorisation du lactosérum en cosmétologie, Mémoire d' ingénieur d'état en nutrition et technologie agroalimentaire. Tiaret.84p.
4. **AFNOR nf ISO 279 (T75-111) mars .1999** : Huiles essentielles – Détermination de la densité Journal officiel du 23 février 1999, Num. 146.
5. **AFNOR nf ISO280 (T75-112) mars. 1999**: Huiles essentielles. Détermination de l'indice de réfraction. Journal officiel du 23 février 1999, Num. 147.
6. **Ancey C. 2015** : Mécanique des fluides ; une introduction a l'hydraulique pour les ingénieurs civils. Ecole polytechnique fédération de Lausanne. ED : Lausanne. 17p.
7. **Amellal H . 2008** : Aptitude technologique de quelques variétés communes de dattes. Thèse de doctorat, LRTA Boumerdes, option : Technologie alimentaire. Pp : 12-18.
8. **Anne M .,Pensee L . 2014** : : Conception des produits cosmétiques. ED : Lavoisier. Pp : 175-178.
9. **AOAC 2000**, Official method of analyseis. 17th Ed. Maryland. U.S.A.
10. **Arab k., Bouchenak o., Yahiaoui k . 2014** : Etude physicochimique et évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentiel. Revue agriculture, juillet. 13p.
11. **Benrachou N . 2013** : Etude des caractéristiques physicochimiques et de la composition biochimique d'huiles d'olive issues de trois cultivars de l'Est algérien. Thèse de doctorat ; Université de Annaba. Pp : 25- 30.
12. **Benhania Z . 2013** : Etude de la fabrication de la qualité et contrôle de sa qualité, Mémoire master académique. 48p.
13. **Bocard C .2006**: Marées noires et sols polluées par les hydrocarbures. Ed : Technip Paris.89p.
14. **Boudier J.F ; Luquet F ., (1980)** : Dictionnaire Laiter, 2^{eme} edition Tec et Doc-Lavoisier ; Paris.220p.
15. **Bidri M .,Chouay P . 2013**: le fenugrec : une légumineuse aux multiples usages ; revu : journal Title, n°74 ; Pp : 15-21.

16. **Catherine B., Jean A. 2001**: Article vol 21/1 Sciences des Aliments, An international journal of food science and technology, Pp: .3-26.
17. **Cecile B. 2011** : Société canadienne de la recherche scientifique. Revue de passeport santé.net.
18. **Cendres A . 2011** : Procédés novateur d'extraction de jus de fruits par microonde : viabilité de fabrication et qualité nutritionnelle des jus, thèse de Doctorat, spécialité : biochimie, université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 13p.
19. **Cheftel H . 1976** : introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, volume 01, ED : Tec. Paris. 56p.
20. **Codex Stan 256. 2007** : Normes pour la matière grasse tartinable et les mélanges tartifiables.4p.
21. **Codex Stan 210 . 1999** : Normes pour les huiles végétales portant un nom spécifique.2p.
22. **Codex Alimentarius. 1989** :Norme codex pour les huiles d'olive vierges et raffinées et pour l'huile de grignons d'olive raffinée. (Rév. 1-1989).
23. **Codex Stan 33. 1981**: normes codex pour les graisses et les huiles comestibles (Rév. 3-1981).
24. **Couplan F. 2009** : Le régal végétal plantes sauvages comestibles. ED : Elabobre.222p
25. **Djadoun S . 2010**: influence de l'hexane acidifié sur l'extraction de l'huile de grignon d'olive assisté par microonde. Thèse magister : Université Mouloud Maamri Tizi-ouzou .
26. **Datta, a. K. ; Anantheswaran, r. C . 2001** : "Handbook of microwave technology for food applications." Marcel Dekker, Inc., New York: pp 69-107; pp 299-335.
27. **Doumeix O. 2011** : Opérations unitaires en génie biologique: Tome 1.ED : Collection Biologie technique. Pp : 10-24.
28. **Deutsch G ; Small E . 2001** : Herbe culinaires pour nos jardin de pays froid. ED: International standard.89p.
29. **Doukani K ;Tabak S. 2015**: Profil Physicochimique du fruit "Lendj" (*Arbutus unedo L.*), Revue «Nature & Technologie».B-Sciences Agronomiques et Biologiques, n°12/ Janvier 2015, 57p.

30. **Dickinson E. 1998.** Proteins de placement from the emulsion, stability, rheologie and interaction, chem. suc Fardy trams, vol 94 university of sleeds, London. Pp: 1657-1669.
31. **Dubois M., Gilles K., Hamilton Jk., Rebers P.A Et Smith F. 1956:** Calorimetric method for determination of sugar and related substance. Anal Chem. 28.Pp:350-356.
32. **Eberharder T ., Robert A .,Annelise L. 2005:** Plantes aromatiques. ED : Lavoisier. Pp : 243-245.
33. **Elisabeth V. 2008:** Aliments et boisson ED : Wolters Kluwer Paris. 15p.
34. **Emeline R . 2004.** Les oleosines, de nouveaux émulsifiants d'origine Végétale. Comparaison des globules lipidiques extraits de végétaux (A.thaliana) et de levures (Y. lipolytica).Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
35. **FAO 2004 :** Utilisation des aliments tropicaux sucrés, épices et stimulants.30p.
36. **FAO 2001 :** Rapport du comité du codex sur les graisses et les huiles – Annexe IV : Projet de norme pour les huiles d'olive et les huiles de grignons d'olive. Archives de documents de la FAO.
37. **Flesinski L . 2011 :**Etude de la stabilité des émulsions et de la rhéologie interrassiale des systèmes pétrole brut/eau : influence des asphaltées et des acides naphthéniques. Thèse de doctorat, Université De Pau Et Des Pays De L'Adour.
38. **Gallawa, J. C. 2007:** The Complete Microwave Oven Service Handbook 2007. Microtech, Florida.
39. **Gupta R., Muralidhara H.S . 2001:**Interfacial challenges in the food industry: review Trends Food Sci. Technol. Pp: 382-391.
40. **Guyon E., hulin J ., petit L. 2001 :** Hydrodynamique physique, EDP Sciences, ED : CNRS. 674 p.
41. **Haussonne J.M ., Paul B, Barton J.L.,Carry Cp . 2005 :** céramiques et verres ; ED : presses polytechniques et universitaires romandes ; 117p.
42. **ISO 11465 1994:** Qualité du sol – Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau – Méthode gravimétrique.
43. **Karlskind A. 1992 :** détermination des caractéristiques physiques in manuel des corps gras, volume 2, ED : Tec et doc, Lavoisier. Pp : 1290-1303.

44. **Kaviarasan S. 2007:** Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed polyphenols protect liver from alcohol toxicity: a role on hepatic detoxification system and apoptosis, *Pharmazie*. Pp: 299-304.
45. **Kheireddine H . 2013 :**Comprimés de poudre de dattes comme support universel des principes actifs de quelques plantes médicinales d'Algérie. Mémoire de magistère, Faculté de la science de l'ingénieur, Université M' Hamed Bougara-Boumerdes. 56p.
46. **Lemaire F ., Philipe M. 2003 :** Culture en pots et conteneurs ; ED : Aquae. 210 p.
47. **Lazouni H. A ., Benmansour A., Chabane sari D ., smahi m. Dj. E . 2006 :** Valeurs nutritives et toxicité du *foeniculum vulgare miller*. ED : Afrique science. 97p.
48. **Le Floc He . 1983 :**Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne programme flore végétation tunisienne. Tunis. 89p.
49. **Lanc O. 2014 :**Fenugrec; bienfaits; effets secondaires; Article wifi ferme.
50. **Le Meste M ., Lorient D ., Simatos D . 2002 :** Influence des conditions d'hydratation sur la physiologie des microorganismes : croissance, survie, ED : TEC et Doc, Lavoisier.135p.
51. **Ligier J-L. 1997:** lubrification des polaires moteurs ; ED : Technip .16p.
52. **Linaire F ., Morel P. 2003** culture en pots contineurs. ED : Quae. 210p.
53. **Loncle D . 1992 :**Génie enzymatique. Paris : Dion, 1992, pp. 3 -21,
54. **Mangino M.E. 1994 :** Protein interaction in emulsion : in protein functionality in food system; ED: Hettiarachy et N.S Ziegler. 56p.
55. **Marleen F ., Elisabeth V . 2001:** Biochimie des aliments Diététique des sujet bien portant. ED : Amazon France. 132p.
56. **Mathieu M.J ., Fonteneau J.M . 2008 :** Le manuel porphyre du préparateur en pharmacie .ED : Wolters Kluwer France. 792p.
57. **Martini M.C . 2008 :**Cosmétologie. ED : Masson.15p.
58. **Maude G . 2000 :**Etude Des Propriétés Emulsifiantes D'un Complexe de protéines de lactosérum et de carboxy méthyle cellulose. Mémoire du grade de maître des sciences. Faculté Des Sciences De L'agriculture Et De L'alimentation Université Laval. 19p.

- 59. Mekhaloi W . , Tobal M . 1998 :** Valorisation d'un sous produit de raffinage de corps gras, par formulation d'une crème cosmétique, Mémoire d'ingénieur :USTHB, Babelzouaz : Alger.
- 60. Monnier M. 2004:** Les graines germées. ED: Vivez soleil.115p.
- 61. Moneret-Vautrin Da ., Kanny G . 2007 :** Axes de recherches en allergologie alimentaire : hypoallergénicité, revue française d'allergologie et d'immunologie clinique. 305p
- 62. Nelson, s. O. ,Datta, a. K . 2001:** Dielectric properties of food materials and electric field interactions. In: Handbook of microwave technology for food applications."Dekker, Inc Ed, USA pp 69-114.
- 63. Ruby Bc. 2005:** The addition of fenugreek extract (*Trigonella foenum-graecum*) to glucose feeding increases muscle glycogen resynthesis after exercise, Amino Acids. 2005 Feb. Pp: 6-71.
- 64. Randy S., Perry R. 2007:** Sciences Encyclopedia, uses of emulsions .ED: Copy right. 15p.
- 65. Rogier C . 2003:** étude des interactions entre les bacteries *Escherichia coli* et les microondes appliqués en mode discontinue dans des condition faiblement thermique. Thèse de doctorat faculté de Limoges.
- 66. Roukef K . 1986 :** Les plantes dans la médecine traditionnelle tunisienne. Agence de coopération culturelle et technique. ED : Paris Lemordant. Pp : 191-214.
- 67. Ryyanem S ., Ohlson . 1996 :** Microwave heating uniformity of ready meals as affected by placement , composition and geometry : J.Food Science (61) NUM : 3 : PP :620-624
- 68. Salghi R. 2013:** Analyses physicochimiques I' analyses des denrées Alimentaires. école nationale des sciences appliquées d'Agadir.15p.
- 69. Sanchez C., Fremont S . 2003:** Conséquences des traitements thermiques de la formulation sur la structure et l'allergenicité des protéines alimentaires, revue française d'allergologie et d'immunologie clinique. 13p.
- 70. Sawaya W N., Khalil J.K., Safi W N; Al Shalata . 1983:** Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of developpement Can. Ins food science techno J.162, Pp: 87-93.

71. **Schiffmann R. F. 2001:** Microwave Processes for the food industry. *In*: Handbook of microwave technology for food applications Ed. Dekker, Inc. USA. Pp 299-339.
72. **Schiffman R . 1993:** Understanding microwave reactions and interactions; food production. Design April 1993.
73. **Skali. S . 2006:** Bulletin d'information en pharmacovigilance volume 03 numéro 11 Novembre 2006.
74. **Solano OA . 2006:** Emulsions inverses très concentrées influence du procédé et de la formulation sur leur propriétés rhéologiques. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Lorraine.
75. **Tang J., Hao F. ., Lau M . 2000 :** Microwave Heating in Food Processing. A book chapter to be published in Advances in Agricultural Engineering. . Scientifique Press, New York.
76. **Vaubourdolle M. 2007 :** Médicaments. ED: Wolters Kluwer Paris. Pp:213.
77. **Virot M . 2009 :** Soxhlet assisté par micro-ondes. Conception et application à l'extraction des matières grasses. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse.
78. **Volpé J-S., Sergeant P., Fakler A., Gisèle K. 2009:** Fenugrec: Aliment et médicament. Hôpital Central - 29, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny.
79. **Wakim H . 2008:** Effet d'un chauffage micro-ondes et conventionnel sur la thermorésistance d'une Salmonelle traitée dans un produit à basse activité d'eau. Conséquences sur la qualité du produit Thèse de Doctorat, Ecole national d'industrie agricole et alimentaire, Paris.
80. **Wichthm., Anton R. 2003:** Plantes thérapeutiques EMI. ED : Tec et Doc, Paris, Pp : 9-216.
81. **Zhan H., Data A.K., Taub I,., Doona H. 1999:** Experimental and numerical investigation of microwave sterilization of solids foods. Accepted pending version in AICHE journal

Annexes

Résumé

Le fenugrec est considéré parmi les plus anciennes plantes utilisées dans la médecine et la cuisine dans l'histoire de l'humanité.

L'étude des propriétés émulsifiantes d'extrait aqueux des graines du fenugrec obtenu par décoction traité par micro-ondes est axée d'une part sur la caractérisation physique et chimique des phases d'émulsions et d'autre part au contrôle des propriétés émulsifiantes d'extrait aqueux (EA et EAT).

Les résultats ont montré qu'une variation a été marquée sur les paramètres physiques et chimiques pour les composants d'émulsions (huile d'olive et extraits aqueux) ; en plus les meilleurs émulsions sont celles formées à base d'extrait aqueux traité et avec ou sans stabilisant.

Mots clés : Fenugrec, extrait aqueux, micro-onde, émulsion, décoction.

ملخص

تعتبر الحلبة من بين أقدم النباتات المستخدمة في الطب و الطهي في تاريخ البشرية.

إن دراسة الخواص الإستحلابية للمستخلص المائي لبذور الحلبة الناتج عن عملية التسخين تمحورت من جهة في دراسة الخواص الفيزيائية و الكيميائية للمركبات المستحلبة و من جهة أخرى في دراسة الخواص الإستحلابية للمستخلصات المائية.

بينت النتائج أن تغيرا وقع للخواص الفيزيائية و الكيميائية للمركبات المستحلبات (زيت زيتون و مستخلصات المائية)، التي حققت مستوى أفضل من حيث الثباتية هي تلك المشكلة بالمستخلص المائي المعالج و بحضور أو غياب المثبت.

الكلمات الجوهرية: حلبة، مستخلص مائي، موجات قصيرة، مستحلب، عملية التسخين.

Abstract

Fenugreek is considered among the oldest plants used in medicine and cooking in the history of mankind.

The study emulsifying properties of aqueous extract of fenugreek seeds obtained by decoction treated by microwave focuses firstly on the physical and chemical characterization of emulsions phases and also the control of emulsifying properties aqueous extract (EA and EAF).

The results showed that a change was marked on the physical parameters and chemical components for the emulsion (olive oil and aqueous extracts); in addition the top emulsions are those formed based treated aqueous extract and with or without stabilizer.

Keywords: Fenugreek, aqueous extract, microwave, emulsion, decoction .