



Université Djillali Liabes de Sidi Bel-Abbès
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de l'Environnement
Laboratoire "Eco-développement des Espaces"

Thèse

Pour l'obtention du diplôme de

Doctorat 3^{ème} Cycle

En *Sciences de l'Environnement*

Option: Gestion, Valorisation des Ressources Naturelles et Développement Durable

Présenté par :

Mohammed RAHMANI

THÈME

Etude physiologique et valorisation des plantes fourragères et médicinales
dans la wilaya de Sidi Bel-Abbès, Algérie occidentale : Cas de Fenugrec
(*Trigonella foenum-graecum* L.)

Soutenu le : 25/01/2017

Devant le jury composé de :

Présidente: Dr MEGHERBI-BENALI Aicha

MC-A, UDL de Sidi Bel Abbès

Examineur: Dr BOUZIDI Mohamed Ali

MC-A, UDL de Sidi Bel Abbès

Examineur: Pr CHADLI Rabah

Professeur, Université de Mostaganem

Directeur de thèse : Pr HAMEL Laïd

Professeur, UDL de Sidi Bel Abbès

Co-directeur : Dr TOUMI BENALI Fouzia

MC-A, UDL de Sidi Bel Abbès

Année universitaire : 2016-2017

مَدِينَةُ الْمَدِينَةِ

Remerciements

En préambule à cette thèse, je remercie Dieu le tout puissant qui nous a aidés à faire ce travail. Il nous est agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

*Mes plus chaleureux remerciements s'adressent à **Madame TOUMI-BENALI Fouzia**, maitre de conférence à l'université Djillali Liabes qui, en tant que responsable de spécialité et Co-encadreur de la thèse, Nous elles doivent une immense reconnaissance et un très grand respect grâce à sa disponibilité et ses qualités humaines et scientifiques, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.*

*Ce travail a été réalisé au Laboratoire de centre de mesure à la faculté des sciences exactes et au laboratoire de phytochimie à la faculté des sciences de la nature et de la vie, sous la direction de Monsieur le Professeur **HAMEL Laid** de la faculté des sciences de la nature et de la vie, l'université de sidi Bel Abbès. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour son accueil, son soutien et ses nombreux conseils qu'il a su me prodiguer tout au long de ce doctorat.*

*Nous remercions vivement **Dr MEGHERBI-BENALI Aicha** pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Nous remercions également **Dr BOUZIDI Mohamed Ali** pour avoir accepté de participer à ce jury.*

*Notre gratitude va également **Dr CHADLI Rabah** pour avoir accepté de participer à ce jury.*

Nous remercions tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbés, pour leur aide durant tout le parcours d'étude.

*J'adresse mes sincères remerciements vont également à toutes les personnes qui travaillent au laboratoire de centre de mesure ; **madame Narimène Nouredine, madame Baya et monsieur Issa** qui nous ont aidé dans l'expérimentation et dans l'utilisation du matériel de laboratoire.*

*Nous tenons à remercier **M^r AOUISSAT Miloud** qui nous a aidé dans l'exécution des analyses physico-chimiques.*

*Nous tenons à remercier nos camarades, confrères et consœurs dans le parcours de troisième cycle : **Mustpha Mahmoud Dif, Faiza Moumen, Hanane Rahmani et Bouzidi Khadidja**.*

*Nous tenons remercier notre cher ami **Mr Nabil Mekhfi** qui nous a bien aidé avec son soutien morale et Matériel et que nous souhaitons bien la réussite de cette personne dans sa vie personnel et professionnelle.*

Je tiens à remercier également tous mes collègues et amis en particuliers nos doctorants.

Dédicaces

*À mes très chers parents pour leur
soutien, leur amour, leur sagesse, leurs
sacrifices, leurs conseils et leurs
encouragements durant toutes mes
études et qu'Allah les bénissent.*

À ma fiancée Meryem.

*À mes deux frères
Amine et Abderrazek,*

À mes oncles et mes tantes.

À mes cousins et mes cousines.

*À tous mes amis qui font mon
équilibre, pour leur présence dans ma
vie sans exception.*

Mohammed

Résumé

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une herbacée annuelle appartenant à la famille des fabacées. Il se trouve partout dans le monde, mais il est d'origine méditerranéen. Cette plante est connue par ses propriétés médicinales, thérapeutiques et nutritionnelles très importantes vu les utilisations traditionnelles et les activités pharmacologiques des composés phytochimiques présents dans les extraits des graines de cette plante (huiles essentielles, saponines et flavonoïdes...).

A partir de constat et pour la valorisation de cette espèce on a adopté une méthodologie qui consiste à déterminer la productivité, les performances germinatives, la valeur nutritive, les caractéristiques phytochimiques, le profil chimique et l'activité antioxydante des graines de quatre variétés codées : 0057, 1063, 1138 et 2087 de *Trigonella foenum-graecum* L. Ces variétés ont été cultivées sur le terrain agricole de la station de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA) de Lamtar de la Wilaya de Sidi Bel Abbes dans les mêmes conditions agro-écologiques puis comparées entre sites. L'intérêt industriel du fenugrec est déduit en proposant sa domestication et sa culture dans les champs des cultures industrielles.

A cet effet, suivant le même ordre de cette stratégie, nous avons réalisé en premier lieu une étude agro-physiologique, afin d'évaluer le rendement en graines de chaque variété d'une part et de déterminer la température optimale pour la germination des graines de fenugrec d'autre part. En deuxième lieu, nous avons réalisé une analyse physico-chimique pour déterminer les teneurs des substances nutritives de ces graines et une étude phytochimique pour la quantification des composés phénoliques et l'évaluation de leur activité antioxydante. Dans le même contexte de l'étude phytochimique, nous avons réalisé l'extraction des huiles essentielles des graines de fenugrec et l'analyse de ces huiles par GC/MS, afin d'identifier le profil chimique de ces dernières.

Les résultats obtenus indiquent que la température optimale de la germination des graines de fenugrec est de 25°C. Ils ont aussi montré que cette plante est riche en micronutriments et que l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de ces graines dépend de la concentration de l'extrait et les teneurs en phénols.

La GC/MS nous a montré que les huiles essentielles des différentes variétés (0057, 1063, 1138 et 2087) de *Trigonella foenum-graecum* L. sont caractérisées par leur richesse en sesquiterpènes, en cétones, en hydrocarbures aliphatiques et en aldehydes.

Par ailleurs, les monoterpènes, les esters, les alcools, les composés azotés, les dérivés furaniques, les phénols, les acides, les composés de silicium et d'autres composés hétérocycliques sont présents en faible quantité.

Mots clés : *Trigonella foenum-graecum* L., phytochimie, activité antioxydante, huiles essentielles, identification par GC/MS.

Abstract

Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) is an annual herb which is belonging to the Fabaceae family. We found this plant in everywhere, but it is from Mediterranean origin. This plant is known by medicinal, therapeutic and nutritional power properties seen traditional uses and pharmacological activities of the phytochemicals present in the extracts made from the seeds of this plant (essential oils, saponins and flavonoids...).

From there and for the recovery of this species we adopted a methodology of determining productivity, performance germ, nutritional value, phytochemical characteristics, chemical profile and antioxydante activity of four seeds varieties coded: 0057, 1063, 1138 and 2087 of *Trigonella foenum-graecum* L. grown on the agricultural land of station of the National Institute of Agronomic Research INRA Lamtar of the Wilaya of Sidi Bel Abbes in the same agro-ecological conditions

For this purpose, following the same order of this strategy of first in agro-physiological study to evaluate the yield of seeds of each variety on the one hand and determine the optimum temperature for germination of fenugreek seeds another part. Second physicochemical analysis to determine the levels of nutrients from these seeds. Finally a phytochemical study the quantification of the phenolic compounds and the evaluation of their antioxidant activity. In the same context of the phytochemical study consists in the extraction of essential oils from the seeds of fenugreek and the analysis of these oils by GC / MS to identify the chemical profile of the latter.

The results indicate that the optimal temperature for the germination of fenugreek seed is 25 ° C. Our results also showed that this plant is rich in micronutrients and antioxidant activity of methanol extracts of these seeds is dependent on the concentration of the extract and the levels of phenols.

The GC / MS showed that the essential oils of different varieties (0057, 1063, 1138 and 2087) of *Trigonella foenum-graecum* L. is characterized by its wealth in sesquiterpenes, ketones, aliphatic hydrocarbons and aldehydes.

Furthermore, monoterpenes, esters, alcohols, nitrogen compounds, furan derivatives, phenols, acids, silicon compounds and other heterocyclic compounds are present in small quantities.

Key words: *Trigonella foenum-graecum* L., phytochemistry, antioxidant activity, essential oil, Identification by GC / MS.

ملخص

الحلبة (*Trigonella foenum-graecum* L.) عشب حولي من فصيلة البقوليات. متواجدة في جميع انحاء العالم يرجع موطنها الاصلي الى البحر الابيض المتوسط. هذه النبتة معروفة بخصائصها الطبية ، العلاجية و الغذائية الجد مهمة وهذا بالنظر لاستعمال مكوناتها من كمياء العقاقير الموجودة في مستخلصات بذور هذا النبات (الزيوت الأساسية، صابونين والفلافونيدات ...) في الاستخدامات التقليدية و الانشطة الصيدلانية.

من هذا المنطلق و لغرض تثمين هذا النوع من النباتات اعتمدنا على منهجية تركز من جهة على دراسة مقارنة للانتاجية ، القدرات الانتاشية ، القيمة الغذائية ، خصائص كمياء العقاقير ، الطابع الكيميائي و الخاصة المضادة للاكسدة لبذور أربعة أصناف من الحلبة مشفرة : 1138-1063-0057 و 2087 مغروسة في نفس الظروف الاكولوجية على أرضية فلاحية للمعهد الوطني للبحث الزراعي (INRA) لمطار بولاية سيدي بلعباس و من جهة اخرى استنتاج قيمتها الصناعية و هذا باقتراح غرسها في حقول ذات طابع فلاحى صناعي.

لهذا الغرض ووفقا لنفس هذه الاستراتيجية التي تعتمد أولا على دراسة زراعية فزيولوجية لتحديد مردود الانتاج من البذور لكل صنف من جهة وتحديد درجة الحرارة المثلى لإنتاش بذور الحلبة من جهة أخرى. ثانيا اجراء تحليل فيزيائية كيميائية لتحديد نسب العناصر الغذائية لهذه البذور. و أخيرا دراسة كمياء العقاقير المتمثلة في تقدير المركبات الفينولية وتققيم الخاصية المضادة للأكسدة. و في نفس السياق اجريت دراسة استخراج الزيوت الأساسية من بذور الحلبة وتحليلها بواسطة GC/MS لتحديد الطابع الكيميائي لهذه الأخيرة.

النتائج المتحصل عليها تشير إلى أن درجة الحرارة المثلى لإنتاش بذور الحلبة هي 25 درجة مئوية. وأظهرت نتائجنا أيضا أن هذا النبات غني بالمكونات المغذية و بأن الخاصية المضادة للأكسدة لمستخلصات الميثانول من هذه البذور تتناسب طردا مع تركيز المستخلص ونسبة الفينولات.

GC/MS أظهرت أن الزيوت الأساسية للأصناف المختلفة من الحلبة (1138-1063-0057 و 2087) تتميز بغناها ب sesquiterpenes ، الكيتونات ، الهيدروكربونات الأليفاتية و الألدهيدات.

علاوة على ذلك، monoterpenes ، استرات ، الكحول ، مركبات النيتروجين ، مشتقات الفوران ، الفينول ، ، الأحماض ، مركبات السيليكون وغيرها من المركبات الحلقية غير المتجانسة موجودة بكميات قليلة.

الكلمات المفتاحية: *Trigonella foenum-graecum* L. ، كمياء العقاقير، الخاصية المضادة للاكسدة ، الزيوت الأساسية، تحديد بواسطة GC / MS.

Liste des figures

Figure 01: Diversité des structures de sécrétion des huiles essentielles.....	16
Figure 02: La classification selon APG III (2009).....	26
Figure 03: Situation botanique de l'espèce <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	27
Figure 04: Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès.....	35
Figure 05: Localisation géographique de la station INRA Lamtar	36
Figure 06: Les graines désinfectées et déposées dans des boîtes de Pétri.....	39
Figure 07: Macération des graines de quatre variétés de fenugrec dans le méthanol (96%).....	41
Figure 08: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	42
Figure 09 : Courbe d'étalonnage de la catéchine.....	43
Figure 10: Courbe d'étalonnage de la catéchine	44
Figure 11: Structure de DPPH· (radical) et sa réduction par l'antioxydant AH	45
Figure 12: Montage d'hydrodistillation (Appareil de type Clevenger).....	48
Figure 13: L'appareil de CPG-SM	49
Figure 14: Variation de rendement moyen des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	51
Figure 15: Variation des capacités de germination des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	55
Figure 16: Variation des coefficients de vélocité des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	55
Figure 17: Variation des temps moyens de la germination des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures.....	56
Figure 18: Variation des temps de latence des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	56
Figure 19: Teneurs en phénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés des extraits méthanoliques des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	61
Figure 20: L'activité antioxydante des extraits méthanoliques évaluée en IC 50 des graines des quatre variétés du <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes concentrations	62
Figure 21: L'activité de piégeage de DPPH par les extraits méthanoliques des graines de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	63
Figure 22: Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 0057.....	65

Figure 23: Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 1063.....	65
Figure 24: Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 1138.....	66
Figure 25: Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 2087.....	66
Figure 26: Spectre GC/MS et la structure chimique de viridiflorol de l'huile essentielle de fenugrec.....	72
Figure 27: Spectre GC/MS et la structure chimique de ledol de l'huile essentielle de fenugrec..	72
Figure 28: Spectre GC/MS et la structure chimique de dihydroactinidiolide de l'huile essentielle de fenugrec.....	73
Figure 29: Spectre GC/MS et la structure chimique de hexanal de l'huile essentielle de fenugrec.....	73
Figure 30: Spectre GC/MS et la structure chimique de nonanal de l'huile essentielle de fenugrec.....	74
Figure 31: Spectre GC/MS et la structure chimique de gamma-cadinene de l'huile essentielle de fenugrec.....	74
Figure 32: Spectre GC/MS et la structure chimique de hexahydrofarnesyl acétone de l'huile essentielle de fenugrec.....	75
Figure 33: Spectre GC/MS et la structure chimique de 1-épi-cubenol de l'huile essentielle de fenugrec.....	75
Figure 34: Spectre GC/MS et la structure chimique de Gamma-caprolactone de l'huile essentielle de fenugrec.....	76
Figure 35: Spectre GC/MS et la structure chimique de Gamma-nonolactone de l'huile essentielle de fenugrec.....	76
Figure 36: Spectre GC/MS et la structure chimique de Carvone de l'huile essentielle de fenugrec.....	77
Figure 37: Spectre GC/MS et la structure chimique de Dibutyl phthalate de l'huile essentielle de fenugrec.....	77
Figure 38: Spectre GC/MS et la structure chimique de Tétradécane de l'huile essentielle de fenugrec.....	78
Figure 39: Composés majoritaires identifiés dans l'huile essentielle des graines de fenugrec....	78
Planche I : Graines des quatre variétés de fenugrec utilisées dans l'étude.....	37

Liste des tableaux

Tableau 01: Les ressources fourragères en Algérie.....	04
Tableau 02: Les principales classes des composés phénoliques.....	14
Tableau 03: Situation botanique de l'espèce <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	31
Tableau 04: Caractéristiques physiques et nutritionnelles moyenne pour 100 g de graines de fenugrec	33
Tableau 05: Variation de rendement moyen des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	51
Tableau 06 : Variation des capacités de germination des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures.....	53
Tableau 07: Variation des coefficients de vélocité des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	53
Tableau 08: Variation des temps moyens de la germination des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	54
Tableau 09: Variation des temps de latence des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. à différentes températures	54
Tableau 10: Variation des valeurs nutritionnelles des macronutriments et minéraux pour 100 gr des quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	57
Tableau 11: Teneur des phénols totaux des extraits méthanoliques des quatre échantillons	59
Tableau 12: Teneur des flavonoïdes des extraits méthanoliques des quatre échantillons.....	60
Tableau 13: Teneur des tanins condensés des extraits méthanoliques des quatre échantillons.....	60
Tableau 14: Les résultats de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines des quatre variétés du <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	62
Tableau 15: Rendements des huiles essentielles et les caractéristiques organoleptiques des graines de fenugrec	64
Tableau 16: Composition chimique des huiles essentielles des graines de quatre variétés de fenugrec	67
Tableau 17: Répartition des différents composés identifiés dans les huiles essentielles des graines de fenugrec en classe	70
Tableau 18: Taux des composés majoritaires identifiés dans les huiles essentielles des graines de quatre variétés de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	71

Liste des abréviations

APG: Angiosperm Phylogeny Group.

ABA: AcideAbscissique.

GA: Acide Gibbérellique.

H₂O₂:Peroxyde d'hydrogène.

SO₄H₂:Acide sulfurique.

NaCl: Chlorure de sodium.

ANOVA: Analyse de la variance à un seul facteur.

ACP: Analyse en composantes principales.

CG: Capacité de germination.

CV: Coefficient de vitesse.

TMG: Temps moyen de germination.

TL: Temps de latence.

REM : Ras El Ma.

SEB :Sebdou.

TEN :Ténira.

TESS :Tessala.

BS : Béni-Saf.

CGAT : Capacité de germination moyenne des caryopses d'alfa non scarifiés.

CGST : Capacité de germination moyenne des caryopses d'alfa scarifiés.

CVAT : Coefficient de vitesse des caryopses d'alfa non scarifiés.

CVST : Coefficient de vitesse des caryopses d'alfa scarifiés.

TMGAT : Temps moyen de germination des caryopses d'alfa non scarifiés.

TMGST : Temps moyen de germination des caryopses d'alfa scarifiés.

TLAT : Temps de latence des caryopses d'alfa non scarifiés.

TLST : Temps de latence des caryopses d'alfa scarifiés.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Abréviations

Introduction générale..... 01

Partie bibliographique

Chapitre I: Généralités sur les plantes fourragères

I.1 Introduction 04

I.2 Les ressources fourragères en Algérie 04

I.3 Valeur alimentaire des fourrages 05

I.4 Valeur nutritive des fourrages 05

I.5 Les différentes méthodes de préparation des plantes médicinales 05

Chapitre II: Généralités sur les plantes médicinales

II.1 Introduction 06

II.2 Les plantes médicinales (P.M)..... 06

II.3 Intérêt de l'étude des P.M 06

II.4 Récolte des plantes médicinales 07

II.5 Principales préparations de remèdes à base de plantes médicinales 08

II.5.1 Infusion..... 08

II.5.2 Macération 08

II.5.3 Décoction..... 09

II.5.4 Poudre..... 09

II.5.5 Les compresses et les cataplasmes..... 09

Chapitre III: Les métabolismes secondaires

III.1 Introduction 10

III.2 Définition et fonctions des métabolites secondaires 10

III.3 Classification des métabolites secondaires..... 10

III.3.1 Les composés phénoliques 11

III.3.1.1 Classification des composés phénoliques..... 11

III.3.1.1.1 Les acides phénoliques.....	11
III.3.1.1.2 Les coumarines.....	12
III.3.1.1.3 Les quinones.....	12
III.3.1.1.4 Les tanins.....	12
III.3.1.1.5 Les flavonoïdes.....	13
III.3.1.1.6 Les anthocyanes.....	13
III.3.2 Les alcaloïdes.....	14
III.3.3 Les isoprénoides (Terpénoides).....	14
III.3.4 Les huiles essentielles.....	15
III.3.4.1 Généralités.....	15
III.3.4.2 Chimie des huiles essentielles.....	17
III.3.4.3 Utilisations des huiles essentielles.....	17

Chapitre IV: Généralités sur l'activité antioxydante

IV.1 Introduction.....	20
IV.2 Les antioxydants	20
IV.3. Les antioxydants naturels.....	21
IV.4. Méthodes de piégeage des radicaux stables et évaluation de leur capacité de réduction....	23
IV.4.1. Piégeage du radical 2,2-diphényl-1picrylhydrazyl (DPPH●).....	23
IV.4.2. Réduction de fer: FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma).....	23
IV.5. Activité antioxydante par la méthode de décoloration du bêta-carotène (β-carotene bleaching method).....	23

Chapitre V: Généralités sur l'espèce *Trigonella foenum-graecum* L.

V.1 Aperçu sur la famille des fabacées	25
V.1.1 Origine.....	25
V.1.2 Étymologie	25
V.1.3 Classification	25
V.1.4 Botanique.....	26
V.1.5 Phylogénie des Fabaceae.....	28
V.1.6 Importance économique.....	29
V.2 Aperçu sur <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	30
V.2.1 Étymologie	30
V.2.2 Origine	31
V.2.3 Botanique	31

V.2.4 Germination des graines	32
V.2.5 Génétique de la plante	32
V.2.6 Parties utilisées	32
V.2.7 Utilisations traditionnelles	32
V.2.8 Nutrition	32
V.2.9 Phytochimie	33
V.2.10 Pharmacologie	34

Partie expérimentale

Chapitre VI : Présentation de la zone d'étude

VI.1 Présentation de la zone d'étude	35
--	----

Chapitre VII: Matériels et méthodes

VII.1 Matériels	37
VII.2 Objectif et méthodes d'étude.....	37
VII.2.1 Etude agro-physiologique	38
VII.2.1.1 Evaluation du rendement en graines	38
VII.2.1.2 Etude de la germination des graines de fenugrec	39
VII.2.2 Analyse physico-chimiques	40
VII.2.3 Etude phytochimique	41
VII.2.3.1 Dosage des phénols totaux	42
VII.2.3.2 Dosage des flavonoides	43
VII.2.3.3 Dosage des tanins	43
VII.2.3.4 Détermination de l'activité anti oxydante des composés phénoliques extraits des graines du Trigonella foenum-graecum L.....	44
VII.2.3.5 Extraction des huiles essentielles.....	46

Chapitre VIII: Résultats et discussion

VIII.1 Résultats de l'étude agro-physiologique	51
VIII.1.1 Résultats de l'évaluation du rendement en graines de fenugrec	51
VIII.1.2 Résultats de la germination des graines de fenugrec.....	52
VIII.2 Résultats de l'étude des analyses physico-chimiques des graines de fenugrec	57
VIII.3 Résultats de l'étude phytochimique.....	59
VIII.3.1 Dosage des composés phénoliques	59
VIII.3.2 Détermination de l'activité anti oxydante des composés phénoliques extraits	

des graines du <i>Trigonella foenum-graecum</i> L	61
VIII.3.3 Rendement des huiles essentielles extraites des graines des quatre variétés <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	64
VIII.3.4 Identification et caractérisation du profil chimique des huiles essentielles des graines de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	64
Conclusion générale	81
Références bibliographiques	83
Annexes	
Travaux de recherche	

Introduction Générale

Introduction générale

Dans toutes les civilisations, la nature est en rapport étroit avec le monde divin. C'est particulièrement vrai dans l'Antiquité méditerranéenne, plus encore lorsqu'il s'agit de plantes médicinales (**Fabre, 2003**). La médecine moderne occidentale a rejeté la plupart de ces recours pour développer des médicaments chimiques et une technique de soins sophistiquée. Elle continue cependant d'utiliser certains remèdes à base des plantes médicinales. Une tendance récente conduit même à rechercher dans les plantes de nouveaux produits de substitution pour certaines maladies : cancer, paludisme... Plus de 200 000 espèces végétales sur les 300 000 recensées de nos jours sur l'ensemble de notre planète vivent dans les pays tropicaux d'Afrique.

L'histoire de la médecine traditionnelle montre l'importance de ces espèces dans les thérapies, toutes les sociétés traditionnelles ayant puisé, pour leurs soins de santé, dans cette pharmacopée végétale d'une très grande richesse (**Roulier, 1992 et Sofowara, 2010**). Des avantages économiques considérables dans le développement de cette médecine et dans l'utilisation des plantes médicinales pour le traitement des diverses maladies ont été constatés (**Muthu et al., 2006**).

L'Algérie, par sa vaste étendue terrestre du nord au sud et de l'est à l'ouest, et par sa variation climatique, possède une flore abondante, riche et variée dans laquelle il a été dénombré de nombreuses espèces aromatiques susceptibles de fournir des huiles essentielles (**Belouad, 2001**). L'étude de ces dernières est toujours d'une brûlante actualité malgré son ancienneté et les développements exponentiels des biotechnologies végétales. L'histoire de l'aromathérapie naquit ainsi et, avec les progrès de la science, de nouveaux principes actifs et de nouvelles propriétés pharmacologiques ont permis de faire des plantes aromatiques et médicinales d'authentiques médicaments (**Bruneton, 1999 et Buronzo, 2008**).

La phytochimie est une étude basée sur les plantes, qui se situe à l'interface de nombreuses sciences appliquées comme la pharmacie, la chimie, la biologie, et la médecine. Elle date depuis longtemps et reste toujours un sujet d'actualité malgré les développements exponentiels des différents domaines tel que la biotechnologie et la chimie qui s'intéressent surtout à la production de nouvelles molécules dites synthétiques (**Bruneton, 2005**).

Ainsi, les métabolites secondaires les plus responsables à cet effet phytothérapeutique sont influencés par les facteurs biotiques et abiotiques (**Ncube et al., 2012**).

Dans le présent travail, nous proposons, d'étudier, d'analyser et de relier les informations en matière chimiques et biologiques, dans quatre variétés d'une plante fourragère et médicinale cultivées dans la station de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA) Lamtar, Wilaya de Sidi Bel Abbés. Il s'agit de (*Trigonella foenum graecum* L.), connue par son nom commun fenugrec. Il s'agit des variétés codées : 0057, 1063, 1138, 2087. Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une herbacée annuelle appartenant de la famille des fabacées. Il se trouve partout dans le monde, mais il est d'origine méditerranéen. Cette plante est connue par ses propriétés médicinales, thérapeutiques et nutritionnelles très importantes vu les utilisations traditionnelles et les activités pharmacologiques des composées phyto-chimiques présent dans les extraits des graines de cette plante (huiles essentielles, saponines et flavonoïdes...). La plante de fenugrec entière peut être utilisée en phytothérapie, mais ce sont essentiellement les graines qui ont un intérêt thérapeutique. La variabilité des rendements en graines, des performances germinatives, des valeurs nutritionnelles, des rendements en huiles essentielles et de la variabilité chimique de la fraction volatile, en quantité et en qualité, pourrait être le reflet de différences biologiques entre variétés. La finalité de ce travail est de tenter de répondre à cette hypothèse qui représente l'objectif essentiel de ce travail de recherche.

Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs axes ont été entamés.

De ce fait, dans cette thèse, nous aborderons deux parties distinctes mais complémentaires:

✚ Une partie théorique comportant un premier chapitre, sur les plantes fourragères, un deuxième sur les généralités des plantes médicinales, un troisième portant une synthèse sur les métabolismes secondaires, un quatrième mettant le point sur l'activité antioxydante et un cinquième sur l'état de connaissance de l'espèce.

✚ Une partie expérimentale consiste à présenter la zone d'étude concernée et adopter une méthodologie de travail qui se déroule sur quatre axes :

Dans le premier axe, nous avons mené une étude agro-physiologique. Dans le deuxième, nous avons déterminé le potentiel nutritionnel des graines de fenugrec selon les normes AFNOR.

Dans le troisième, nous avons réalisé une quantification des phénols totaux, des flavonoïdes et des tanins, par la méthode de spectrophotométrie et aussi une quantification et une caractérisation de la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles par la méthode de CPG/SM pour les quatre variétés de fenugrec.

Le quatrième axe de cette recherche est consacré à l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines de l'espèce étudiée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH.

Enfin, un chapitre est consacré aux résultats obtenus, suivis par la discussion puis la conclusion et les perspectives.

Les références bibliographiques constitueront la dernière partie du manuscrit.

Partie Bibliographique

Chapitre I :
Généralités sur les plantes
fourragères

I.1. Introduction :

Les plantes fourragères se sont des plantes servant de nourriture au bétail. Leur étude avait été pendant longtemps considérée comme peu importante. C'est ainsi qu'en Algérie, comme dans la plupart des pays africains, le rôle du vétérinaire se limitait à l'action prophylactique et sanitaire. Ceci se justifiait du fait que sévissaient, en ces temps-là, des épisodes qui étaient à l'origine d'une mortalité élevée. Ces dernières années, des perturbations climatiques associés à une action destructrice intense due à l'homme (surpâturage, exploitation des arbres pour le chauffage et le bois d'œuvre, etc.), ont été à l'origine d'une raréfaction des plantes fourragères, voire à l'origine d'une prolifération d'espèces peu utiles sinon rédime nuisible. D'où un animal, guéri de nombreuses maladies, va se retrouver devant un fléau plus grave : la famine. Une lutte pour rétablir la biocénose est donc nécessaire et urgente pour faire le bonheur de l'animal et de son exploitant, l'Homme (**Diop, 1981**).

I.2. Les ressources fourragères en Algérie :

Selon **Hamadache, 2001**, les ressources fourragères en Algérie se composent principalement de chaumes de céréales, végétation de jachères pâturées, parcours steppiques, forêts, maquis et de peu de fourrages cultivés (Tableau 01).

Tableau 01 : Les ressources fourragères en Algérie.

Sources fourragères	Superficie en (Hectares)	Productivité moyenne (UF /Hectare)	Observations
Parcours steppiques	15 à 20 millions	100	Plus ou moins dégradés
Les forêts	Plus de 3 millions	150	--
Chaumes de céréales	Moins de 3 millions	300	Nécessité d'amélioration de la qualité des chaumes
Végétation des jachères pâturées	Moins de 2 millions	250	Nécessité d'orienter la végétation
Fourrages cultivés	Moins de 500 milles	1000 à 1200	Orge, avoine, luzerne, trèfle et le sorgho, vesce avoine
Les prairies permanentes	Moins de 300 milles	--	Nécessité d'une prise en charge

UF : unité fourragère.

I.3. Valeur alimentaire des fourrages :

La valeur alimentaire d'un fourrage associe deux critères :

- Sa valeur nutritive qui traduit sa concentration en éléments nutritifs (énergie, azote, minéraux, vitamines) digestible, par l'animal (**Jarrige, 1988 et Guerin, 1999**) ;
- Son ingestibilité, c'est-à-dire la quantité volontairement ingérée par l'animal (**Demarquilly et Weiss, 1970 et Guerin, 1999**).

D'après **Jarrige, 1988** et **Soltner, 1999**, l'estimation plus précise de la valeur d'un fourrage peut être obtenue à partir d'une analyse au laboratoire.

Les méthodes d'estimation de la valeur des aliments reposaient principalement sur la composition chimique des aliments (**Jarrige, 1988**).

I.4. Valeur nutritive des fourrages :

La valeur nutritive, d'après **Whitteman, 1980** et **Clement, 1981**, c'est la capacité d'un aliment ou d'une ration à couvrir les besoins nutritionnels d'un animal. Selon **Soltner, 1986**, la valeur nutritive représentée par la valeur énergétique et la valeur azotée, dépendent surtout de la digestibilité de la matière organique de l'aliment.

I.5. Composition chimique des fourrages :

La proportion des différents constituants organiques, d'après **Lapeyronie, 1982**, fournis par l'analyse permet de déterminer sa valeur nutritive. L'évolution pondérale d'un rendement en matière verte doit être précisée par la teneur en matière sèche du produit. Celle ci peut être très variable avec les espèces, les conditions d'exploitation et le stade de coupe.

Les opérations d'analyse comprennent les recherches suivantes : matière sèche (MS), matières minérales (MM), matières azotées totales (MAT), matières grasses (MG), et cellulose brute (CB).

Selon **Lapeyronie, 1982**, tout produit végétal est constitué de cellules dont les éléments protoplasmiques et les éléments membranaires sont de compositions différentes. Dans le protoplasme on trouve des matières azotées, des glucides, des acides organiques, de la matière grasse et des pigments. La membrane est constituée de cellulose vraie, dont le degré de polymérisation varie avec l'âge et l'organe considéré, d'hémicellulose, de lignine et des substances pectiques.

Chapitre II :
Généralités sur les plantes
médicinales

II. 1. Introduction :

Depuis la nuit des temps, les hommes apprécient les vertus apaisantes et analgésiques des plantes. Aujourd'hui encore, les deux tiers de la pharmacopée ont recours à leurs propriétés curatives. À travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales. Si certaines pratiques médicales paraissent étranges et relèvent de la magie, d'autres au contraire semblent plus fondées et plus efficaces. Pourtant, toutes ont pour objectif de vaincre la souffrance et d'améliorer la santé des hommes (**Encyclopédie des plantes médicinales, 2001**).

La phytothérapie est l'art de se soigner par les plantes (**OMS, 2002**). C'est une médecine très ancienne. Actuellement, de nombreux médicaments tirent leur origine des plantes médicinales. Cette forme de médecine ne s'oppose pas aux autres thérapies, elle augmente l'efficacité d'un traitement ou atténue ses effets secondaires (**Encyclopédie des plantes médicinales, 2001**).

II. 2. Les plantes médicinales (P.M) :

La définition d'une plante médicinale est très simple. En fait il s'agit d'une plante qui est utilisée pour prévenir, soigner ou soulager divers maux. Les plantes médicinales sont des drogues végétales dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses.

Environ 35 000 espèces de plantes sont employées par le monde à des fins médicinales, ce qui constitue le plus large éventail de biodiversité utilisé par les êtres humains. Les plantes médicinales continuent de répondre à un besoin important malgré l'influence croissante du système sanitaire moderne (**Elqaj et al., 2007**).

II. 3. Intérêt de l'étude des P.M :

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde possèdent des vertus thérapeutiques, car elles contiennent des principes actifs qui agissent directement sur l'organisme. On les utilise aussi en médecines classique qu'en phytothérapie ; elles présentent en effet des avantages dont les médicaments sont souvent dépourvus (**Iserin, 2001**).

Les plantes médicinales sont importantes pour la recherche pharmacologique et l'élaboration des médicaments ; non seulement lorsque les constituants des plantes sont utilisés directement comme agents thérapeutiques, mais aussi comme matières premières pour la synthèse de médicaments ou comme modèles pour les composés pharmacologiquement actif (**Dcaux, 2002**), tels que : la tubocuraraine, qui est un relaxant musculaire le plus

Chapitre II : Généralités sur les plantes médicinales

puissant, est dérivée du curare (*Chondrodendron tomentosum*), la morphine, l'analgésique qui est le plus puissant, est tirée du pavot à opium (*Papaver somniferum*) et la cocaïne utilisée comme anesthésiants ; est tirée du coca (*Erythroxylum coca*) (**Fouché et al., 2000**).

Les plantes médicinales font l'objet d'une popularité croissante au même titre que les «aliments» (nutraceutiques et aliments fonctionnels). Même les facultés de pharmacie s'intéressent de plus en plus aux propriétés médicinales des plantes.

II. 4. Récolte des plantes médicinales :

Traditionnellement et de façon préférentielle, les plantes médicinales sont récoltées dans leur habitat naturel mais, de plus en plus et dans beaucoup de régions, c'est difficile à réaliser :

- à cause de l'augmentation permanente des zones agricoles "traitées" par des pesticides, y compris les pâturages, les haies et les jachères
- et pour certaines espèces, à cause de la disparition inquiétante des plantes médicinales à l'état sauvage, surexploitées (pour répondre à la demande croissante au niveau mondial de l'industrie pharmaceutique, des négociants et des commerçants en plantes médicinales), ou fragilisées par les modifications du milieu naturel (pollution, agriculture industrielle, agroforesterie, désertification et broutage exagéré) (**Web Master1**).

Beaucoup de plantes médicinales très recherchées sont maintenant cultivées de façon raisonnablement biologique, mais aussi parfois intensivement en utilisant des engrais et des pesticides.

Quand on récolte des plantes sauvages dans tous les cas, il ne faut prélever que la quantité de plantes nécessaire, si possible à l'écart des routes passantes et des zones d'agriculture intensive et enfin s'assurer de la bonne identification de la plante médicinale (**Web Master1**).

On récolte si possible :

- Les plantes entières : à l'époque de leur floraison ;
- Les feuilles : après développement complet et si possible avant la floraison ;
- Les fleurs et les rameaux fleuris : immédiatement avant l'épanouissement total des fleurs ;
- Les racines des plantes annuelles : à la fin de la période végétative (fin de croissance) ;

Chapitre II : Généralités sur les plantes médicinales

- Les racines des plantes bisannuelles : à la fin du repos végétatif de la première année et avant la reprise de la deuxième année ;
- Les racines des plantes vivaces : au cours de leur deuxième ou troisième année, avant qu'elles ne deviennent trop dures et fibreuses (lignification) ;
- Les fruits et graines : à maturité ou très légèrement avant quand on pense sécher les fruits ;
- Les écorces d'arbre : en hiver ou au début du printemps(ou pendant la saison sèche)
- Les écorces d'arbrisseau : après la saison chaude (ou en fin de saison humide).
- Si la plante médicinale n'est pas destinée à être utilisée dans les 24-48 heures (conservation au frais ou les pieds dans l'eau), il faut procéder à sa dessiccation (ou à la préparation d'une teinture-mère, voir plus bas):
- séchage à l'ombre si possible, dans un espace non confiné et donc aéré : grenier, four solaire, claie ombragée
- parfois séchage au four (chaleur douce) dans les régions au fort degré hygrométrique et presque toujours, pour les grosses racines charnues, après qu'elles aient été débitées en rondelles ou morceaux (**Web Master1**).

Une fois bien déshydratées, les plantes sont maintenues en bouquet quand on pense les employer (ou les vendre) prochainement, sinon on les conserve (entières, en fragments ou en poudre) dans des récipients étanches à l'air et à l'eau pendant 6 à 12 mois (**Web Master1**).

II. 5. Principales préparations de remèdes à base de plantes médicinales :

En phytothérapie, la préparation des plantes médicinales sera différente selon l'usage que l'on destine : infusion, macération, décoction, ou poudre pour la voie interne, et cataplasme ou masque pour l'usage externe.

II.5. 1. Infusion :

Elle consiste à verser de l'eau bouillante sur des plantes au moment précis où l'eau entre en ébullition. Il faut alors couvrir le récipient et laisser infuser le temps nécessaire (de dix minutes à une heure selon les plantes) (**Sassi, 2008**).

II.5. 2. Macération :

La macération est un procédé qui consiste à laisser séjourner un solide dans un liquide froid pour en extraire les composés solubles, ou bien pour qu'il absorbe de ce liquide afin d'en

obtenir le parfum ou la saveur, pour le conserver ou pour qu'il s'y décompose (**Web Master 2 et Web Master 3**).

Les plantes sont laissées à tremper dans un liquide : eau, alcool, huile, miel, vin, vinaigre, etc. Pendant une période d'au moins 15 jours.

II.5. 3. Décoction :

Il s'agit de faire bouillir l'eau dans laquelle on a mis les plantes. Le temps d'ébullition va de 10 minutes à une demi-heure selon la (ou les) plante(s).

Les décoctions sont généralement réalisées à partir des racines, d'écorce et de baies, auxquelles on ajoute parfois des feuilles et des fleurs (**Iserin, 2001**).

II.5. 4. Poudre :

La poudre totale : Préparée le plus souvent par cryobroyage, elle permet l'obtention de la quasi-totalité des principes actifs (*totum* de la plante). Dans certains cas, l'ensemble de ces principes actifs est nécessaire. Les extraits secs : Ils peuvent être préparés par nébulisation ou lyophilisation. Un nébulisât s'obtient par transformation de l'extrait liquide en un brouillard de particules, desséchées brusquement à haute température. Un lyophilisat s'obtient par congélation de l'extrait liquide puis sublimation. La poudre lyophilisée en présence d'eau redonnera alors l'extrait initial (**Antoula, 2003**).

II.5. 5. Les compresses et les cataplasmes :

Compresses et cataplasmes sont principalement utilisés dans les cas de problèmes de peau, les entorses, les fractures et les douleurs musculaires ou articulaires. N'utilisez que des plantes parfaitement saines (**Mantas, 1984**).

Chapitre III :
Les métabolismes secondaires

III.1. Introduction :

La plante est le siège d'une intense activité métabolique aboutissant à la synthèse de principes actifs les plus divers. Ce processus métabolique est lié aux conditions mêmes de vie de la plante. La plante doit faire face à de multiples agressions de l'environnement dans lequel elle vit : prédateurs, microorganismes pathogènes, etc. On conçoit donc que la plante puisse développer un métabolisme particulier lui permettant de synthétiser les substances les plus diverses pour se défendre : les métabolites secondaires (**Kansole, 2009**).

III. 2. Définition et fonctions des métabolites secondaires :

Chez les plantes, il existe un métabolisme secondaire, c'est une exclusivité du monde végétal. Ces produits, à structure chimique souvent complexe, sont très dispersés et très différents selon les espèces (**Cuendet, 1999**).

Le métabolisme secondaire désigne un métabolisme dont la distribution taxonomique serait restreinte et dont la contribution au fonctionnement cellulaire ou au développement des plantes serait insignifiante (**Carvot, 2008**).

Les métabolites secondaires ne sont pas vitaux pour l'organisme mais jouent nécessairement un rôle important de part la machinerie enzymatique complexe nécessaire à leur production. Ils ont des rôles écologiques (allomone, phéromone...). Ces molécules furent sélectionnées au cours de l'évolution pour l'interaction qu'elles ont avec un récepteur d'un autre organisme. Elles représentent donc une grande source potentielle d'agents thérapeutiques (**Thomas, 2009**).

Ils pourraient jouer un rôle dans la défense contre les herbivores, et dans les relations entre les plantes et leur environnement. Plusieurs composés phénoliques participent à la filtration des UV, les pigments floraux sont essentiels aux processus de pollinisation (**Carvot, 2008**).

III.3. Classification des métabolites secondaires :

Les métabolites secondaires sont produits en très faible quantité, il existe plus de 200 000 métabolites secondaires classés selon leur appartenance chimique en l'occurrence, les terpènes, les alcaloïdes, les composés acétyléniques, les cires, et les composés phénoliques (**Cuendet, 1999 et Vermeris, 2006**).

On distingue trois classes principales :

III.3.1. Les composés phénoliques :

Les polyphénols sont des métabolites secondaires présents chez toutes les plantes vasculaires (**Lebham, 2005**). Ils constituent un des groupes le plus nombreux et largement distribué des substances dans le royaume des végétaux avec plus de 8000 structures phénoliques présents dans tous les organes de la plante. Ils résultent bio génétiquement de deux voies synthétiques principales : la voie shikimate et acétate (**Lugasi et al., 2003**).

L'élément structural de base est un noyau benzoïque auquel sont directement liés un ou plusieurs groupes hydroxyles, libres ou engagés dans une autre fonction chimique (éther, méthylque, ester, sucre...) (**Bruneton, 1993**).

Les composés phénoliques sont des molécules hydrosolubles présentes dans tous les végétaux. Ils ont divers effets sur la physiologie végétale de part leurs actions antibactériennes et antifongiques. Ils participent à la pigmentation des fleurs, des légumes et de quelques fruits (raisins, agrumes, etc...). Certains d'entre eux sont responsables d'amertume et d'astringence (**Adrian et Frangne, 1991 et Milane, 2004**).

Les fonctions principales attribuées à ces composés chez les végétaux sont la protection contre les pathogènes et les herbivores ainsi que la limitation des dommages dus aux radiations UV. Dans ce cas, ils agissent par effet d'écran et par effet antioxydant (**Lebham, 2005**).

Les composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes simples et pro anthocyanidines) forment le groupe des composés phytochimiques le plus important des plantes (Tableau 2) (**Beta et al., 2005**).

III.3.1.1. Classification des composés phénoliques :

III.3.1.1.1 Les acides phénoliques :

Ils ne possèdent pas de squelette flavane. Ils sont solubles dans l'éther. Ils peuvent être associés à la lignine, présents sous forme d'ester, ou bien localisés dans la partie de la feuille insoluble dans l'alcool (**Barboni, 2006**). Ils présentent des propriétés biologiques intéressantes : anti-inflammatoires, antiseptiques urinaire, anti radicalaires, cholagogues, hépatoprotecteurs, cholérétiques, immunostimulants (**Bruneton, 1999**).

On distingue :

- Les dérivés de l'acide benzoïque (constitués d'un squelette à sept carbones).
- Les dérivés d'esters hydroxycinnamiques (constitués d'une structure de type C₆-C₃) (**Barboni, 2006**).

III.3.1.1.2. Les coumarines :

Les coumarines sont parmi les composés phénoliques les plus connus. Elles sont substituées en C-7 par un hydroxyle. La 7-hydroxycoumarine, connue sous le nom d'ombelliférone, est le précurseur des coumarines 6,7-di- et 6, 7,8-trihydroxylées. Les coumarines des différents types se trouvent dans de nombreuses espèces végétales et possèdent des propriétés très diverses. Elles sont capables de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de capter les radicaux hydroxyles, superoxydes et peroxydes (**Igor Passi, 2002**).

Les coumarines sont connues par leurs activités cytotoxiques, antivirales, immunostimulantes, tranquillisantes, vasodilatatrices, anticoagulantes (au niveau du cœur), hypotensives. Elles sont également bénéfiques en cas d'affections cutanées (**Gonzalez et al., 1997**).

III.3.1.1.3. Les quinones :

Ce sont des substances colorées et brillantes, en général rouges, jaunes ou orange et possédant deux fonctions cétones. On trouve les quinones dans les végétaux, les champignons, les bactéries. Les organismes animaux contiennent également des quinones, comme par exemple la vitamine K, qui est impliquée dans la coagulation du sang. Les quinones sont utilisées dans les colorants, dans les médicaments et dans les fongicides (**Kansole, 2009**).

III.3.1.1.4. Les tanins :

Les tanins sont des polyphénols que l'on trouve dans de nombreux végétaux tels que les écorces d'arbre et les fruits (raisin, datte, café, cacao...). Leur structure complexe est formée d'unités répétitives monomériques qui varient par leurs centres asymétriques, leur degré d'oxydation (**Hemingway, 1992**).

Ces tanins sont des donneurs de protons aux radicaux libres lipidiques produits au cours de la peroxydation. Des radicaux tanniques plus stables sont alors formés, ce qui a pour conséquence de stopper la réaction en chaîne de l'auto oxydation des lipides (**Cavin, 1999**).

Les tanins sont divisés en deux groupes :

- Les tanins condensés, formés de proanthocyanidines (sous forme d'oligomères)
- Les tanins hydrolysables, esters des acides phénols et de glucose.

III.3.1.1.5. Les flavonoïdes :

Les flavonoïdes sont des molécules très répandues dans le règne végétal. Ils font partie de la classe des polyphénols, principaux métabolites secondaires des plantes. Les flavonoïdes ont une origine biosynthétique commune et, de ce fait, présentent le même élément structural de base (sauf exceptions : chalcones, aurones, isoflavones), à savoir quinze atomes de carbone constitués de deux cycles en C6 (A et B) reliés par une chaîne en C3 (noyau 2-phényl-1-benzopyrane) (**Brunton, 1999**).

III.3.1.1.6. Les anthocyanes :

Les anthocyanes (du grec *anthos*, fleur et *Kuanos*, bleu violet) terme général qui regroupe les anthocyanidols et leurs dérivés glycosylés. Ces molécules faisant partie de la famille des flavonoïdes et capables d'absorber la lumière visible, ce sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose ou orange. Leur présence dans les plantes est donc détectable à l'oeil nu. A l'origine de la couleur des fleurs, des fruits et des baies rouges ou bleues, elles sont généralement localisées dans les vacuoles des cellules épidermiques, qui sont de véritables poches remplies d'eau. On trouve également les anthocyanes dans les racines, tiges, feuilles et graines. En automne, les couleurs caractéristiques des feuilles des arbres sont dues aux anthocyanes et aux carotènes qui ne sont plus masqués par la chlorophylle (**Bessas et al., 2007**).

Tableau 2 : Les principales classes des composés phénoliques (Macheix, 2005).

Nombre d'atomes de carbones	Squelette de base	Classe	Exemple
6	C ₆	- Phénols simples	- Catéchol
7	C ₆ -C ₁	- Acides phénoliques	- Acide salicylique
8	C ₆ -C ₂	- Acétophénones	- 3-Acétyle-6-méthoxybenzaldéhyde
		- Acide hydroxycinnamique	- Acide caféique
9	C ₃ -C ₆	- Phénylpropènes	- Eugénol
		- Coumarines	- Ombelliférone
		- Chromones	- Eugenine
10	C ₆ -C ₄	- Naphtoquinones	- Juglone
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	- Xanthones	- 1, 2, 3,7 tétraméthoxy
			- Xanthone
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	- Stilbènes	- Acide hunularique
		- Anthraquinones	- Emodine
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	- Flavonoïdes	- Quercetine
		- Isoflavonoïdes	- Genisteine
18	(C ₆ -C ₃) ₂	- Lignanes	- Podofyllotoxine
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	- Biflavonoïdes	- Kayaflavone
	(C ₆ -C ₃) _n	- Lignines	
n	(C ₆) _n	- Catéchol mélanines	
	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	- Flavolanes (tanins condensés)	

III.3.2. Les alcaloïdes :

Les alcaloïdes sont un groupe de composés azotés et faiblement basiques issus principalement des végétaux. Ils présentent des réactions communes de précipitation. Après extraction, ils sont détectés par des réactions générales de précipitation fondées sur leur capacité de se combiner avec des métaux. La caractérisation de la présence d'alcaloïde peut se faire par précipitation à l'aide de : Réactif silicotungstique (réactif de Bertrand), réactif Tétraiodomercure de potassium (réactif de Valser-Mayer), Iodobismuthate de potassium (réactif de Dragendorff) (Kansole, 2009).

III.3.3. Les isoprénoides (Terpénoides) :

Les isoprénoides sont des composés issus de la condensation d'unités de base à 5 carbones de type isoprène. On parle également de composés terpéniques ou terpenoïdes, l'unité monoterpène correspondant à des molécules à 10 carbones formées à partir de deux unités isoprènes. De façon analogue à la famille des composés phénoliques, les isoprénoides

regroupent à la fois des molécules de faibles poids moléculaires, volatiles et composants principaux d'huiles essentielles, et des molécules hautement polymérisées comme par exemple le caoutchouc. Cette voie de biosynthèse donne naissance à de très nombreux métabolites secondaires, mais participe également à la synthèse de composés comme le β -carotène, les chlorophylles, l'ubiquinone ou la plastoquinone, qu'on ne positionne généralement pas dans le métabolisme secondaire (**Harborne, 1998 et Bruneton, 1999**).

III.3.4. Les huiles essentielles :

III.3.4.1. Généralités :

Le terme huiles essentielles (HES) dérive de « quinta essentia », un nom donné par le médecin suisse Paracelsus aux extraits de plantes obtenues par distillation, il signifie la fragrance et la quintessence de la plante (**Hart et al., 2008**). Contrairement à ce que le terme pourrait laisser penser, les HES ne contiennent pas de corps gras (lipides) et ne sont pas « essentiel » dans le sens qu'elles sont nécessaires à la croissance ou au métabolisme. Ce sont des composés aromatiques volatils, qui ont un aspect huileux, elles sont obtenues à partir de plantes aromatiques par plusieurs procédés d'extraction (**Burt, 2004**). Elles sont solubles dans les lipides et les solvants organiques et possèdent une densité inférieure à celle de l'eau (**Bakkali et al., 2008**).

Approximativement 3000 HES sont connues, alors que 300 sont commercialement importantes. Grâce à leurs activités antimicrobiennes, antifongiques, antiparasitaires et à leurs fragrances, les HES sont utilisées dans les domaines pharmaceutique, alimentaire, cosmétique... Néanmoins, une seule huile peut avoir plusieurs utilisations à la fois (**Bakkali et al., 2008**).

Le rendement et la composition des HES varient selon l'environnement (température, salinité, pluviosité...), la période de récolte (saison, stade de développement), l'état de plante (fraîche ou séchée) et la technique d'extraction (hydrodistillation, entraînement à la vapeur d'eau, extraction par solvant...). Ces variations sont aussi observées entre les HES extraites des différentes parties de la même plante (feuilles, fleurs, tiges, graines et racines) (**Dorman et al., 2000 et Delaquis et al., 2002**). De même que des HES extraites des feuilles de coriandre (*Coriandrum sativum*) sont différentes des huiles extraites des graines de la même plante (**Dudareva et al., 2004**).

Les HES peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : feuilles, fleurs, écorces, rhizomes, fruits et graines. La synthèse et l'accumulation des HES sont généralement

associées à la présence de structures histologiques spécialisées (Figure 1). Les HES sont synthétisées dans le cytoplasme des cellules sécrétrices et s'accumulent dans des cellules glandulaires recouvertes d'une cuticule. Les cellules endodermales se situent toujours à l'abri de ces substances, grâce à la présence d'un autre type de cellules appelées les cellules de gardes. La forme et le nombre des structures histologiques sécrétrices varient d'une famille botanique à l'autre et même d'une espèce à une autre. Néanmoins, plusieurs catégories de tissus sécréteurs peuvent coexister simultanément chez une même espèce (**Karry-Bouraoui et al., 2009**). Les trichomes glandulaires sont les formes les plus répandues, ils représentent à la fois le site de biosynthèse et de stockage des HES (**Combrinck et al., 2007**).

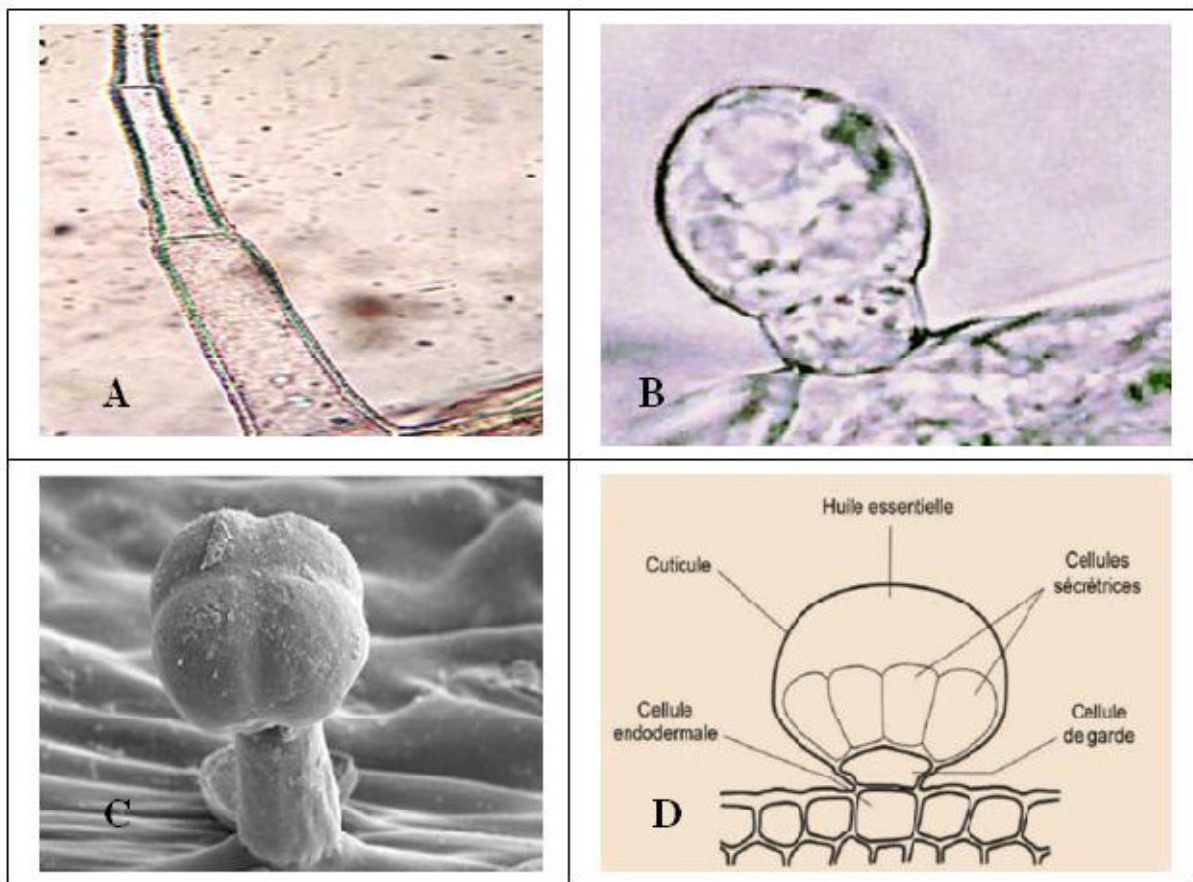


Figure 1 : Diversité des structures de sécrétion des huiles essentielles. **(A)** : poil sécréteur de *Mentha pulegium*, **(B)** : trichome glandulaire de *Mentha pulegium*, **(C)** : trichome glandulaire de *Lippia scaberrima* et **(D)** : structure de trichome glandulaire de *Thymus vulgaris* (**Combrinck et al., 2007** et **Karry-Bouraoui et al., 2009**).

III.3.4.2. Chimie des huiles essentielles :

Les huiles essentielles représentent un mélange complexe de molécules chimiques qui peuvent comporter plus de soixante composants différents, parmi lesquels deux ou trois sont des composants majeurs constituant de 20 à 70% du mélange comparativement aux autres qui se trouvent le plus souvent sous forme de traces. A titre d'exemple, le carvacrol et le thymol sont les composants majeurs de l'huile d'*Origanum compactum*, le linalol pour l'huile de *Coriandrum sativum*, le menthol et le menthone pour l'huile de *Mentha piperita*. Généralement ces composants majeurs déterminent les propriétés biologiques de l'huile essentielle (Bakkali et al., 2008).

La plupart des composants des HES sont inclus dans deux groupes : les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes, les deux sont synthétisés à travers deux voies métaboliques séparées (Calsamiglia et al., 2007 et Amlan et al., 2010).

- **Les terpénoïdes** : Ils représentent le groupe le plus diversifié des métabolites secondaires, végétaux, plus de 15.000 composés différents sont décrits dans la littérature. Ils dérivent d'une structure de base à cinq carbones (C₅H₈), communément appelée isoprène. Selon le nombre répétitif de cette unité, les terpénoïdes sont classés en : monoterpénoïdes (C₁₀), sesquiterpénoïdes (C₁₅) et diterpénoïdes (C₂₀). Dans la composition de la plupart des huiles essentielles les monoterpénoïdes et les sesquiterpénoïdes forment la majeure partie (Calsamiglia et al., 2007 et Benchaar et al., 2008).
- **Les phénylpropanoïdes** : Ils sont moins fréquents par rapport aux terpénoïdes. Néanmoins, certaines plantes possèdent ces composés avec des proportions significatives. Les phénylpropanoïdes dérivent majoritairement de la phénylalanine. Ils sont constitués d'une chaîne carbonée liée à un noyau aromatique à six carbones (Sangwan et al., 2001).

III.3.4.3. Utilisations des huiles essentielles :

Les industries de la parfumerie, des arômes et de la cosmétique sont les principales consommatrices d'huiles essentielles. Ce sont en effet les produits de base utilisés pour ajouter des odeurs, en raison de leur forte volatilité et du fait qu'elles ne laissent pas de trace grasse. Dans l'agro-alimentaire, on utilise aussi des HE pour incorporer aux aliments des saveurs.

- Les huiles essentielles sont très employées pour parfumer les produits cosmétiques : savons, shampoings, gels-douches, crèmes cosmétiques et/ou hydratantes, etc.
- Le secteur des produits ménagers (détergents et lessives par exemple) consomme beaucoup d'huiles essentielles pour masquer les odeurs, souvent peu agréables, des produits purs.
- L'utilisation des huiles essentielles dans les arômes alimentaires est croissante. Les arômes sont omniprésents de nos jours : ils sont utilisés comme exhausteur de goût dans divers produits : cafés, thés, tabacs, vins, yaourts, plats cuisinés, etc.

Utilisations dans les cosmétiques :

L'aromathérapie est l'utilisation des huiles essentielles pour soigner. Elle fait l'objet d'un certain nombre d'abus : il suffit de mettre 0,0001 % d'huile essentielle dans une crème pour en faire un produit vendable. En cosmétologie aromatique, on utilise entre 0,5 % et 2 % d'HE pour le visage, 2 % et 5 % pour le corps et jusqu'à 10 % pour les soins très localisés.

Les huiles essentielles s'utilisent de plus en plus dans les cosmétiques divers pour des raisons de confort. Néanmoins les huiles essentielles peuvent être irritantes pour la peau car elles sont dermocaustiques. C'est pour cela qu'elles doivent toujours être diluées à 1/20 ou même 1/100, d'autres moins puissantes se contentent d'une dilution à 1/5.

Utilisations sanitaires :

Les HE sont à l'étude pour éloigner les mouches charbonneuses, qui piquent les animaux domestiques (**Baldacchino et al., 2013**) afin d'éviter l'usage d'insecticides.

Les HE sont utilisées en raison de leurs propriétés stimulantes notamment sur les activités cellulaires des plantes et des animaux, ou inhibitrices par exemple sur les microbes (désinfection). Elles servent par exemple comme produits phytosanitaires pour combattre les infections fongiques, bactériennes ou virales dans les cultures végétales. Elles apportent des solutions en agriculture biologique en réduisant la pollution, le développement de résistances et autres effets néfastes des pesticides de synthèse. À l'instar de ce qui est fait pour l'homme, les HE entrent aussi dans la composition de traitements pour les animaux, chez qui ils permettent par exemple de réduire l'apparition des résistances aux antibiotiques conventionnels ou de limiter les effets secondaires.

Utilisations dans l'industrie alimentaire :

Le 11 février 2011, Ira Glass révèle, lors de son émission de radio This American Life, que la formule secrète du composé 7x du Coca-Cola a été découverte dans un journal de 1979. La formule trouvée contiendrait pour 10 litres d'eau, entre autres, 20 gouttes d'huile essentielle d'orange, 30 d'huile essentielle de citron, 10 d'huile essentielle de noix de muscade, 5 d'huile essentielle de coriandre, 5 d'huile essentielle de néroli, 10 d'huile essentielle de cannelle (**Web Master 4-5-6 et 7**).

***Chapitre IV :
Généralités sur l'activité
antioxydante***

IV.1. Introduction :

L'oxygène est un élément essentiel pour les organismes multicellulaires parce qu'il permet de produire de l'énergie en oxydant de la matière organique. Mais nos cellules convertissent une partie de cet oxygène en métabolites toxiques : les radicaux libres organiques (**Lesgards, 2000**).

Un radical libre est une espèce, atome ou molécule contenant un électron non apparié. Ce déséquilibre n'est que transitoire et il est comblé soit par l'acceptation d'un autre électron soit par le transfert de cet électron libre sur une autre molécule. Ces espèces radicalaires très instables et très réactives sont produites d'une manière continue au sein de notre organisme dans le cadre de nombreux phénomènes biologiques. Par exemple, lors de la respiration cellulaire, l'oxygène moléculaire se transforme en diverses substances oxygénées, communément appelées radicaux libres de l'oxygène ou espèces réactives oxygénées (Reactive Oxygen Species : ROS) (**Gutteridge, 1993**).

Dans certaines situations, cette production augmente fortement en entraînant un stress oxydatif que l'on définit comme un déséquilibre entre la production et la destruction de ces espèces (**Gutteridge, 1993**). Ce déséquilibre est à l'origine de nombreux facteurs, notamment les polluants présents dans l'air que nous respirons et l'eau et les aliments que nous consommons. Les rayons ultraviolets du soleil, d'autres radiations, la fumée de tabac et l'exercice excessif sont également des facteurs qui augmentent considérablement la présence des radicaux libres dans notre système (**Favier, 2003**).

En raison de leur capacité à endommager les cellules, les tissus et les organes, les espèces réactives de l'oxygène sont impliquées dans un grand nombre de pathologies, tant aiguës que chroniques (**Gutteridge, 1993**).

IV.2. Les antioxydants

De nombreuses espèces oxydantes sont produites et bien qu'elles soient souvent indispensables à l'organisme, elles ne sont pas moins responsables de dégâts importants. Pour faire face à ces produits oxydants délétères, le corps humain possède tout un arsenal de défenses que l'on qualifie d'antioxydants. Mais bien que le terme « antioxydant » soit fréquemment utilisé, il est difficilement définissable car il couvre un large nombre de molécules et des domaines très divers comme l'alimentation, l'industrie chimique et l'industrie pharmaceutique (**Halliwell et Gutteridge, 1999**).

Un antioxydant est toute substance présente à une concentration inférieure à celle du substrat oxydable, qui est capable de retarder ou de prévenir l'oxydation de ce substrat **(Halliwell et Gutteridge, 1999)**. Les antioxydants sont des composés puissants qui peuvent neutraliser les radicaux libres impliqués dans la dégradation cellulaire et nous aident ainsi à garder une vie active et saine. Quelques antioxydants sont fabriqués par le corps humain, d'autres, telles les vitamines et poly phénols, doivent être apportés par notre alimentation **(Pincemail et Defraigne, 2004)**. La classification de tous les antioxydants connus est difficile, ils sont classés généralement par leur mécanisme d'action ou par leur nature chimique.

IV.3. Les antioxydants naturels :

L'organisme possède deux types de systèmes de défense très efficaces : les antioxydants enzymatiques et les antioxydants non enzymatiques. Ces antioxydants sont d'autant plus importants que certains peuvent être utilisés en thérapie pour tenter de prévenir le stress oxydatif **(Diplock, 1991)**.

Les antioxydants enzymatiques (La superoxyde dismutase, la catalase, la glutathion peroxydase et la glutathion réductase) sont considérés comme la première ligne de défense de notre organisme contre les ROS. Contrairement aux enzymes antioxydants, la plupart de ces composants ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation. Dans cette catégorie d'antioxydant nous retrouvons les oligoéléments, la glutathion réduit (GSH), les vitamines E et C et les polyphénols.

- **Les flavonoïdes :**

Présentes dans la plupart des plantes, les flavonoïdes sont des pigments polyphénoliques qui sont responsables dans la plupart des colorations des fleurs et des fruits. Ils possèdent de nombreuses vertus thérapeutiques. Ils sont particulièrement actifs dans le maintien d'une bonne circulation. Certains ont aussi des propriétés anti-inflammatoires et anti virales, d'autres ont des effets protecteurs sur le foie.

Des flavonoïdes comme l'héspéridine et la rutine, présentes dans plusieurs plantes, dont le Sarrasin et le Citronnier, renforcent les parois capillaires et préviennent l'infiltration dans les tissus voisins **(Igor, 2002)**.

- **Les tanins :**

Toutes les plantes en contiennent à des degrés différents. Ce sont des composés polyphénoliques qui permettent de stopper les hémorragies et de lutter contre les infections.

Les plantes riches en tanins sont utilisées pour retendre les tissus souples, comme dans le cas des veines variqueuses, pour drainer les sécrétions excessives, comme dans la diarrhée et pour réparer les tissus endommagés par un eczéma ou une brûlure (**Amadou, 2005**).

Ces tanins sont des donneurs de protons aux radicaux libres lipidiques produits au cours de la peroxydation. Des radicaux tanniques plus stables sont alors formés, ce qui a pour conséquence de stopper la réaction en chaîne de l'auto oxydation des lipides (**Cavin, 1999**).

- **Les coumarines :**

Les coumarines de différents types se trouvent dans de nombreuses espèces végétales et possèdent des propriétés très diverses.

Ils sont capables de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de capter les radicaux hydroxyles, superoxydes et peroxydes. Les conditions structurales requises pour l'activité antiperoxydante des coumarines sont similaires à celles signalées pour les flavonoïdes (**Igor, 2002**).

- **Les phénols :**

Il existe une très grande variété de phénols de composés simples comme l'acide salicylique, molécule donnant par synthèse l'aspirine, à des substances plus complexes comme les composés phénoliques auxquels sont rattachés les glucosides. Les phénols sont anti-inflammatoires et antiseptiques. On suppose que les plantes, en les produisant, cherchent à se prémunir contre les infections et les insectes phytophages. Les acides phénoliques, comme l'acide rosmarinique, sont fortement antioxydants et anti-inflammatoires et peuvent avoir des propriétés antivirales.

Parmi les dérivés phénoliques, le resvératrol est le composé qui est le plus étudié. En effet, ce stilbène isolé du raisin possède de fortes propriétés antioxydantes (**Igor, 2002**).

- **Les xanthones :**

Les propriétés pharmacologiques reconnues des xanthones sont essentiellement : leur activité antimicrobienne, leur cytotoxicité et surtout l'inhibition de la monoamine-oxydase (**Sidibé, 2003**).

La manguiférine est une xanthone qui possède la propriété d'inhibition envers la peroxydation des lipides, ainsi que des propriétés de capteurs de radicaux libres contre les anions super oxydes (Amadou, 2005).

IV.4. Méthodes de piégeage des radicaux stables et évaluation de leur capacité de réduction :

IV.4.1. Piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH●) :

Le composé chimique 2,2diphényl-1-picrylhydrazyle (α,α -diphényl- β -picrylhydrazyle) fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure activité antioxydant des composés phénoliques (Brand-Williams et al, 1995). La réduction du radical DPPH par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517nm provoquée par la présence des extraits phénoliques. Le DPPH est initialement violet, se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie. Cette décoloration est représentative de la capacité des composés phénoliques à piéger ces radicaux libres independamment de toutes activités enzymatiques. Ce test permet alors d'obtenir des informations sur le pouvoir antiradicalaire direct de différentes substances phénoliques des extraits (Molyneuxs, 2004).

IV.4.2. Réduction de fer: FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma):

Comme son nom l'indique, cette technique a été développée pour mesurer la capacité du plasma à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}). En effet le Fe^{3+} participe à la formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton. Le Fe^{2+} à un pH faible forme un complexe avec la 2,4,6-tris(2-pyridyl)-1,3,5-s-triazine (TPTZ) de couleur bleue qui a une absorption maximale à 594 nm. Ainsi, la formation de ce complexe indiquera un pouvoir réducteur et déterminera la capacité d'un composé à se comporter comme un antioxydant.

Les valeurs sont obtenues par comparaison de l'absorbance à 594 nm du mélange réactionnel contenant l'échantillon à tester avec celle d'un mélange réactionnel contenant une concentration connue en Fe^{2+} (Benzieet et Strain, 1996 et Pulido et al, 2000). Ce test nous servira à évaluer l'activité anti-oxydante des composés purs uniquement.

IV.5. Activité antioxydante par la méthode de décoloration du bêta-carotène (β -carotene bleaching method) :

Cette technique de spectrophotométrie dans l'ultraviolet a initialement été développée par (Marco, 1968), puis légèrement modifiée par (Miller, 1971). Elle consiste à mesurer, à

470 nm, la décoloration du β -carotène résultant de son oxydation par les produits de décomposition de l'acide linoléique. La dispersion de l'acide linoléique et du β -carotène dans la phase aqueuse est assurée par du Tween. L'oxydation de l'acide linoléique est catalysée par la chaleur (50 °C) de manière non spécifique. L'addition d'antioxydants purs (**Von Gadow et al, 1997**) ou sous forme d'extraits végétaux (**Moure et al, 2000 ; Koleva et al, 2001**) induit un retard de la cinétique de décoloration du β -carotène. Cette méthode est sensible, rapide et simple s'agissant d'une mesure spectrophotométrique dans le visible. Elle présente également l'avantage de pouvoir être couplée à la chromatographie sur couche mince (**Pratt et Miller, 1984**). Après séparation chromatographique, un mélange de β -carotène et d'acide linoléique est pulvérisé sur la plaque, celle-ci étant alors exposée plusieurs heures à la lumière du jour ou aux UV jusqu'à décoloration du fond jaune. Les bandes où la couleur jaune persiste, indiquent la présence de substances antioxydantes.

Cependant, l'oxydation induite par voie thermique est non contrôlée et donc non spécifique, ce qui conduit bien souvent à une variabilité des résultats. Pour contourner ce problème, certains auteurs ont remplacé la chaleur par des agents oxydants conduisant à des résultats plus reproductibles, comme l'AAPH (**Parejo et al, 2003**) ou la lipoxygénase de soja (**Chaillou et Nazareno, 2006**). Cette méthode est d'autre part sujette au parasitage de composés absorbants dans la fenêtre spectrale du β -carotène. (**Frankel, 1998**) a également critiqué l'utilisation d'acides gras libres qui ne représentent pas des modèles lipidiques réalistes. Enfin, l'interprétation des données n'est pas aisée car le β -carotène est lui-même un antioxydant, sensible à l'oxygène de surcroît.

Chapitre V :
Généralités sur Trigonella
foenum-graecum L.

V.1. Aperçu sur la famille des fabacées :

V.1. 1. Origine :

La famille des fabacées est cosmopolite. Elle est particulièrement concentrée dans les régions subtropicales et tempérées chaudes, comme en Afrique du sud ou sur le pourtour méditerranéen. Les régions tropicales abritent essentiellement des espèces ligneuses, tandis que les régions tempérées regorgent d'espèces herbacées.

V.1. 2. Étymologie :

Le nom de cette famille, *Fabaceae*, est formé d'après le nom de genre *Faba*. Or, il se trouve que ce nom de genre n'est plus utilisé, ayant laissé place au genre *Vicia*. Un représentant de l'ancien genre *Faba* (du latin *faba*, fève) est la fève, anciennement *Faba vulgaris*, maintenant *Vicia faba*.

V.1. 3. Classification :

Selon les classifications, la composition de cette famille varie :

- Le nom Fabacées, au sens limité, est adopté en classification classique de Cronquist (1981). Ce groupe est nommé *Fabaceae (stricto sensu)* ou *Papilionaceae*. Cette famille comprend 12 000 espèces réparties en plus de 400 genres. En classification phylogénétique, ce groupe des plantes serait la sous-famille *Faboideae*.
- Le nom Fabacées, au sens large, est adopté en classification phylogénétique APG II (2003) et APG III (2009) (Figure 2). Ce groupe est nommé *Fabaceae (lato sensu)* ou *Leguminosae*. Cette famille comprend 18 000 espèces réparties dans trois sous-familles. En classification classique, ce groupe des plantes serait l'ordre des *Fabales* avec trois familles.

Les trois sous-familles :

- sous-famille *Caesalpinioideae* avec une fleur pseudo-papilionacée ;
- sous-famille *Mimosoideae* avec une fleur régulière ;
- sous-famille *Faboideae* ou *Papilionoideae* avec une fleur typique en papillon (Lejoly, 2005 et Web Master 9).

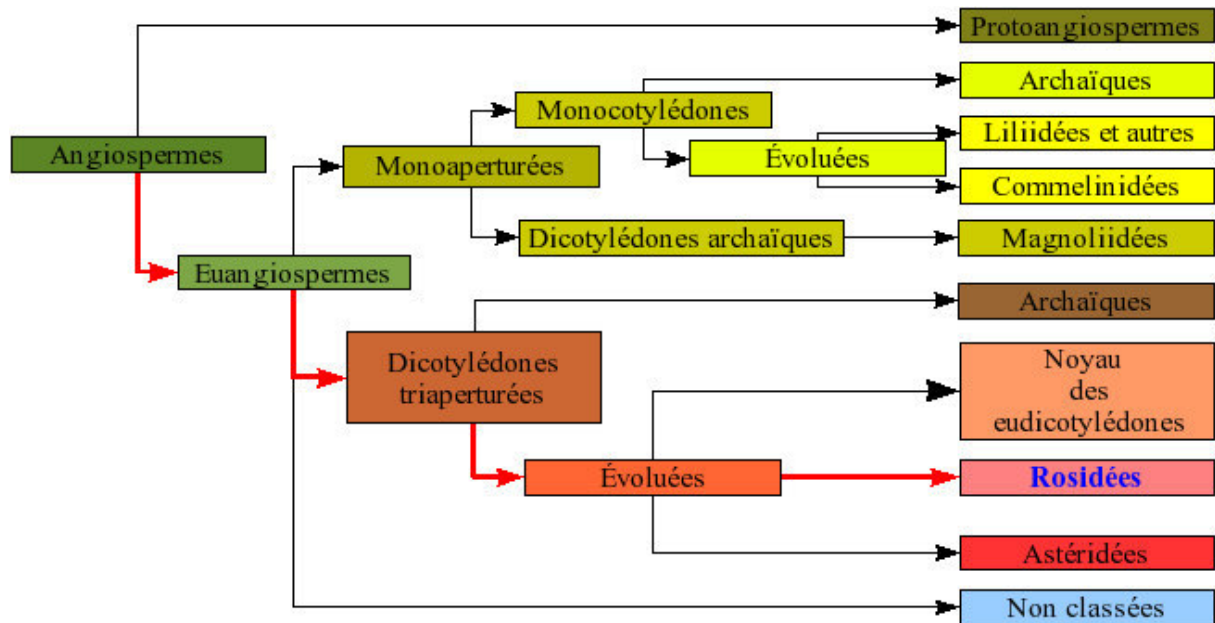


Figure 2 : La classification selon APG III (2009).

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones vraies

Sous-classe : Rosidées

Clade : Fabidées

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

V.1. 4. Botanique :

Les feuilles sont généralement bien développées, généralement alternes mais parfois opposées à verticillées comme chez les *Mirbelieae*, spiralées ou distiques. Pluvineuses ou non, elles sont très majoritairement stipulées, les stipules étant intrapétiolaires, caduques ou persistantes, souvent libres, parfois concrescents ou transformés en écailles, en épines ou développant des glandes.

Les fleurs sont solitaires ou rassemblées en panicules, en fascicules, en racèmes, en épis ou en têtes axillaires et terminales ou opposées aux feuilles comme chez certains membres des *Bossiaeeae*. Elles sont bisexuées, et la pollinisation est entomophile, ornithophile, en particulier chez de nombreuses espèces du sud de l'Australie, ou encore, plus rarement, cheiroptérophilie (chez *Mucunna holtonii* par exemple, un des pétales est concave et sert à refléchir les ultrasons). Enfin, chez certaines espèces de *Medicago*, elle est explosive et

se fait de proche en proche. Elles sont plus ou moins zygomorphes, rarement actinomorphes (certaines *Sophoreae* et *Swartzieae*), parfois resupinées ou calyptrées. Le caractère zygomorphe de la fleur des *Fabaceae* est dû au périanthe ainsi qu'à l'androcée. Elles sont tetracycliques, plus rarement tricycliques. Le receptacle floral développe parfois un gynophore, souvent plus ou moins cupuliforme. Un hypanthium libre est aussi quelquefois présent, comme par exemple chez les *Dalbergieae*.

Le calice est composé de 5 sépales généralement soudés, imbriqués ascendants, le median étant antérieur, fréquemment inégaux, et est parfois bilabié (*Spartium*), persistant ou caduc (*Lamprolobium*), généralement non accrescent. Il est dans certains cas entouré d'un épicalice, qui peut résulter de la soudure des bractéoles, comme chez *Pullenaeae*.

La corolle est caractéristique. Généralement constituée par 5 pétales, parfois moins (*Amorphieae*, *Swartzieae*), libres ou plus ou moins connés, elle est zygomorphe. Le pétale postérieur, dressé (étendard) recouvre les pétales latéraux (ailes), qui recouvrent eux-mêmes les deux pétales antérieurs, plus ou moins soudés en une pièce en forme de carène. La préfloraison est ainsi caractérisée par une imbrication descendante. Chez les *Trifolium*, où les fleurs sont très serrées dans l'inflorescence, l'ensemble des pétales peut se souder ; la corolle devient gamopétale, elle est de plus persistante. Ce schéma est constant, et ne varie qu'un peu dans quelques tribus, comme les *Sophoreae*, les *Swartzieae* et les *Amorphieae*.

Les pétales sont parfois auriculés ou appendiculés. Chez quelques genres, comme *Lens*, *Pisum*, *Vicia* par exemple, les ailes sont connées à la carène. L'androcée comporte 9-10 étamines, parfois moins ou plus, comme chez quelques représentants des *Swartzieae* et des *Sophoreae*, et il est essentiellement diplostémone, plus rarement tri- ou multistémone. Elles sont quelquefois adnées au périanthe (*Dalbergieae*, *Mirbelieae*, *Trifolium*, *Genista*>, ...). Parfois libres et égales, elles sont souvent diversement soudées entre elles et parfois inégales : dans ce cas, on distingue deux configurations principales : l'androcée est monadelphie quand toutes les étamines sont soudées (*Genista*, *Spartium*), et, plus fréquemment, il est diadelphie quand 9 des étamines sont soudées, l'étamine postérieure restant libre. Toutes sont fertiles, exceptés dans quelques genres où l'on trouve des staminodes (*Robynsiophyton*).

Les anthères sont libres ou conniventes, dorsifixes ou basifixes, versatiles ou non, à déhiscence introrse ou latrorse, par des fentes longitudinales. Elles sont généralement biloculaires, parfois uniloculaires par confluence partielle des loges. Elles sont parfois pourvues d'appendages, de nature glanguleux chez *Indigofera* par exemple.

L'ovaire est supère, unicarpellé et uniloculaire, très exceptionnellement biloculaire par apparition d'une fausse cloison (*Mirbelia*). Il est sessile ou stipité. Le carpelle, ventral et généralement allongé, renferme entre 2 et de très nombreux ovules, pendants à ascendants et bisériés, et la placentation est marginale. Parfois arillés, ils sont anatropes, campylotropes ou amphitropes, bitégumentés et crasinucellés. Le style est apical.

Le fruit est un légume charnu ou non, déhiscent ou plus rarement indéhiscent, parfois lomentacées. La déhiscence est double : ventrale, le long de la ligne de suture du carpelle, et dorsale, au niveau de la nervure principale de la feuille carpellaire. La gousse peut, chez certaines espèces, se transformer secondairement. Ces variations sont identiques à celles décrites pour les siliques des Brassicaceae.

Ainsi : la gousse peut devenir pauciséminée, et alors indéhiscente : akène des *Onobrychis*, la gousse, bien que multiséminée, peut perdre ses déhiscences dorsales et ventrales. Elle devient lomentacée. Dans les cas les plus primitifs, les graines sont libérées par pourriture du fruit (*Sophora*), mais également la gousse acquiert une désarticulation secondaire en segments akénoïdes : *Coronilla*, la gousse peut prendre également une fausse cloison longitudinale par introflexion : *Astragalus*, la gousse peut devenir spiralée ou arquée (*Medicago*), vésiculeuse (*Colutea*), ailée et charnue... dans quelques cas, la gousse peut acquérir une morphologie samaroïde ou drupacée.

Les graines, résultant d'un ovule courbe, sont elles mêmes arquées. Elles possèdent un endosperme mince, plus fréquemment absent, et sont presque toujours non ailées. Elles sont riches en amidon, aleurone et huile, la richesse aleuroniques en protéines résulte de la symbiose avec les *Rhizobium*. Selon les genres, c'est l'une ou l'autre de ces substances de réserve qui prédomine : amidon du pois, du haricot, des fèves, huile de l'arachide, protéines du soja... Les cotylédons sont généralement plats, et l'embryon est chlorophyllien et fréquemment courbé. La germination est phanérocotylée ou cryptocotylée.

V.1. 5. Phylogénie des Fabaceae :

Les Fabaceae consistent en un peu plus de 10 tribus dans lesquelles les genres sont groupés selon leur port, la forme des feuilles et les degrés de fusion des étamines. Les principales sont : les Sophoreae sont principalement des arbres ou des arbustes aux feuilles pennées ou simples et aux étamines libres, les Podalyrieae sont principalement des arbustes, mais il y a quelques plantes herbacées, aux feuilles simples ou palmées et aux étamines libres, les Genisteae sont principalement des arbustes, rarement des herbes, aux feuilles simples,

palmées ou pennées, à l'androcée généralement monadelphie, et aux anthères de deux tailles différentes dans chaque fleur chez quelques genres, les Trifolieae sont principalement des plantes herbacées, rarement des arbustes, aux feuilles pennées ou palmées à 3 folioles, à l'androcée généralement diadelphie mais parfois monadelphie, et aux anthères égales en taille, les Loteae sont des plantes herbacées ou des sous-arbrisseaux aux feuilles pennées ou à 3 folioles ou plus, à l'androcée monadelphie ou diadelphie et aux anthères égales en taille, les Galegeae sont des plantes herbacées, rarement des arbres et des arbustes grimpants aux feuilles pennées, généralement avec 5 folioles ou plus, les Hedysareae sont des plantes herbacées, des arbustes, ou des plantes grimpantes ligneuses à l'androcée généralement diadelphie, et au fruit étant un lomentum, les Viciaeae sont des herbes aux feuilles pennées se terminant en pointe ou en vrille, et à l'androcée généralement diadelphie, les Phaseoleae sont des plantes herbacées grimpantes, rarement des arbustes et des arbres aux feuilles pennées, généralement trifoliolées, et à l'androcée habituellement diadelphie, les Dalbergieae sont des arbres ou des arbustes, quelquefois des plantes grimpantes, aux feuilles pennées avec 5 ou plusieurs paires de folioles, une androcée monadelphie ou diadelphie, et aux fruits indéhiscent (Web Master 8).

V.1. 6. Importance économique :

La vaste sous famille des fabacées regroupe de nombreuses plantes utiles recevant des applications industrielles, alimentaires ou encore ornementales (Debelmas et Delaveau, 1983).

L'intérêt agronomique des fabacées provient en premier lieu de leur aptitude à s'associer à des bactéries du sol (*Rhizobiacées*), spécialement la bactérie « *Rhizobium leguminosafum* », pour former des organes symbiotiques racinaires «nodules » au sein desquels ces bactéries transforment l'azote atmosphérique en une forme assimilable par la plante, grâce à quoi, les fabacées peuvent produire en abondance des protéines végétales même en l'absence de fertilisation azotée. Pour cela, elles sont dites plantes améliorantes (Echevin, 1964 et Mylona et *al.*, 1995).

L'intérêt alimentaire découle du fait que les fabacées constituent une source très importante de protéines et lipides et rentrent dans l'alimentation humaine et animale (Guignard, 1994 et Journet, 2001) :

- ✚ Protéagineux tels que le Pois (*Pisum*), la Féverole (*Faba*), le Haricot (*Phoscolus*), le Pois chiche (*Cicer*) et les Lentilles (*Ervum*).

- ✚ Oléo protéagineux comme le Soja (*Soja*) et l'Arachide (*Arachis*).
- ✚ Fourrages tels que les Luzernes (*Medicago*), le Sainfoin (*Onobrychis*) et le Trèfle (*Trifolium*).

L'intérêt industriel résulte du fait que beaucoup d'espèces de cette famille fournissent des produits industriels tels que le *Soja* qui est utilisé à grande échelle dans l'élevage industriel, les *Derris* et les *Lonchocarpus* qui donnent les roténoïdes insecticides (**Guignard, 1994**). On peut citer comme exemple les *Derris*, dont l'espèce *Derris elliptica* Benth. est utilisée contre les parasites des animaux domestiques, des habitations et des végétaux (**Bézanger-Beauquesene et al., 1986**).

D'autres espèces produisent des substances colorantes, et d'autres sont utilisées en parfumerie comme *Pterocarpus santalinus* (**Arnone et al., 1977**). Certaines espèces sont ornementales tels que le Robinier, faux Acacia, Cytise, Glycine, ... etc (**Guignard, 2004**).

L'intérêt pharmaceutique des fabacées est à son tour très important vu le nombre élevé d'espèces figurant dans les pharmacopées et donnant de nombreux produits utilisables en thérapeutique (**Bézanger-Beauquesene et al., 1986** et **Bruneton, 1993**). Dans ce qui suit, nous allons citer quelques exemples d'espèces de très grande importance alimentaire et ayant des propriétés médicinales (**Mahmoudi, 1980** et **Haieb et al., 1999**) :

- ✚ *Trigonella foenum graecum* (fenugrec)
- ✚ *Cicer arietinum* (pois chiche)
- ✚ *Vicia faba* (fève)
- ✚ Les lentilles
- ✚ *Ceratonia siliqua* dont le nom vernaculaire est « Kharrouba »
- ✚ *Arachis hypogaea* L. (Arachide)
- ✚ *Glycine soja* Siebold et Zucc.

V.2. Aperçu sur *Trigonella foenum-graecum* L. :

V.2. 1. Etymologie :

Le fenugrec est une plante annuelle, herbacée, de la famille des Fabaceae du nom arabe l'helba (**Harchane et al., 2012**). Son nom botanique est *Trigonella foenum-graecum*, elle est aussi appelée : trigonelle, sénegrain, trigonelle fenugrec, etc. Sa semence est nommée graine joyeuse. Le nom du genre *Trigonella* vient du latin *trigonus* signifiant triangle, par allusion à la forme prismatique des graines du fenugrec. Le mot fenugrec vient du latin *foenum graecum* qui signifie « foin grec ».

V.2.2. Origine :

La région méditerranéenne est connue pour être l'habitat naturel du genre *Trigonella*. Les espèces sauvages du genre existent dans les pays d'Europe, l'Afrique du Nord, les îles Canaries, l'Afrique du Sud, l'Asie centrale et de l'Australie (**Wichtl et Anton, 2003**). Fréquemment cultivée, elle est souvent sub-spontanée en Algérie (**Quezel et Santa, 1962**).

V.2. 3. Botanique :

Les tiges de fenugrec sont dressées, creuses, avec anthocyanine foncée ou vert complet. Les tiges, en fonction de la variété, la fertilité des sols et de la densité du peuplement, sont soit d'une seule ramification sans pousses secondaires, ou de plusieurs ramifications où se posent de nombreuses pousses de la base et plus les nœuds (**Chabbi, 2010**). L'épanouissement des fleurs de fenugrec, selon la variété, le climat et la saison des semences commence environ 35-40 jours à partir de l'ensemencement. Elles sont assises dans l'aisselle des feuilles le plus souvent lié (deux à deux), plus rarement solitaires. Il existe deux types de fleurs : des fleurs cléistogames (fermés) et des fleurs anéictogames (ouverts) (**Petropoulos, 2002**). Ses feuilles ovales et dentées (**Web Master 10**) et ses gousses allongées, glabrescentes, longues de 7-10 cm, progressivement rétrécie en beclong de 3-5 cm (**Quezel et Santa, 1962**) (Tableau 3).

Tableau 3 : Situation botanique de l'espèce *Trigonella foenum-graecum* L. (**Ghedira et al., 2010** et **Web Master 13**).

Règne : Plantae	Sous-règne Tracheobionta
Embranchement : Magnoliophyta	Sous-embranchement : Magnoliophytina
Classe : Magnoliopsida	Sous-classe : Rosidea
Ordre : Fabales	Famille : Fabaceae
Genre : <i>Trigonella</i> L.	Espèce : <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.

Le développement de la graine de cette plante commence à la fécondation de l'ovule dans le sac embryonnaire, par l'un des pollens male du tube nucléique, et la fusion des deux noyaux polaires dans le sac embryonnaire avec l'autre tube pollinique. Le résultat est respectivement la formation de l'embryon et de l'albumen. Le développement de la graine de fenugrec dure environ 120 jours après l'anthèse (**Campbell et Reid, 1982**). L'accumulation de galactomannanes dans l'endosperme commence environ 30 jours après l'anthèse et se

termine à environ 55 jours après l'anthèse. Juste avant le poids frais de la semence commence à baisser (**Campbell et Reid, 1982**).

V.2. 4. Germination des graines :

Les graines du Fenugrec germent à environ 10 h après le début de l'imbibition de la graine à 25°C dans l'obscurité (**Reid et Bewley, 1979 et Spyropoulos et Reid, 1985**).

V.2. 5. Génétique de la plante :

La plante est auto-pollinisée, mais il existe des possibilités de croisement naturel. La variation inhérente au fenugrec est immense et il est cultivé aujourd'hui dans un large éventail des conditions climatiques. Le Fenugrec en fonction de Darlington et Wylie (1945) a $2n = 2x = 16$ chromosomes, tandis que Raghuvanshi et Joshi (1968) ont enquêté sur la présence de chromosomes B.

V.2.6. Parties utilisées :

La partie utilisée est essentiellement les graines qui ont un intérêt thérapeutique. Pour les récupérer, les gousses (le fruit), récoltées durant l'automne, sont mises à sécher puis sont battues afin que les graines en sortent. Les graines sont alors séchées et broyées (**Web Master 14**).

V.2.7. Utilisations traditionnelles :

Le fenugrec est utilisé depuis de longue date dans les pays arabes (**Web Master 15**). Dans le Maghreb il est utilisé dans le traitement des plaies, diarrhées, acné, déshydratation, anémie, bronchite, rhumatismes, maux d'estomac, hypertension artérielle, constipation soit sous forme de décoctions, soit de graines réduites en farines et mélangées avec le miel (**Web Master 15**). Il est aussi reconnu pour combattre et réduire la chute de cheveux (**Web Master 16**). Cette plante est également consommée comme fortifiante par les femmes après l'accouchement. Les graines ont des propriétés nutritives importantes et des effets hypocholestérolémiants, elles sont traditionnellement utilisées comme stimulant de l'appétit et pour la prise de poids (**Mekkiou, 2005 et Salhi et al., 2010**).

V.2.8. Nutrition :

Souvent utilisé dans la cuisine orientale, le fénugrec entre dans la fabrication de mélange d'épices aromatiques, sous différents noms, comme le ras-el-hanout marocain. Le fenugrec peut aussi être incorporé au pain comme en Egypte et en Ethiopie (**Web Master 16**). Dans des pays où la malnutrition est endémique, le fenugrec agit aussi en tant qu'inhibiteur de

l'absorption du fer, pouvant entraîner des anémies alors que l'apport en fer est adéquat (Adish, 1999). La partie la plus utilisée est la graine. Quant aux jeunes feuilles, de saveur amère, elles sont mangées en salade (Web Master 17).

V.2.9. Phytochimie :

Le fenugrec compte parmi les plus anciennes plantes médicinales et culinaires. Les données de la chimie ont montré que les graines contiennent des protides, une huile riche en acides gras insaturés et en phytostérols, des glucides, des saponosides stéroïdiques, des alcaloïdes dont la trigonelline, une huile essentielle responsable de l'odeur de la plante, du mucilage, des glucides, des vitamines (A, B1 et C), du phosphore, du chrome et du calcium (Billaud et Adrian, 2001 et Skalli, 2006). Les caractéristiques physiques et nutritionnelles moyenne pour 100 g de graines de fenugrec figurent dans le tableau 4 (Web Master 16).

Tableau 4 : Caractéristiques physiques et nutritionnelles moyenne pour 100 g de graines de fenugrec (Web Master 16).

Constituants	Valeurs nutritionnelles
• Humidité	13 à 14g
• Glucides	7 à 8 g
• Sucres totaux	2,5 à 3g
• Protéines	28 à 32 g
• Lipides	7 à 8 g
• Lipides saturés	2 à 1,6g
• Fibres	23,5 à 25,5 g
• Cholestérol	3,8 à 4,3 mg
• Calcium	140 à 160 mg
• Sodium	28 à 32 mg
• Vitamine A	22 à 26 µg
• Vitamine C	0 µg
• Cendres	2,9 à 3,3g
• Fer	9 à 12 mg
• Valeur énergétique	200 à 240 Kcal 910 à 950 KJ

V.2.10. Pharmacologie :

Les graines de fenugrec sont constituées de près de 50% de fibres dont 20% de mucilage. Un certain nombre d'études indiquent qu'elles diminuent la glycémie à jeun et postprandiale chez des patients diabétiques. Dans une étude en double aveugle conduite durant deux mois portant sur 25 sujets présentant un diabète de type II, la prise quotidienne de 1 g de graines de fenugrec a significativement amélioré certaines mesures de glycémie et la réponse à l'insuline (**Gupta, 2001 et Web Master 18**).

Lors des études expérimentales et cliniques, les graines de fenugrec ont révélé des propriétés anticholestérolémiante, hypoglycémiant (Ali et *al.*, 1995 et Baquer et *al.*, 2011), stimulante neuromusculaire (Lejoly, 2005) et du métabolisme général, orexigène, tonifiante, stimulante de la digestion, favorisant la prise de poids (Harchane et *al.*, 2012), apaisante en cas de fièvre, hypolipidémiant (Chevassus et *al.*, 2007), combattant l'anémie grâce au fer (Web Master 15), combattant la frigidité et l'impuissance. Elles se sont également avérées efficaces pour stimuler l'appétit et la sécrétion d'insuline (Brochard, 2013).

Partie Expérimentale

Chapitre VI :
Présentation de la zone
d'étude

VI.1 Présentation de la zone d'étude :

Notre zone d'étude est représentée par la station de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique I.N.R.A de Lamtar qui se trouve dans la partie Sud Ouest de la plaine de Sidi Bel Abbés.

La plaine de Sidi Bel Abbés est située à environ 450 m d'altitude et elle est limitée par (Figure 4) :

- Les monts de Tessala au Nord ;
- Les reliefs élevés de Ben Badis à l'Ouest ;
- Les hauteurs de Ténira-Sidi Ali Benyoub au Sud ;
- Les hauteurs de la plaine d'Aghris à l'Est.

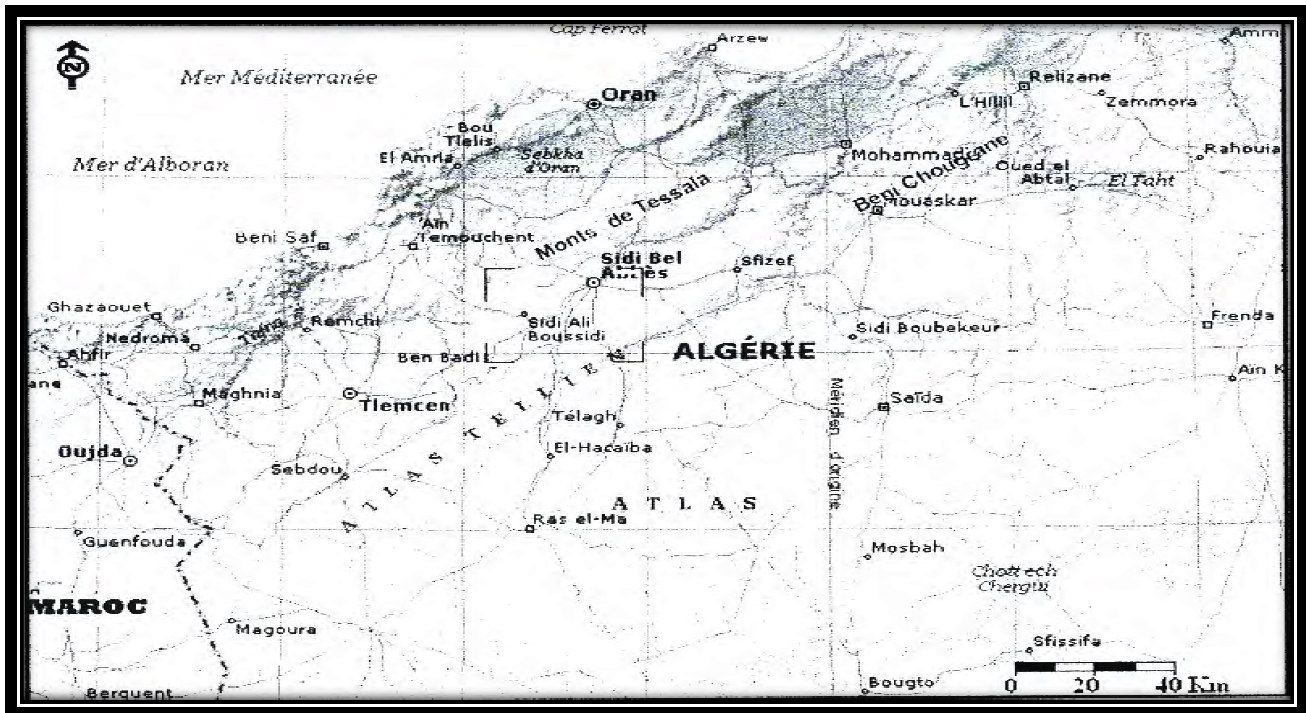


Figure 4 : Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbés (Yousfi, 2008).

L'agro-système de cette plaine attribué à la wilaya de Sidi Bel Abbés une vocation agricole.

La plaine de Sidi Bel Abbés est traversée du Sud - Ouest au Nord - Est par l'Oued de Mekerra, principale émissaire du réseau hydrographique de la région, qui prend sa source de Ras El Ma et qui a contribué à la formation des sols alluviaux de la plaine.

La station I.N.R.A de Lamtar, située à 25 Km Ouest du chef lieu de la wilaya de Sidi Bel Abbés, couvre une superficie totale de 10 ha 94 ares dont 10 ha sont des Sols Agricoles utiles (Figure 5).

Chapitre VI : Présentation de la zone d'étude

Faisant partie de l'agro-système de la plaine, la station est caractérisée par des sols alluviaux peu profonds, de nature limono-argileuse et de structure grumeleuse.

Le climat de la région de la zone d'étude se caractérise par :

- Une pluviométrie faible et irrégulière n'excédant que rarement les 400 mm dont 70 % survenant entre l'automne et l'hiver.
- Une insolation élevée (2683 heures / an).
- Une évaporation intense (1730 mm/an).
- Une période gélive critique allant de décembre au mois d'avril.
- Une période sèche assez longue de 5 mois et demi.
- Un régime xéothermique de type thermo-méditerranéen.
- Un régime hydrique caractérisé par un écoulement temporaire de l'eau induisant une irrigation obligatoire des cultures (**Derbal, 2015**).

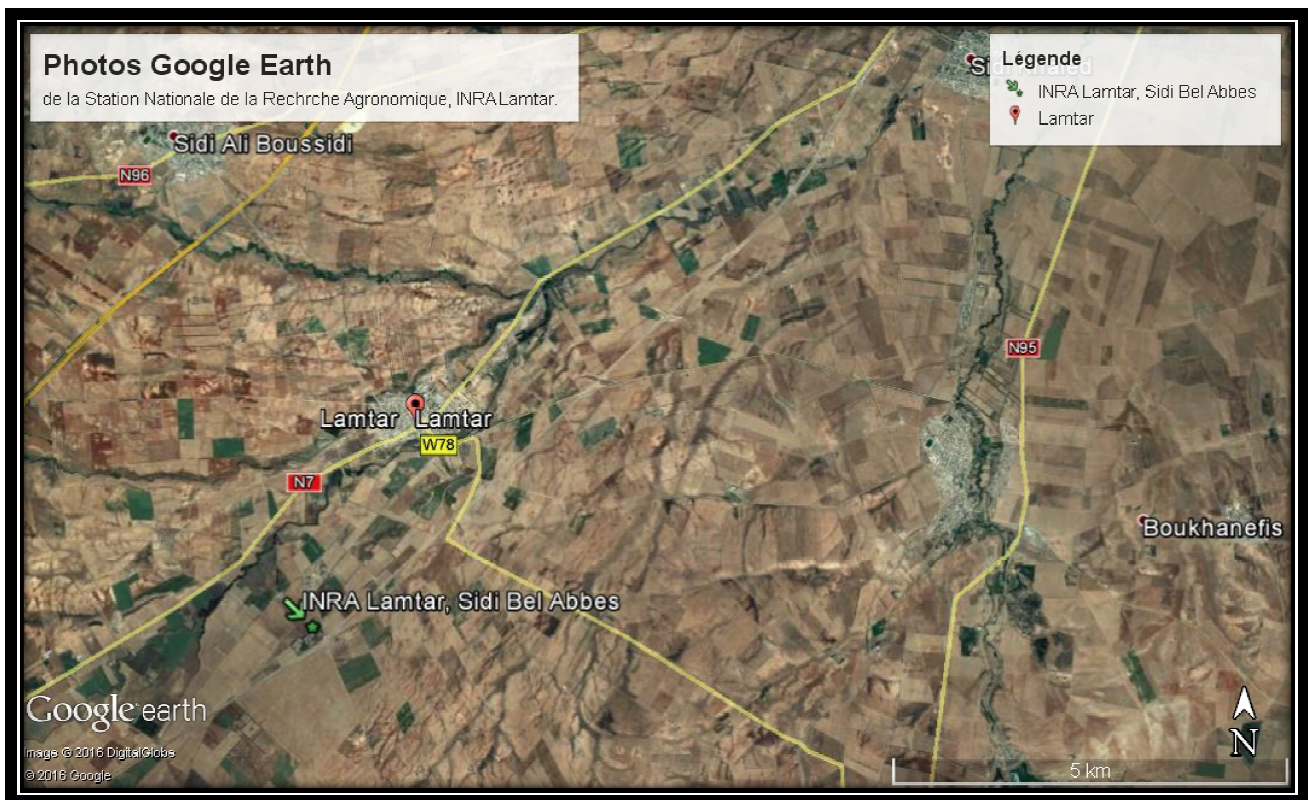


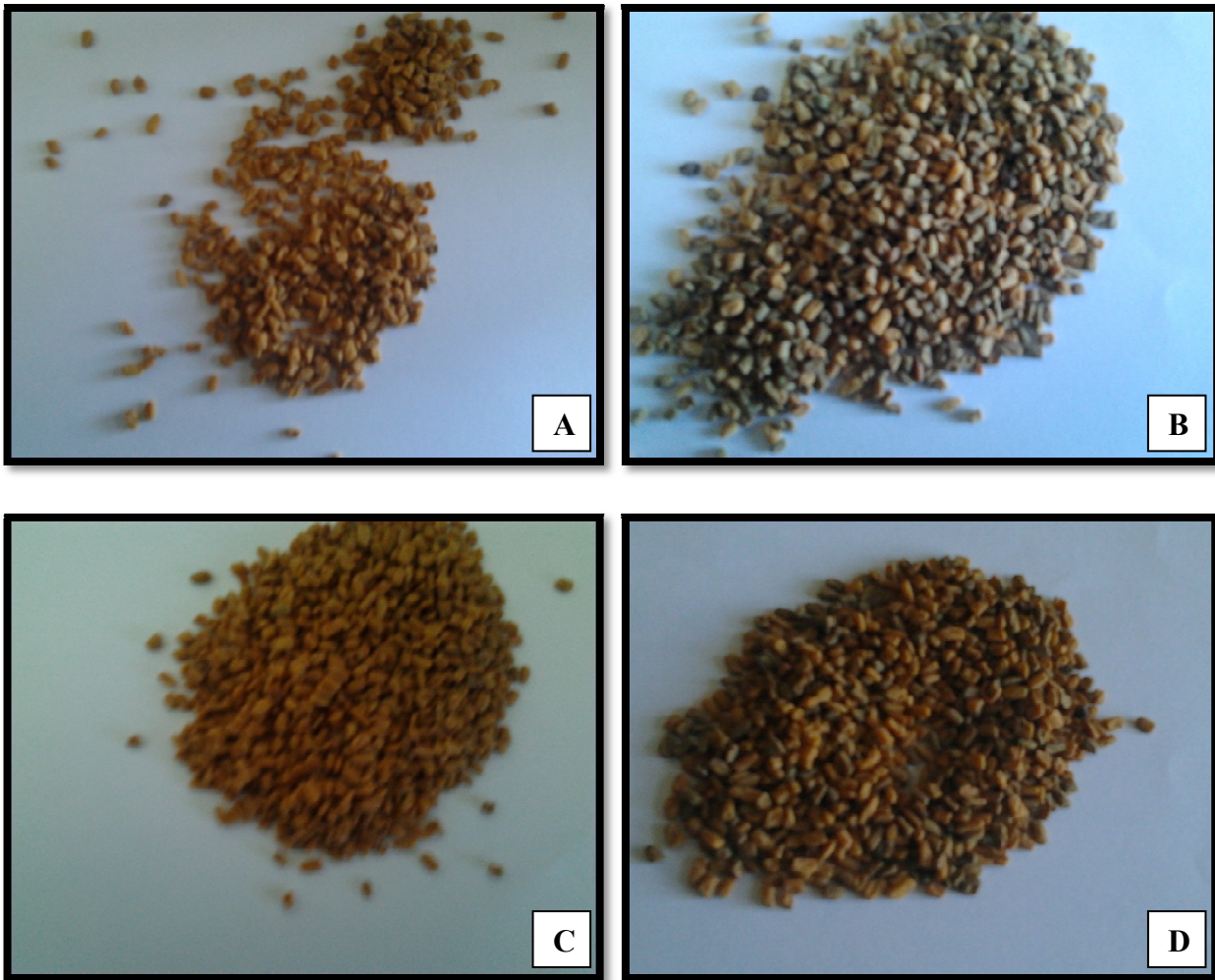
Figure 5 : Localisation géographique de la station INRA Lamtar (Google Earth 2016, modifiée)

Chapitre VII :
Matériels & Méthodes

VII.1 Matériels :

Les graines de quatre (04) variétés de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) de notre étude sont cultivées dans les mêmes conditions agro-écologiques durant la campagne agricole 2013-2014 dans l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA) de Lamtar de la wilaya de Sidi Bel Abbes. Il s'agit des variétés codées : 0057, 1063, 1138, 2087 (Planche I).

Planche I : Graines des quatre variétés de fenugrec utilisées dans l'étude (Cliché RAHMANI M, 2013).



A : La variété 0057, **B :** La variété 1063, **C :** La variété 1138, **D :** La variété 2087.

VII.2 Objectif et méthodes d'étude :

Dans notre travail de recherche, afin de mettre en valeur les plantes fourragères et médicinales, nous avons mené une étude qui consiste, en plus de la détermination des constituants des huiles essentielles par CG/SM, de déterminer et comparer les teneurs des principaux composés

issus du métabolisme primaire et de mise en évidence l'activité anti-oxydante des composés phytochimiques des graines de quatre (04) variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

L'identification botanique de l'espèce a été identifiée par Monsieur HAMOU Mimoun (Directeur de la station INRA Lamtar, Sidi Bel Abbes, Algérie) et confirmée par la clé de détermination, la flore de l'Algérie (**Quézel et Santa, 1963**).

La méthodologie adoptée dans ce travail est divisée en plusieurs axes distincts :

- Le premier axe de notre recherche a été commencé d'abord, par une étude agro-physiologique renferme d'une part l'évaluation de rendement en graines de l'espèce étudiée et d'autre part les performances germinatives de ces graines pour déterminer la température optimale de la germination des graines de fenugrec. Les essais de germination ont été réalisés au laboratoire dans une étuve à différentes températures.
- Le deuxième axe de ce travail, consiste à une analyse physico-chimique des graines de fenugrec.
- Le troisième axe de cette recherche est purement phytochimiques, qui consiste à :
 - ✓ Une extraction des huiles essentielles des quatre variétés de fenugrec étudiées ;
 - ✓ Une extraction par le méthanol et quantification des phénols totaux, des flavonoïdes et des tanins, par la méthode de spectrophotométrie des quatre différentes variétés étudiées ;
 - ✓ L'identification et la caractérisation de la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles des quatre variétés de fenugrec ont été déterminées par la méthode de CPG/SM.
- Le quatrième axe de cette étude correspond à la valorisation des extraits méthanoliques des graines de l'espèce *Trigonella foenum-graecum* L. qui consiste à :
 - ✓ L'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines de l'espèce étudiée, a été évaluée par le piégeage du radical libre DPPH.

VII.2.1 Etude agro-physiologique :

VII.2.1.1 Evaluation du rendement en graines :

L'évaluation du rendement en graines est faite sur les quatre variétés de (*Trigonella foenum-graecum* L.), connue par son nom commun fenugrec. Il s'agit des variétés codées: 0057, 1063, 1138, 2087. La mise en place du dispositif expérimental sur terrain a été réalisée le mois de février 2013 et l'expérimentation de cette culture a duré jusqu'à la fin du mois de juin 2013, sur le terrain agricole de la station de INRA Lamtar (wilaya de Sidi Bel Abbes) dans les mêmes conditions agro-écologiques. Les résultats obtenus ont été traités par l'analyse de la variance

ANOVA, au seuil de 5%, pour comparer les différents paramètres observés au cours de cette étude.

VII.2.1.2 Etude de la germination des graines de fenugrec :

- **La sélection et la préparation des graines :**

Les graines sélectionnés sont saines, préalablement désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 1 %, rincées deux fois à l'eau distillée pendant cinq minutes. Elles sont ensuite disposées dans des boîtes de Pétri en verre de 9 cm de diamètre, garnies de deux couches de papier filtre humectées avec 4 cm³ d'eau distillée. Pour chaque variété, chaque essai porte sur 75 graines répartis sur 3 répétitions de 25 semences chacune (Figure 6).



Figure 6 : Les graines désinfectées et déposées dans des boîtes de Pétri (Cliché RAHMANI M, 2014).

- **Le déroulement des essais de germination :**

Les essais de germination ont été réalisés au laboratoire, dans une étuve réglée à différentes températures (05°C, 20°C, 25°C et 30°C).

- **L'expression des résultats :**

Les résultats des essais de germination ont été exprimés par :

- **La capacité de germination (CG) :**

C'est le pourcentage de germination maximal, obtenu dans nos conditions expérimentales (Mazliak, 1982).

- La vitesse de germination (coefficient de vélocité) (CV) :

La vitesse de germination a été exprimée par le coefficient de vélocité (CV) proposé par **KOTOWSKI, 1962**, et qui s'exprime de la façon suivante :

$$CV = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n} \times 100.$$

N_1 : Le nombre de graines germées au temps T_1 .

N_2 : Le nombre de graines germées entre le temps T_1 et T_2 .

- Le temps moyen de germination (TMG) :

Le temps moyen de germination c'est l'inverse du coefficient de vélocité.

$$T_m = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

- Le temps de latence (TL) :

Le temps de latence c'est le temps nécessaire pour avoir les premières graines germées.

• Les traitements statistiques :

Les comparaisons entre les capacités de germination, les vitesses de germination, les temps moyens de germination et les temps de latence de germination ont été effectués par le test de l'analyse de la variance à un seul facteur (A.N.O.V.A) (comparaison de plusieurs moyennes) (**Ramousse et al., 1996**).

VII.2.2 Analyse physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques des graines de fenugrec ont été effectuées au niveau de laboratoire central BABA Ali, institut technique des élevages, Alger. Ces analyses ont été traitées par les méthodes standards de l'Association Officines des Analyses chimiques (**AOAC, 1990**) selon les normes AFNOR. Les paramètres déterminés sont :

✚ Matière sèche : La teneur en humidité et en matières sèches par conséquent, a été déterminée comme décrit par (**AOAC, 1990**) (annexe I).

✚ Matières minérales : La détermination des minéraux a été réalisée par la digestion des échantillons avec l'acide et analysée suivant les procédures décrites par l'**AOAC (1990)** (voir annexe II).

✚ Protéines brutes : La teneur totale en azote d'un échantillon de graines broyées 1 g a été déterminée selon la méthode micro-Kjeldahl et le facteur de conversion de 6,25 a été utilisé pour calculer la teneur en protéines brutes (**AOAC, 1990**) (annexe III).

✚ Cellulose brute : Le dosage de la cellulose brute a été obtenu après traitement successivement de la matière végétale avec l'acide sulfurique et l'hydroxyde de potassium par le procédé de Kurschner et Hoffner (**Lazouni et al., 2007**) (annexe IV).

✚ Lipides : La teneur en lipides a été estimée par la méthode de Bligh et Dyer, en utilisant un mélange solvant de chloroforme et de méthanol (2: 1 v / v) (**Bligh et Dyer, 1959**) (annexe V).

✚ Calcium : Le calcium a été déterminé en utilisant un spectrophotomètre d'absorption atomique (**AOAC, 1990**) (annexe VI).

✚ Phosphore : Le phosphore a été déterminé par la méthode colorimétrique utilisant le procédé de l'acide vanadomolybdophosphorique (**AOAC, 1990**) (annexe VII).

VII.2.3 Etude phytochimique :

La méthode d'extraction optée est celle du liquide-liquide. Ainsi, 2 g de poudre de graines sèches broyées ont été placés dans un Erlenmeyer de 20 ml de méthanol (96%) pendant 24 heures. Après filtration (en utilisant du papier wattman 1 ml), les solutions méthanoliques ont été évaporées sous pression réduite dans un évaporateur rotatif de type Buchi R- 200 à une température de 40° C. Les résidus secs pesés ont été repris par 3 ml de méthanol (**Matkowski et Piotrowska, 2006**) (

Figure 7).



Figure 7: Macération des graines de quatre variétés de fenugrec dans le méthanol (96%) (Cliché, RAHMANI M, 2014)

VII.2.3.1 Dosage des phénols totaux :

Le dosage des polyphénols totaux par le réactif de Folin-Ciocalteu a été décrit par **Singleton et al. 1965**. Le réactif de Folin-Ciocalteu d'une couleur jaune est composé par un mélange de deux acides : l'acide phosphotungstique (H₃PW₁₅O₄₃) et l'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀). En présence des PT dotés d'une capacité réductrice lors de la réalisation du test, ces deux acides vont être réduits en deux substances chromogènes qui donnent au mélange une couleur bleu. L'oxyde de tungstène et de molybdène issus successivement de l'acide phosphotungstique et de l'acide phosphomolybdique génèrent une coloration bleu proportionnelle à la concentration de PT présents dans le mélange (**Ribéreau-Gayon, 1968**). Le spectre de la lecture est compris entre 725 et 765 nm (**Boizot et al., 2006**).

Un volume de 200 µl de l'extrait brut méthanolique est introduit dans des tubes à essai, le mélange de (1ml du réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois et 0,8 ml de carbonate de sodium à 7.5%) est additionné. Les tubes sont agités et conservés durant 30 minutes à la température ambiante. L'absorbance est mesurée à 765 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre Jenway 6504 UV/VIS.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique comme contrôle positif (Figure 8).

Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait méthanolique. (mg GAE/g EM).

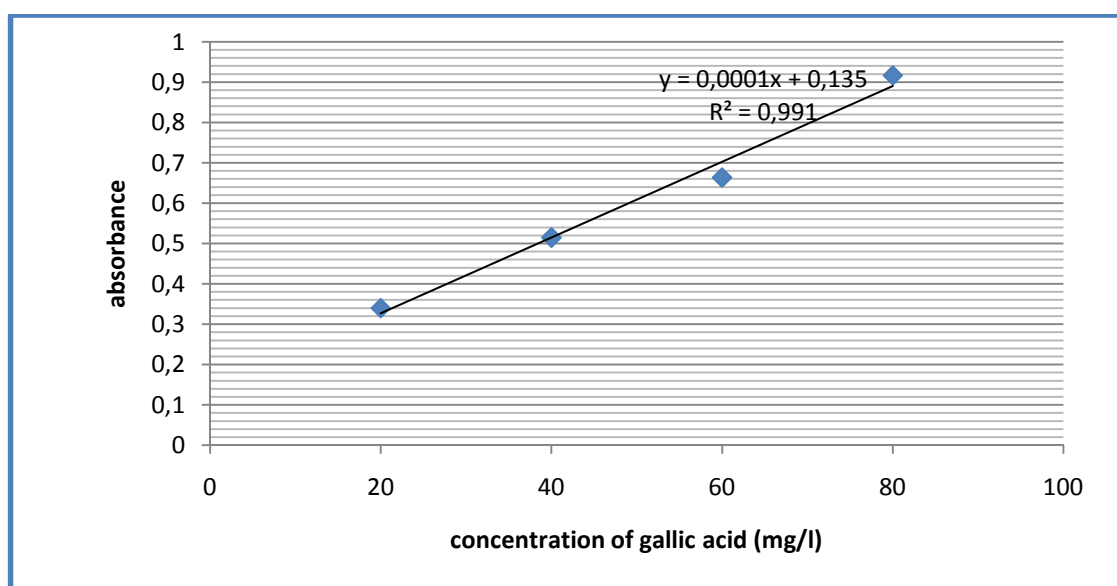


Figure 8: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

VII.2.3.2 Dosage des flavonoïdes :

La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode adaptée par **Zhishen et al., 1999** avec le trichlorure d'aluminium et la soude. Le trichlorure d'aluminium (AlCl_3) et la soude (NaOH) utilisés lors de cette expérience vont former des liaisons avec les groupements hydroxyles des flavonoïdes aboutissant à la génération d'une coloration jaune (AlCl_3) et rose (NaOH). La solution devient rosâtre en fin d'expérience et absorbe dans le visible à 510 nm.

500 μl de l'extrait brut méthanolique des graines broyées convenablement dilué sont mélangés avec 1500 μl d'eau distillée, suivis de 150 μl de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5%. Après 5 min, 150 μl de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10%(m/v) est rajouté au mélange. Après 6 min d'incubation à la température ambiante, 500 μl d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4% est additionné. Immédiatement, le mélange est complètement agité afin d'homogénéiser le contenu. L'absorbance de la solution de couleur rosâtre est déterminée à 510 nm contre un blanc. Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine comme contrôle positif (Figure 9).

La teneur en flavonoïdes totaux des extraits de plante étudiée est exprimée en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme d'extrait méthanolique (mg EC/g EM).

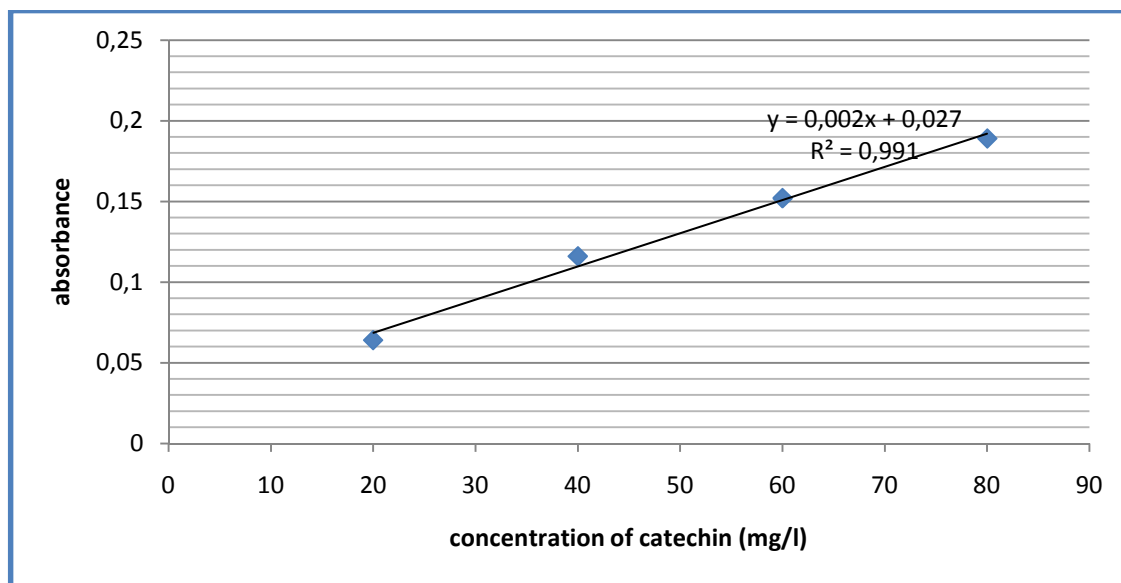


Figure 9: Courbe d'étalonnage de la catéchine.

VII.2.3.3 Dosage des tanins :

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide (**Price et al., 1978**). Cette méthode est basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm. La

réactivité de la vanilline avec les tanins n'implique que la première unité du polymère. Les quantités des tannins sont estimées en utilisant la méthode de vanilline décrite par **Julkunen-Titto, 1985**).

Un volume de 50 µl de l'extrait brut est ajouté à 1500 µl de la solution vanilline/méthanol (4%, m/v) puis mélangé à l'aide d'un vortex. Ensuite, 750 µl de l'acide chlorhydrique concentré (HCl) est additionné. Le mélange obtenu est laissé réagir à la température ambiante pendant 20 min. L'absorbance est mesurée à 550 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre Jenway 6504 UV/VIS.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine comme contrôle positif (Figure 10).

Les résultats de la plante étudiée sont exprimés en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme d'extrait méthanolique (mg EC/g EM).

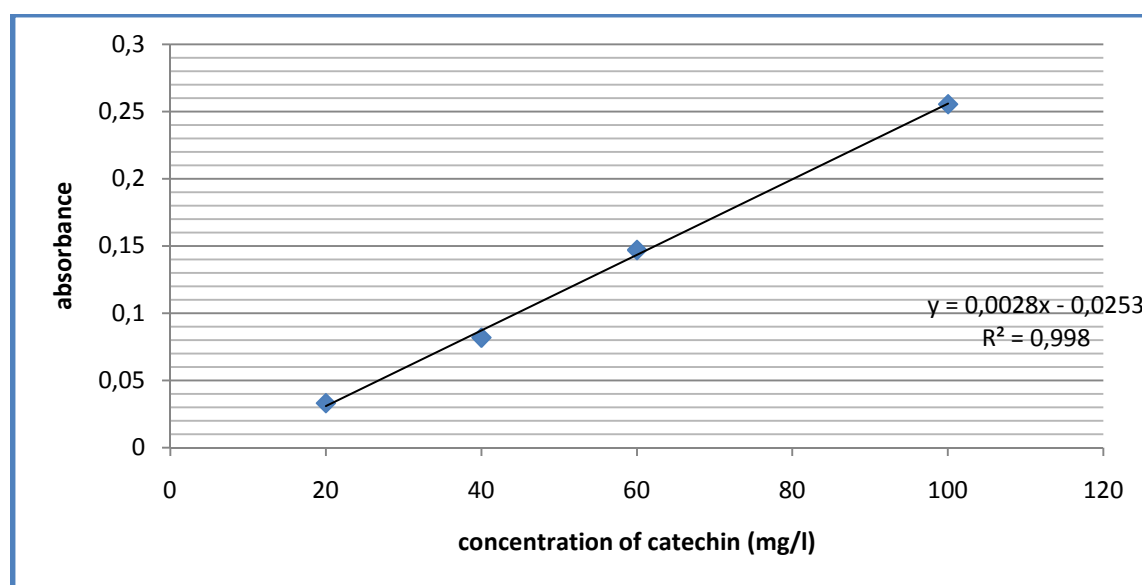


Figure 10: Courbe d'étalonnage de la catéchine.

VII.2.3.4 Détermination de l'activité anti oxydante des composés phénoliques extraits des graines du *Trigonella foenum-graecum* L. :

- Réaction entre le radical libre DPPH et l'antioxydant :

Le composé chimique 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle (α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyle) fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydante des composés phénoliques. Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote (Figure 11). Du fait de cette délocalisation, les molécules du radical ne forment pas des dimères, donc le

DPPH reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire. La délocalisation provoque aussi la couleur bleue bien caractéristique de la solution de DPPH. La mesure de l'efficacité d'un antioxydant se fait en mesurant la diminution de la coloration bleu-violette, due à une recombinaison des radicaux DPPH, mesurable par spectrophotométrie à 515-518 nm.

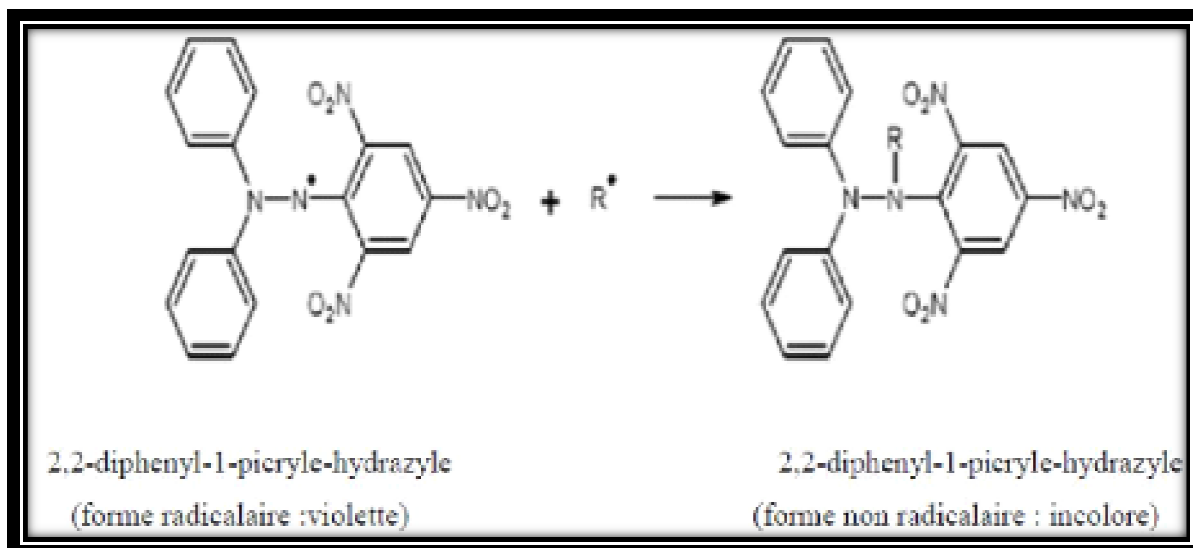


Figure 11 : Structure de DPPH· (radical) et sa réduction par l'antioxydant AH

- Evaluation du potentiel anti-radicalaire :

Pour l'évaluation de l'activité anti-oxydante, une approche est appliquée : d'une part, la détermination de la réduction relative du radical DPPH à un temps de référence (par exemple après une heure du début de la réaction) ou la détermination de la quantité d'antioxydant nécessaire pour réduire 50 % de DPPH et d'autre part, le suivi de la cinétique de la réduction (Sanchez-Moreno et *al.*, 1998 et Benhamou et *al.*, 2009).

Un volume de 50 µl de différentes concentrations de chaque extrait est ajouté à 1,950 ml de la solution méthanolique du DPPH (0,025 g/l) fraîchement préparée. En ce qui concerne le contrôle négatif, ce dernier est préparé en parallèle en mélangeant 50 µl du méthanol avec 1,950 ml d'une solution méthanolique de DPPH à la même concentration utilisée. Après incubation à l'obscurité pendant 30 min et à la température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

- **Expression des résultats :**
 - **Calcul des pourcentages d'inhibitions :**

Nous calculons ainsi les pourcentages d'inhibition par la formule suivante :

$$I \% = ((Ac - At) / Ac) \times 100$$

Ac : absorbance du contrôle ;

At : absorbance du test effectué

- **Le calcul des IC50 :**

IC50 ou concentration inhibitrice de 50 % (aussi appelée EC50 pour Efficient concentration 50), est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50 % de radical DPPH. Les IC50 sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés, les pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des fractions testées.

- **L'étude statistique :**

Les résultats expérimentaux sont exprimés en moyenne $\pm$ Ecart-Type. Toutes les mesures ont été répétées trois fois. La version du logiciel Statistica 8.1 a été utilisée pour le traitement des données. Une analyse de variance à un facteur (ANOVA1) a été réalisée pour évaluer l'effet de l'altitude et de l'exposition sur le niveau de polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux et les tannins condensés. Les différences ont été considérées comme significatives lorsque les valeurs de p étaient inférieures à 0,05.

VII.2.3.4 Extraction des huiles essentielles :

- **La méthode d'extraction :**

Les huiles essentielles sont des substances extrêmement puissantes, pouvant concentrer jusqu'à 100 fois certains principes actifs de la plante (**Bruneton, 1999**). Il y a plusieurs méthodes d'extractions des H.E. L'hydrodistillation représente la méthode usuelle. C'est une technique d'extraction dans laquelle le solvant est de la vapeur d'eau. Elle peut être utilisée pour extraire des espèces insolubles dans l'eau.

L'extraction des huiles essentielles est effectuée au niveau du laboratoire écodéveloppement des espaces de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Sidi Bel Abbès en collaboration avec le laboratoire du centre de mesure de l'Université de Sidi Bel Abbès. Dans notre travail, la méthode adoptée pour l'extraction des huiles essentielles des graines de quatre variétés de fenugrec (0057, 1063, 1138 et 2087) est l'hydrodistillation à l'aide d'un dispositif de type Clevenger. Trois répétitions ont été réalisées pour chacun des quatre échantillons.

- Principe de l'hydrodistillation :

Le principe de l'hydrodistillation est le suivant (**Bagard et al., 2008**) :

✚ La substance contenant l'espèce volatile à extraire est mélangée avec de l'eau et l'ensemble est porté à ébullition.

✚ La phase gazeuse, contenant l'espèce volatile et la vapeur d'eau, arrive en haut de la colonne, passe dans le réfrigérant et se condense.

✚ Le résultat de l'hydrodistillation est le distillat. Ce dernier comporte alors deux phases liquides, que nous pouvons séparer par décantation.

- Description de la technique d'hydrodistillation :

Les graines concassées de *Trigonella foenum-graecum* L. sont introduites dans un ballon avec deux (2) litres d'eau pendant 3 heures. La mise en marche du chauffage se fait à douce ébullition. Le réfrigérant est mis en fonction en réglant le débit d'eau. La vapeur condensée obtenue conduit à une phase organique (huile essentielle) qui est séparée de l'hydrolat par décantation. La récupération de cette huile essentielle (pour l'analyse chromatographique) est effectuée à l'aide d'un rota vapeur. Afin d'éliminer le peu d'eau susceptible d'être retenue dans la phase organique, on fait agir un déshydratant (sulfate de magnésium anhydre) : C'est l'opération de séchage. On filtre ensuite pour ne recueillir que la phase organique exempte d'eau. L'huile essentielle ainsi obtenue est mise dans des piluliers en verre ambrée et conservée au réfrigérateur à 4°C jusqu'à l'analyse. Le montage de l'hydrodistillation est représenté ci-dessous (Figure 12).

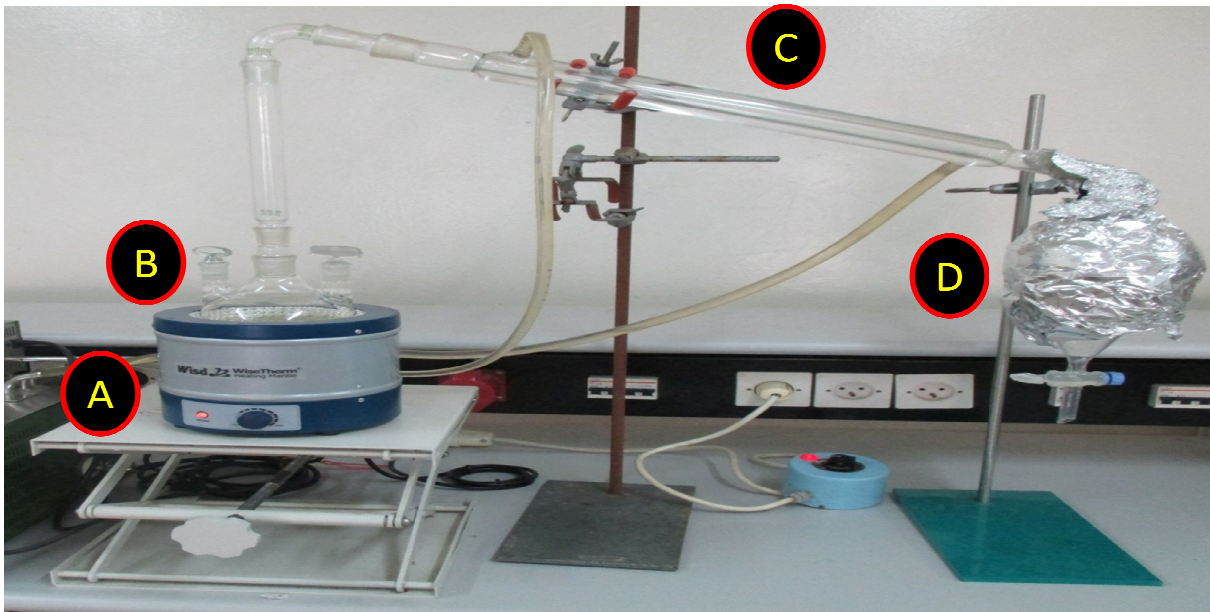


Figure 12 : Montage d'hydrodistillation (Appareil de type Clevenger) (Cliché RAHMANI M, 2014).

A : Chauffe ballon, **B :** Ballon+la matière végétale, **C :** Condenseur, **D :** Ampoule à décanter + le distillat.

- **La détermination du rendement des huiles essentielles :**

Le rendement de l'huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenu et la masse du matériel végétale à traiter (AKROUTE et *al.*, 2001). Le rendement est calculé par la formule suivante :

$$R\% = (m/m_0) \times 100$$

R% : Le rendement des huiles essentielles.

m : la masse d'huile essentielle récupéré (g).

m₀ : la masse de matière végétale (g)

- **L'identification des huiles essentielles :**

L'huile obtenue après l'hydrodistillation est soumise à l'analyse CPG/SM (Figure 13). Cette méthode analytique permet d'identifier rapidement un très grand nombre de constituants (Arpino et *al.*, 1995). Cela selon les conditions opératoires suivantes :

L'identification a été faite par le couplage de la chromatographie phase gazeuse, de marque HP6800 série GC system, à un spectromètre de masse, de type HP5973 Mass sélective detector.

La température de la colonne est programmée de 60°C à 280°C à raison de 2°C/mn, elle est ensuite maintenue à 250°C pendant 20mn. L'injecteur est d'une seule colonne apolaire DB-5. La température de l'injecteur est fixée à 280°C. Le mode d'injection est en Split (1/60). Le gaz vecteur est l'hélium, son débit est fixé à 1ml/min. Un impact électronique pour un champ de 70 eV est adapté pour la fragmentation.

La méthode d'identification est basée d'une part sur la comparaison des spectres de masse, obtenus pour chaque composé de l'huile essentielle lors de la fragmentation, avec une banque de spectre de produits de référence. Le laboratoire du centre de recherche scientifique et technique en analyses physico-chimiques « CRAPC » possède pour cela des banques de spectres importantes intégrées à l'appareil de type Wiley 7nI et NIST 02.L. et d'autre part une confirmation d'identification des constituants des huiles essentielles issus des quatre échantillons est faite sur leurs indices de kovats et en comparant à des données de l'indice de rétention générées à partir d'une série de standards connus de mélange d'alcane (C8-C28) (Aldrich Bibliothèque de normes de produits chimiques).

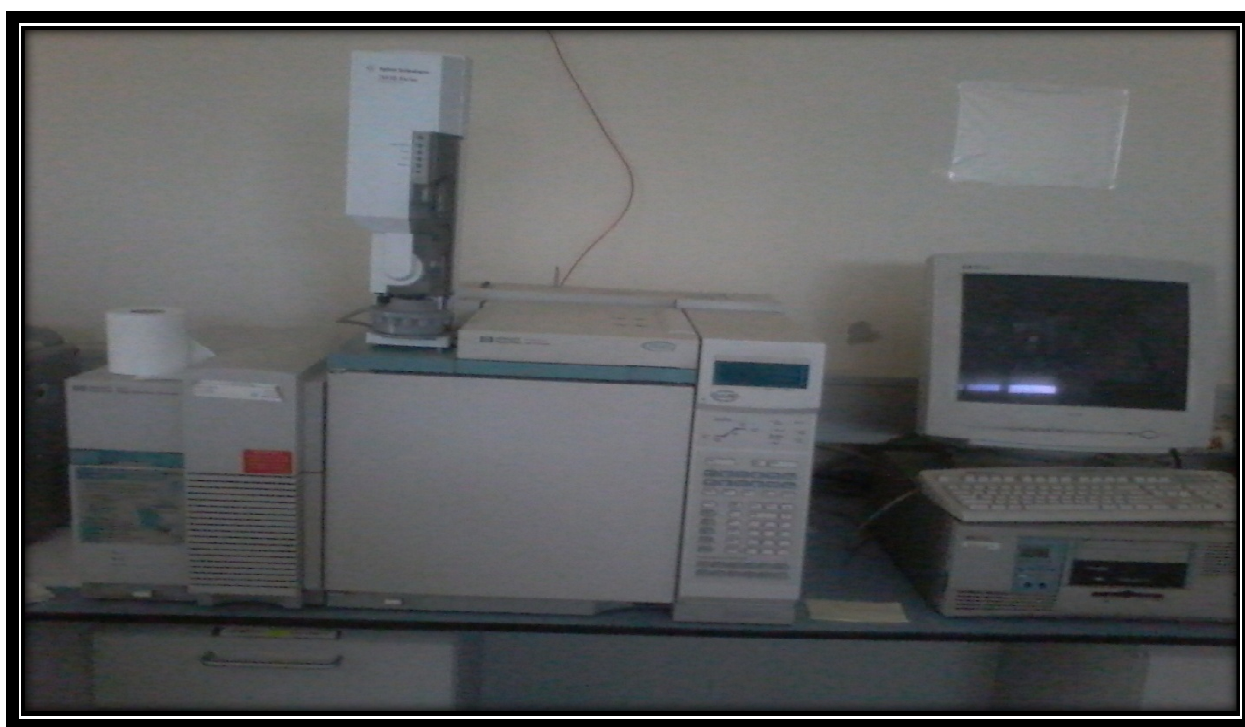


Figure 13 : L'appareil de CPG-SM (Cliché RAHMANI M, 2014).

- Calcul de l'indice de Kovats :

Les indices de Kovats sont calculés par rapport aux temps de rétention des différents constituants (repérés aisément sur les chromatogrammes) et les temps de rétention d'une série d'alcane linéaire (C10-C11- C12-...C28) (**Van den Dool et Kratz 1963**) selon la formule suivante :

$$KI = (100 \times z) + 100 \cdot \frac{trx - trz}{(tr_{z+1}) - trz}$$

KI : indice de Kovat.

z : nombre de carbone d'alcane.

tr_x : temps de rétention du composé x de l'huile essentielle.

tr_z : temps de rétention de l'alcane qui précède le **tr_x**.

(tr_{z+1}) : temps de rétention de l'alcane qui suit le **tr_x**.

Chapitre VIII : *Résultats & Discussion*

VIII.1 Résultats de l'étude agro-physiologique :

VIII.1.1 Résultats de l'évaluation du rendement en graines de fenugrec :

L'évaluation du rendement en graines des quatre variétés de fenugrec est représentée sur le tableau 5 et illustrés dans la figure 14.

Tableau 5: Variation de rendement moyen des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

Code des variétés de Fenugrec		0057	1138	2087	1063
Blocs	1	1700	1585	1210	1100
	2	1205	1045	1305	600
	3	1500	1250	1120	900
Rendement Moy (gr/m ²)		1468,33±249	1293,33±272	1211,66±92	866,66±251
Test de la variance		+ (différence significative)			

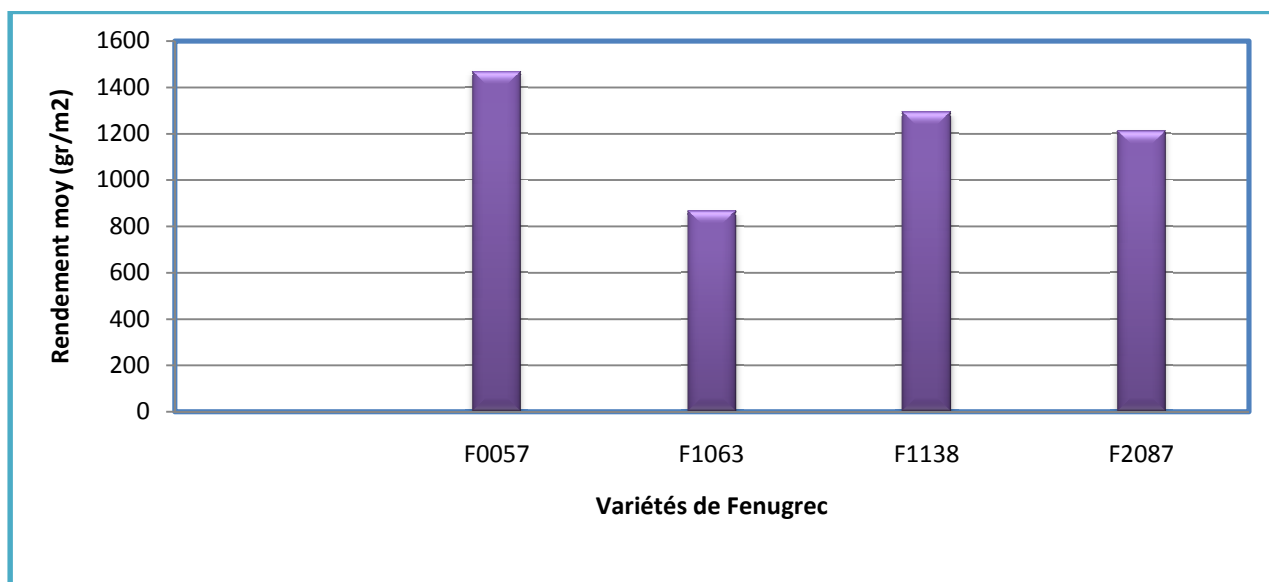


Figure 14: Variation de rendement moyen des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

Les résultats relatifs à l'évaluation des rendements montrent une hétérogénéité entre les graines des quatre variétés de fenugrec, avec un maximum de 1468 gr/m² pour la variété

0057. Cette hétérogénéité a été confirmée par le test de la variance au seuil de 5% dans la mesure, où le F observé = (24,47) est supérieur au F théorique = (3,78).

Nos résultats indiquent que, contrairement aux variétés 1063, 1138, 2087, la variété 0057 a donné la production en graines la plus importante avec un maximum de 1468 gr/m².

Nos résultats sont comparables à ceux obtenus, à l'échelle internationale, par les centres de recherche d'agriculture et agro-alimentaire (**Ferdinand et al., 1993 et Lorraine et al., 2007**).

VIII.1.2 Résultats de la germination des graines de fenugrec :

Les tableaux (6-7-8 et 9) et les figures (15-16-17 et 18) montrent les résultats des capacités de germination, les coefficients de vélocité, les temps moyens de germination et les temps de latence des quatre variétés de fenugrec à différentes températures (05°C, 20°C, 25°C et 30°C).

Nos essais de germination sont réalisés sur des graines de quatre variétés de fenugrec au laboratoire, dans une étuve à des différentes températures (05°C, 20 ° C, 25 ° C et 30 ° C), les résultats montrent une homogénéité de la capacité de germination des quatre variétés étudiées.

Les résultats relatifs aux essais de germination aux températures « 20°C, 25°C et 30°C » montrent un coefficient de vélocité significatif de l'ordre de 96,82% pour la variété 2087 à une température de 25°C, les graines de ces quatre variétés présentent les plus brefs temps de latence (un jour), contrairement aux graines soumises à 5°C, où on a constaté des faibles vitesses de germination et un temps de latence prolongée.

Il convient de noter que les performances germinatives les plus importants sont obtenues pour les graines de la variété 2087, contrairement aux graines des autres variétés (0057, 1063 et 1138).

Nous savons que la température optimale pour la germination varie d'une espèce à l'autre, et notre étude a fait ressortir la température optimale de germination des graines de fenugrec et qui est de 25 ° C. Ceci corrobore les résultats de (**Reid et Bewley, 1979; Spyropoulos et Reid, 1985 et Singh et al., 1990**).

Chapitre VIII : Résultats et Discussion

Tableau 6: Variation des capacités de germination des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

		Températures testées															
		05°C				20°C				25°C				30°C			
Variétés de fenugrec		0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087
Lots	1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	2	100 %	85 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	3	100 %	85 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
CG Moy (%)		100± 0,00	90± 8,66	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00	100± 0,00
Test de la variance		- (différence non significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)			

Tableau 7: Variation des coefficients de vélocité des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

		Températures testées															
		05°C				20°C				25°C				30°C			
Variétés de fenugrec		0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087
Lots	1	4,35%	3,72%	4,43%	4,42%	58,82 %	90,90 %	74,07 %	86,95 %	90,90 %	90,90 %	95,23 %	95,23 %	53,12 %	76,92 %	57,69 %	51,28 %
	2	4,54%	4,06%	4,37%	4,98%	62,50 %	71,42 %	83,33 %	86,95 %	95,23 %	95,23 %	90,90 %	95,23 %	58,82 %	60,60 %	54,05 %	51,28 %
	3	4,07%	3,84%	4,38%	4,00%	68,96 %	74,07 %	90,90 %	95,23 %	100 %	95,23 %	100 %	100 %	52,63 %	54,05 %	54,05 %	58,82 %
CV Moy (%)		4,23± 0,23	3,87± 0,17	4,39± 0,03	4,46± 0,49	63,42± 5,13	78,79± 10,56	82,76 ±8,42	89,71 ±4,78	95,37 ±4,55	93,78 ±2,49	95,37 ±4,55	96,82 ±2,75	54,85 ±3,44	63,85± 11,77	55,26 ±2,10	53,79 ±4,35
Test de la variance		- (différence non significative)				+ (différence significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)			

Chapitre VIII : Résultats et Discussion

Tableau 8: Variation des temps moyens de la germination des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

		Températures testées															
		05°C				20°C				25°C				30°C			
Variétés de fenugrec		0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087
Lots	1	22,95 %	26,85 %	22,54 %	22,60 %	1,7 %	1,1 %	1,35 %	1,15 %	1,10 %	1,10 %	1,05 %	1,05 %	1,88 %	1,30 %	1,73 %	1,95 %
	2	22,00 %	24,58 %	22,85 %	20,05 %	1,6 %	1,4 %	1,2 %	1,15 %	1,05 %	1,05 %	1,10 %	1,10 %	1,70 %	1,65 %	1,85 %	1,95 %
	3	24,55 %	26,00 %	22,80 %	24,95 %	1,45 %	1,35 %	1,1 %	1,05 %	1,00 %	1,05 %	1,00 %	1,05 %	1,90 %	1,85 %	1,85 %	1,70 %
TMG Moy %		23,16 ±1,28 %	25,81 ±1,14 %	22,73 ±0,13 %	22,53 ±2,45 %	1,58± 0,12%	1,28± 0,16%	1,21± 0,12%	1,11± 0,05%	1,05± 0,05%	1,06± 0,02%	1,05± 0,05%	1,03± 0,02%	1,82± 0,11%	1,60± 0,27%	1,81± 0,06%	1,86± 0,14%
Test de la variance		- (différence non significative)				+ (différence significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)			

Tableau 9: Variation des temps de latence des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

		Températures testées															
		05°C				20°C				25°C				30°C			
Variétés de fenugrec		0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087	0057	1063	1138	2087
Lots	1	18	20	14	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	17	20	15	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	18	19	17	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T.L (Jour)		17,66 ±0,57	19,66 ±0,57	15,33 ±1,52	14,66 ±1,52	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00	1± 0,00
Test de la variance		+ (différence significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)				- (différence non significative)			

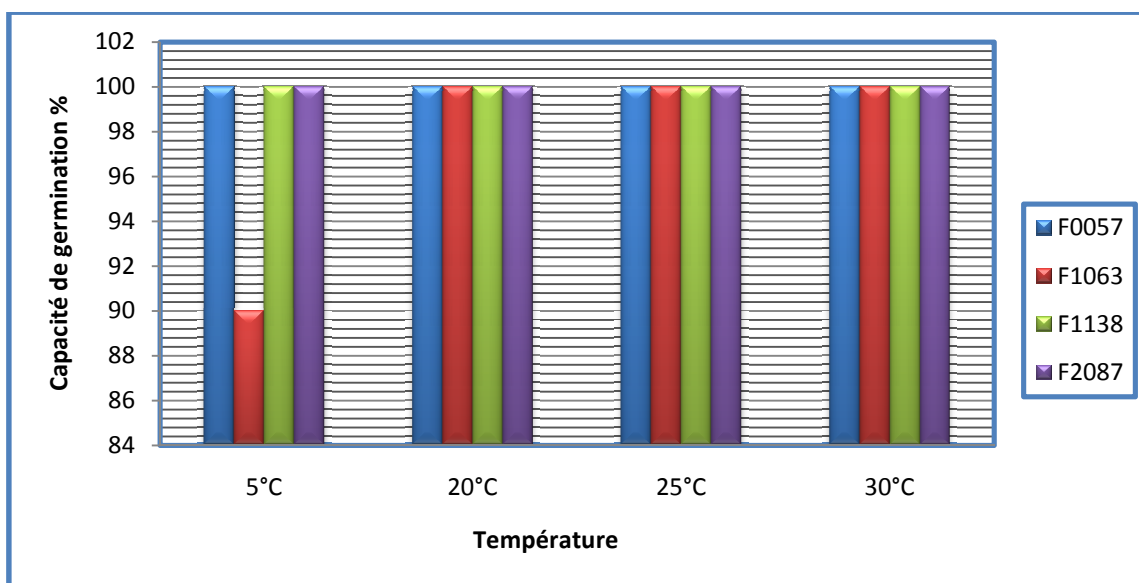


Figure 15: Variation des capacités de germination des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

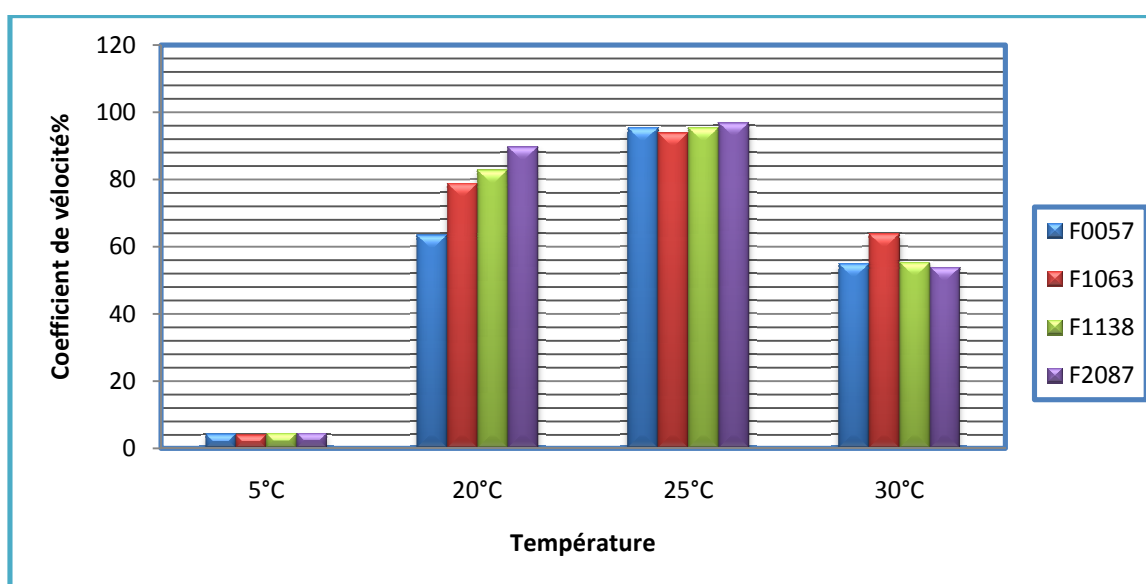


Figure 16: Variation des coefficients de vélocité des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

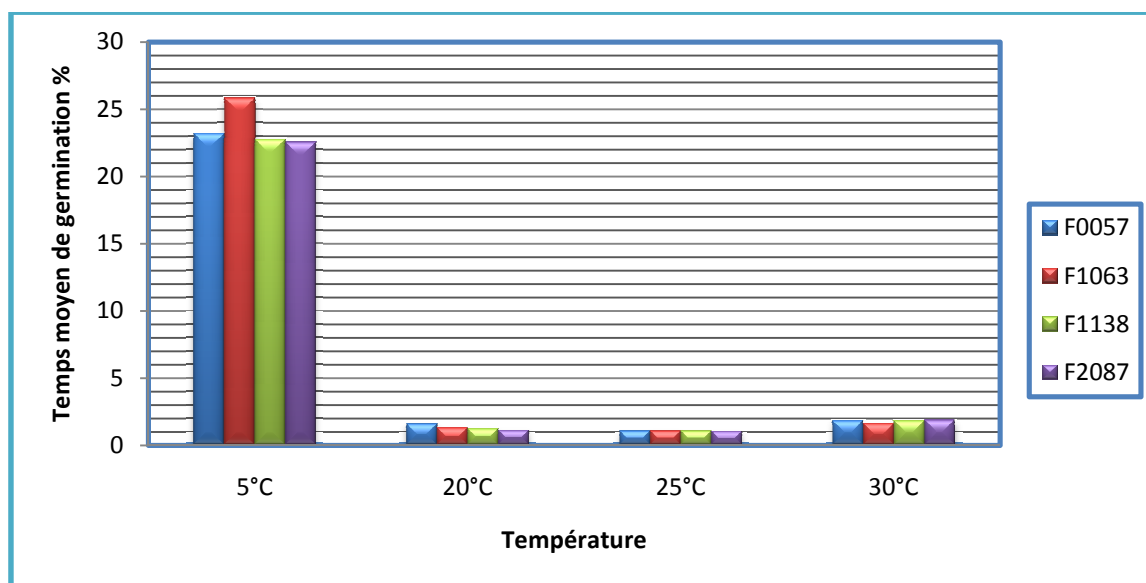


Figure 17: Variation des temps moyens de la germination des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

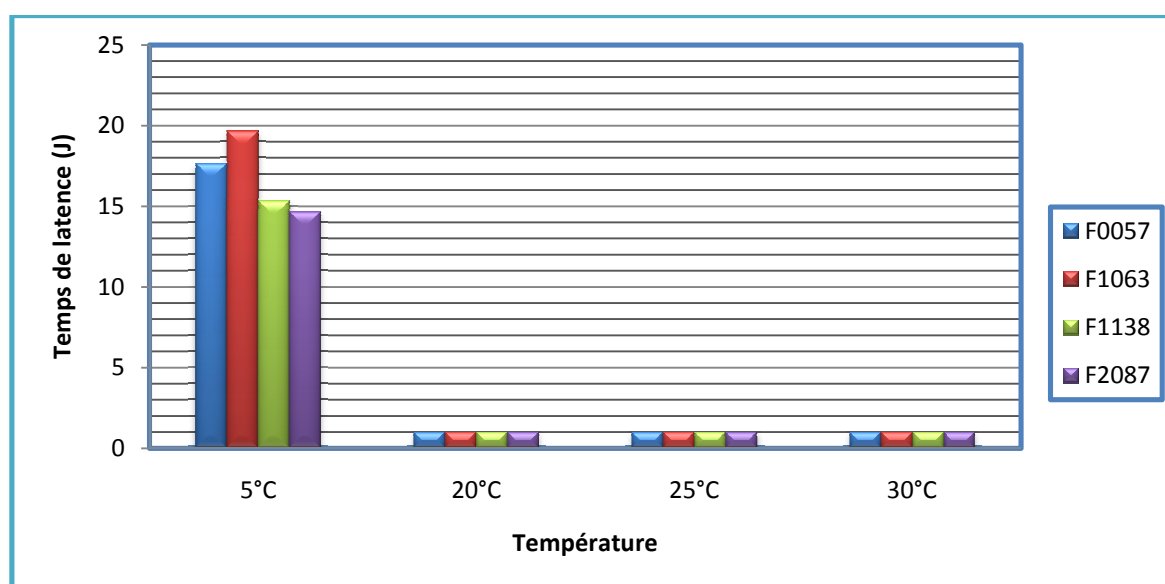


Figure 18: Variation des temps de latence des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes températures.

VIII.2 Résultats de l'étude des analyses physico-chimiques des graines de fenugrec :

Les résultats des macronutriments (matière sèche, protéines brutes, cellulose brute et de lipides) et des minéraux (calcium et phosphore) issus des échantillons des graines de quatre variétés de fenugrec sont illustrés dans le (Tableau 10).

Tableau 10: Variation des valeurs nutritionnelles des macronutriments et minéraux pour 100 gr des quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

Paramètres	Variétés de fenugrec				Test de la variance
	0057	1063	1138	2087	
Matière sèche (%)	84,85	86,25	85,65	86,70	+
Matière minérale (%)	3,00	3,04	2,89	3,00	+
Protéines brutes (%)	22,58	22,26	21,28	21,40	+
Cellulose brute (%)	9,27	9,96	12,09	11,58	+
Lipides (%)	5,94	5,59	4,30	4,32	+
Calcium (%)	0,14	0,14	0,10	0,16	+
Phosphore (%)	0,12	0,16	0,14	0,14	+

La teneur en matière sèche des variétés de fenugrec varie entre 84,85% pour la variété 0057 et 86,70% pour la variété 2087, le test de la variance confirme cette différence. Les valeurs obtenues sont inférieure à la valeur indiquée par (Atta et *al.*, 2012) et qui est de 94,11%.

Concernant les protéines brutes, des taux de 21,28 %- 21,40% - 22,26% et 22,58% ont été enregistrés respectivement pour les variétés 1138, 2087, 1963 et 0057.

Ces valeurs étaient inférieures à 33,33% et 31,6% rapportées, respectivement par (Abdelnasir et *al.*, 2013 et Surya Acharya et *al.*, 2006).

Nous signalons que la digestibilité chez le rat est diminuée avec l'augmentation de la protéine et la matière sèche des graines de fenugrec dans leur régime alimentaire. Cela indique qu'une utilisation judicieuse des graines de fenugrec dans le régime alimentaire peut être utile pour ceux qui ne présentent aucun symptôme d'allergie vis-à-vis les constituants du fenugrec (Meghwal Goswami, 2012).

Pour les lipides, les teneurs les plus intéressantes sont celles des variétés 0057 et 1063 5,94% et 5,59%, respectivement, tandis que les variétés (2087) et (1138) renferment un taux

de 4,32% et 4,30%, seulement ; sachant que la différence entre 2087 et 1138 n'est pas significative.

En parallèle, les teneurs des lipides sont inférieures à 6,53%, 7,9% et 9,84% enregistrés par **(Kochhar et al., 2006; Ziwar 2009 et Waleed, 2009)** respectivement.

La cellulose brute obtenue est très variable, les variétés 0057 et 1063 présentent un taux de cellulose brute proches et qui est respectivement de 9,27% et de 9,96% par rapport à la matière sèche ; par contre les variétés 1138 et 2087 sont les plus riches et enregistrent des taux de 12,09 % et de 11,58% par rapport à la matière sèche respectivement.

Les résultats pour les quatre variétés sont plus élevés que ceux rapportés par **(Kochhar et al., 2006)** et qui est de 1,46% .

Nos résultats attestent une légère différence en matière de teneur pour certains éléments minéraux. Cet effet a été souligné dans la littérature. Ces différences de la teneur en nutriments, peuvent être liées aux variations des régions cultivées, aux conditions de stockage et au stade de maturité. Il peut également être due aux conditions géographiques et climatiques, dans lesquelles les graines sont cultivées **(Atta, 2003 et Abbas Ali et al., 2012)**.

La teneur en matière minérale de nos échantillons oscille entre 2,89% et 3,04%. La teneur en calcium varie également en fonction des variétés de fenugrec, avec un pourcentage compris entre 0,10% et 0,16%.

Les résultats sont plus élevés que ceux obtenus par **(Kumaravel et Alagusundaram, 2014)**, avec un taux de 0,0108%. Par contre les teneurs en phosphore enregistrées varient entre 0,12% et 0,16% et qui sont des valeurs plus faibles que celles notées par **(Kumaravel et Alagusundaram, 2014)**. A cet effet, on peut déduire que les graines de fenugrec sont riches en matière minérale.

Par conséquent, et vu leurs valeur nutritive, les graines de fenugrec peuvent être utilisées comme aliment par excellence dans les fortifications alimentaires et l'amélioration de la supplémentation en micronutriments que se soit pour l'engraissement du bétail ou encore pour soulager la faim, les carences en micronutriments des enfants africains et des pauvres dans l'ensemble.

VIII.3 Résultats de l'étude phytochimique :

VIII.3 1 Dosage des composés phénoliques :

Dans ce présent travail, afin de déterminer les teneurs en phénols totaux, en flavonoides et en tanins condensés au sein des graines des quatre variétés de fenugrec, une étude quantitative des extraits méthanoliques à été entrepris par la méthode de spectrophotomètre UV-Visible (**Benhamou et al., 2009**), le dosage des phénols totaux est réalisé selon le principe de réduction de réactif de Folin-ciocalteu, le dosage des Flavonoides totaux est effectué selon la méthode de réduction de Al Cl₃ et le dosage de tannins condensés est exprimé la méthode de vanilline dans les conditions acides.

- **Dosage des phénols totaux**

Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait brut (GAE/g), en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage tracée de l'acide gallique (voir Figure 8 matériel et méthodes).

La teneur en phénols totaux des extraits méthanoliques des quatre échantillons est variable (Tableau11). La teneur la plus élevée est constatée dans les graines de la variété 2087 avec un ordre de $2,083 \pm 0,01$ mg GAE/gExt, suivi par la variété 1138 avec un ordre de $2,047 \pm 0,03$ mg GAE/gExt, puis la variété 0057 avec un ordre de $1,613 \pm 0,32$ mg GAE/gExt et en dernier la variété 1063 avec un ordre de $1,398 \pm 0,02$ mg GAE/gExt. Cette variabilité a été confirmée par le test de la variance au seuil de 5%.

Tableau 11 : Teneur des phénols totaux des extraits métanoliques des quatre échantillons

Variétés de fenugrec	Phénols totaux (mg GAE/g Ext.B)			
	R1	R2	R3	Moyenne
0057	1,580	1,616	1,644	1,613±0,32
1063	1,415	1,406	1,375	1,398±0,02
1138	2,089	2,037	2,015	2,047±0,03
2087	2,080	2,099	2,072	2,083±0,01
Test de la variance				+ (différence significative)

• Dosage des flavonoïdes

La quantification de flavonoïdes a été effectuée en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire réalisé par une solution étalon de catéchine à différentes concentrations, d'où on a calculé la teneur en flavonoïdes des différents échantillons qui est exprimé en mg équivalent de catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g). Les teneurs en flavonoïdes oscillent entre la plus faible teneur de $1,847 \pm 0,14$ mg EC/gExt pour la variété 1063 et la plus élevée de $3,778 \pm 0,13$ mg EC/gExt pour la variété 2087 (Tableau 12). Cette hétérogénéité a été confirmée par le test de la variance au seuil de 5%.

Tableau 12 : Teneur des flavonoïdes des extraits méthanoliques des quatre échantillons

Variétés de fenugrec	Flavonoïdes (mg CE/g Ext.B)			
	R1	R2	R3	Moyenne
0057	2,666	2,019	/	$2,342 \pm 0,45$
1063	1,950	1,745	/	$1,847 \pm 0,14$
1138	2,149	2,024	/	$2,086 \pm 0,08$
2087	3,680	3,877	/	$3,778 \pm 0,13$
Test de la variance				+ (différence significative)

• Dosage des tanins

La quantification des tanins condensés a été effectuée par la méthode de la vanilline. Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g) (Tableau 13). Nous avons enregistré une hétérogénéité des concentrations des tannins condensés et qui sont classées comme suit : $0,730 \pm 0,013$; $0,821 \pm 0,009$; $1,040 \pm 0,003$ et $1,051 \pm 0,030$ mg EC/g respectivement pour les variétés 1063 ; 0057 ; 1138 et 2087. Cette hétérogénéité a été affirmée par le test de la variance au seuil de 5%.

Tableau 13 : Teneur des tanins condensés des extraits méthanoliques des quatre échantillons

Variétés de fenugrec	Tanins condensés (mg CE/g Ext.B)			
	R1	R2	R3	Moyenne
0057	0,815	0,828	/	$0,821 \pm 0,009$
1063	0,740	0,721	/	$0,730 \pm 0,013$
1138	1,038	1,043	1,040	$1,040 \pm 0,003$
2087	1,073	1,030	/	$1,051 \pm 0,030$
Test de la variance				+ (différence significative)

La quantité en phénols totaux, en flavonoïdes et en tanins est variable entre les différentes graines de *Trigonella foenum-gracum* L. (Figure 19).

Nos résultats montrent que les teneurs les plus élevées en phénols totaux, flavonoïdes et tanins sont présentées par la variété 2087, suivi par la variété 1138, tandis que les variétés 0057 et 1063 apparaissent pauvres en composés phénoliques par rapport aux deux variétés citées précédemment.

Nos résultats sur la quantification des composés phénoliques des graines de fenugrec, confirmant ainsi celles notés dans les résultats obtenus (4,2 mg/g- 4,46 mg/g et 5,05 mg/g) dans les travaux menés par (Ramya et al., 2011 ; Saxena et al., 2011 et Al Jawfi et al., 2013) et qui sont de (4,2 mg/g - 4,64 mg/g et 4,37 mg/g) pour les phénols totaux et (2,32 mg/g - 1,84 mg/g et 2,09 mg/g) pour les flavonoïdes respectivement.

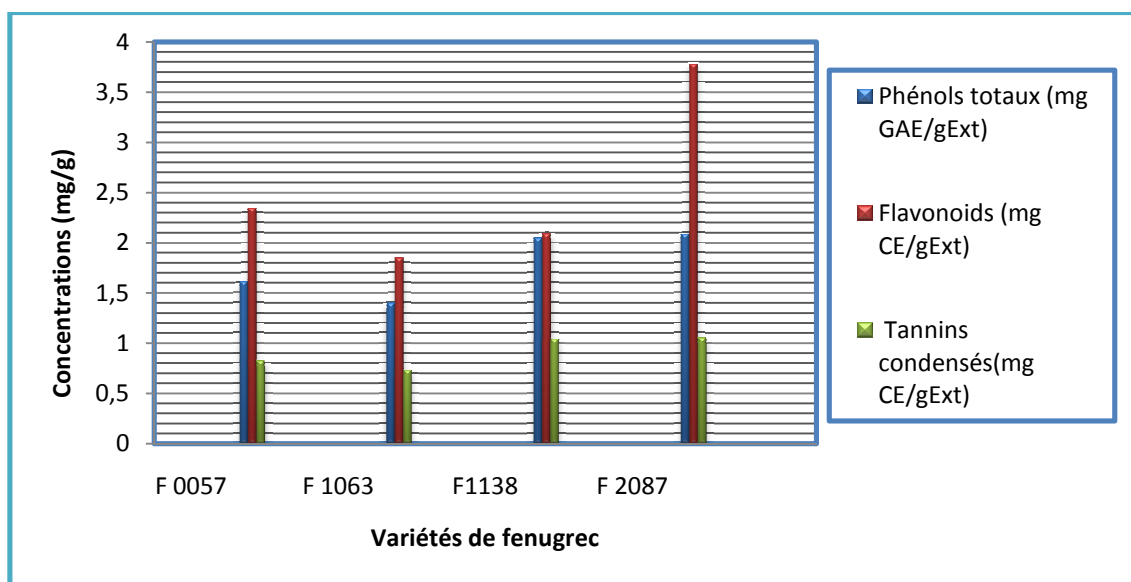


Figure 19: Teneurs en phénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés des extraits méthanoliques des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

VIII.3.2 Détermination de l'activité anti oxydante des composés phénoliques extraits des graines du *Trigonella foenum-graecum* L. :

Après l'étude phytochimique des graines de *Trigonella foenum-graecum* L. et dans le cadre de leur valorisation, nous avons déterminé aussi, au cours de cette étude, le pouvoir antioxydant vis-à-vis le radical DPPH de leurs extraits.

Il s'agit, de ce fait, de connaître la capacité antioxydante des extraits méthanoliques des graines des quatre variétés du *Trigonella foenum-graecum* L. Ce pouvoir a été déterminé par spectrophotométrie en suivant la réduction de ce radical qui s'accompagne d'un passage de

couleur violette à la couleur jaune à 515 nm. Les résultats de cette étude sont représentés dans le tableau 14 et illustrés dans la figure 20.

Tableau 14 : Les résultats de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines des quatre variétés du *Trigonella foenum-graecum* L.

Variétés de fenugrec	Concentration des extraits méthanoliques (mg/ml)	DPPH IC50
0057	50,25	149,32
1063	61,00	99,77
1138	40,25	111,11
2087	40,75	80,98

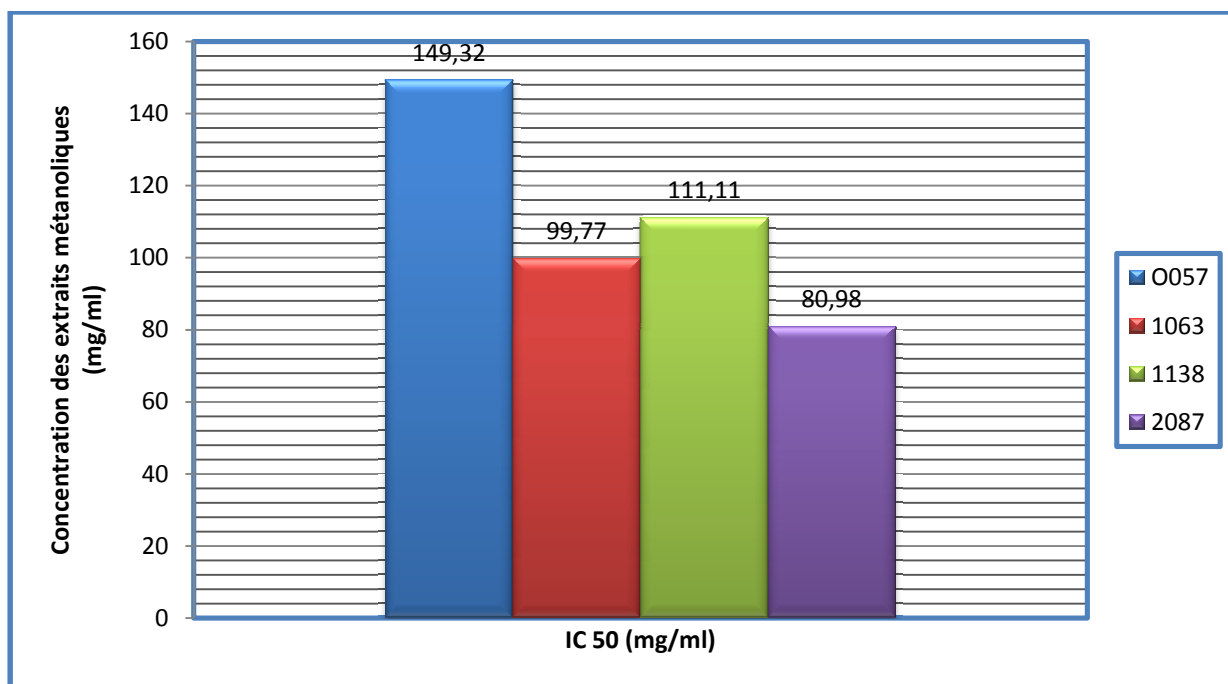


Figure 20 : L'activité antioxydante des extraits méthanoliques évaluée en IC 50 des graines des quatre variétés du *Trigonella foenum-graecum* L. à différentes concentrations.

Les résultats illustrés dans la figure 18 montrent que l'extrait méthanolique des graines de la variété 2087 présente un pouvoir très élevé de piégeage des radicaux avec une valeur de IC 50 de l'ordre de 80,98 mg/ml, suivie par les variétés 1063, 1138 et en fin 0057.

Par ailleurs, nous avons constaté une forte corrélation positive ($R^2 = 0,989$ en 0057, $R^2 = 0,995$ en 1063, $R^2 = 0,978$ en 1138, $R^2 = 0,987$ en 2087) entre les teneurs des phénols totaux, la concentration de l'extrait méthanolique et l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines étudiées (Figure 21).

Les données de cette étude montrent une bonne corrélation entre les teneurs des phénols totaux et la concentration de l'extrait méthanoliques d'une part et l'activité antioxydante d'un autre part.

Ce résultat corrobore les résultats de **Leena et al., 2014** qui montrent une forte corrélation positive entre la concentration des composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits de fenugrec.

Les antioxydants naturels font l'objet de beaucoup de recherches et représentent un nouvel aspect pour l'exploitation des métabolites secondaires en général et en particulier les polyphénols. En effet les extraits de *Trigonella foenum-graecum* présentent une activité puissante de piégeage du radical DPPH (**Priya et al., 2011**). L'activité élevée de piégeage des radicaux libres par les graines de fenugrec est due à la présence des polyphénols dans les extraits méthanoliques de la plante; cela a été expliqué par **Anita et al., 2013**.

Il est à noter que les extraits des graines de fenugrec riches en polyphénols permettent de réduire l'hémolyse oxydatif et la peroxydation des lipides dans les globules rouges humains normaux et diabétiques (**Dixit et al., 2005**).

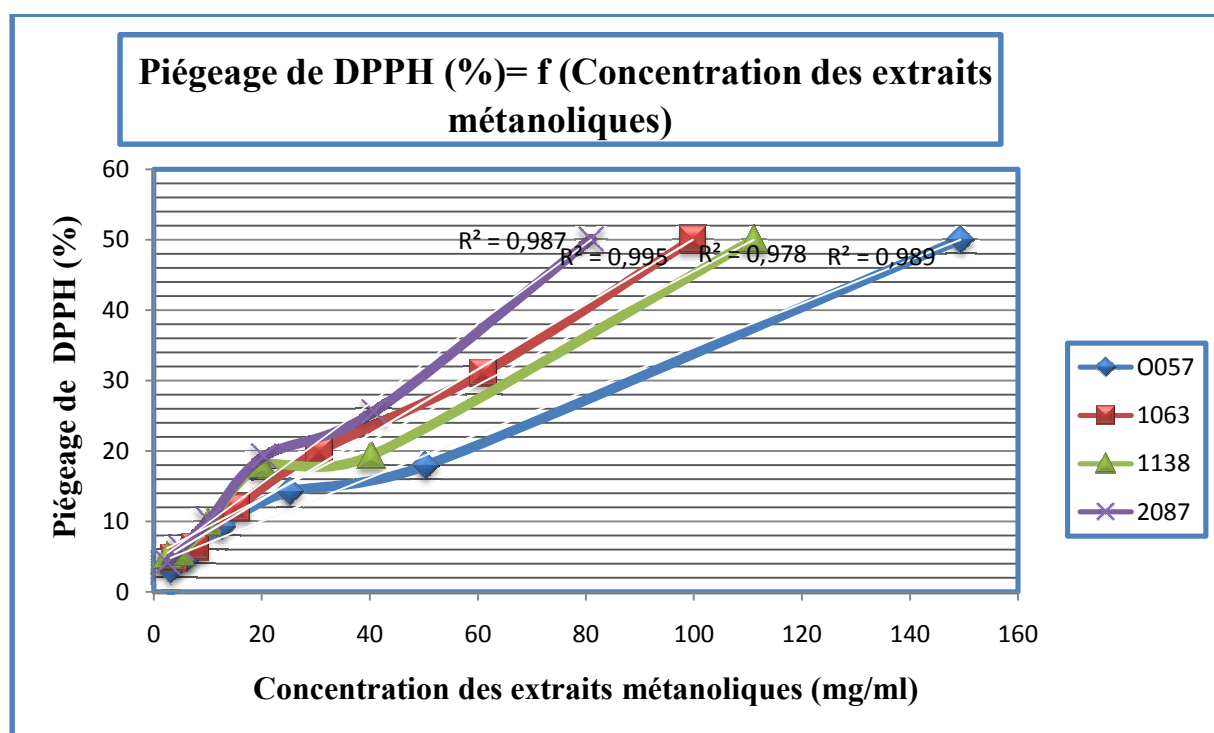


Figure 21 : L'activité de piégeage de DPPH par les extraits méthanoliques des graines de *Trigonella foenum-graecum* L.

VIII.3.3 Rendement des huiles essentielles extraites des graines des quatre variétés

Trigonella foenum-graecum L. :

Les rendements moyens des huiles essentielles extraits des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L. et leurs caractéristiques organoleptiques, sont représentés dans le tableau 15. Le rendement moyen est calculé par rapport à la matière sèche.

Tableau 15 : Rendements des huiles essentielles et les caractéristiques organoleptiques des graines de fenugrec.

Les variétés de fenugrec	Le rendement des huiles essentielles (%)				Couleur/Aspect	Odeur/Saveur
	R1	R2	R3	Moy (%)		
0057	0,23	0,23	0,21	0,22±0,011	Jaune / Liquide visqueux	Typique de fenugrec/ amère
1063	0,26	0,17	0,15	0,19±0,058	Jaune / Liquide visqueux	Typique de fenugrec/ amère
1138	0,19	0,11	0,10	0,13±0,049	Jaune / Liquide visqueux	Typique de fenugrec/ amère
2087	0,22	0,40	0,11	0,24±0,146	Jaune foncé/ Liquide visqueux	Typique de fenugrec forte/ amère

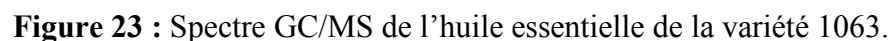
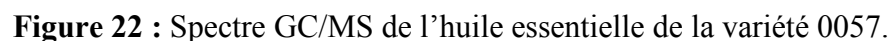
Le rendement le plus important est celui de la variété 2087 (0,24%). Celui de la variété 0057 (0,22%), de la variété 1063 (0,19) et de la variété 1138 (0,13%).

Des résultats comparables, décrivant la variabilité des rendements, ont été décrits dans la littérature par **Pruthi 1976; Sankarikutty et al., 1978 et Ramachandraiah et al., 1986** avec un rendement varie entre 0,02% et 0,05 %.

VIII.3.4 Identification et caractérisation du profil chimique des huiles essentielles des graines de *Trigonella foenum –graecum* L. :

La GC/MS a permis d'identifier les principaux constituants de l'huile essentielle des graines de quatre variétés de fenugrec (0057-1063-1138-2087). Les résultats de cette analyse sont illustrés sous forme des figures 22-23-24 et 25 et récapitulés dans le tableau 16.

Cette analyse nous a permis d'identifier 48 composés dont 33 composés dans l'huile essentielle de la variété 0057 représentant 95,57 % de la composition totale, 35 composés



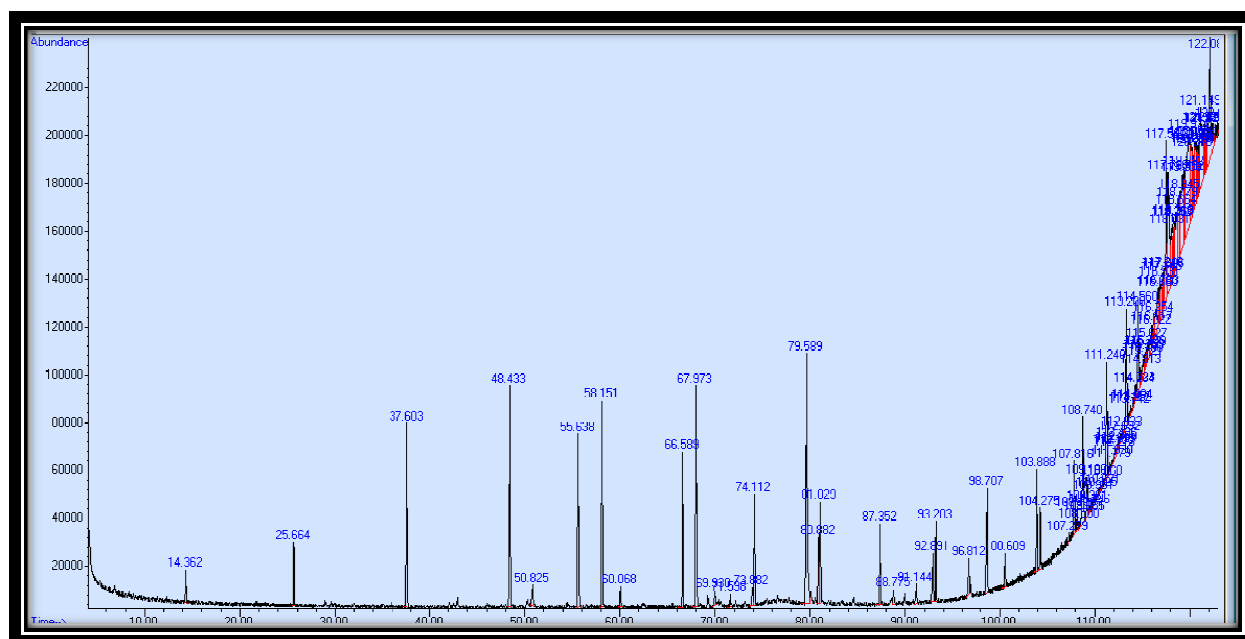


Figure 24 : Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 1138.

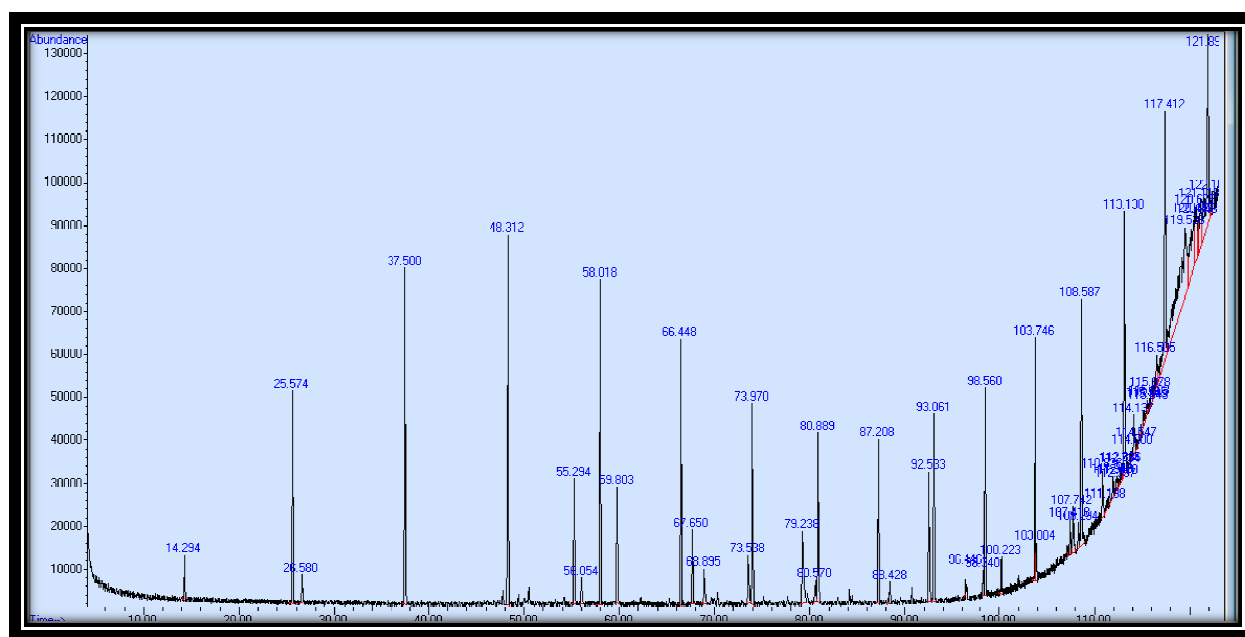


Figure 25 : Spectre GC/MS de l'huile essentielle de la variété 2087.

Tableau 16 : Composition chimique des huiles essentielles des graines de quatre variétés de fenugrec.

	Variétés de fenugrec	0057		1063		1138		2087	
N°	Composés identifiés	IKc	Taux %	IKc	Taux %	IKc	Taux %	IKc	Taux %
1	Cyclotetrasiloxane-decamethyl $C_{10}H_{30}O_5Si_5$	859	2,36	1155	1,14	859	2,9	859	3,6
2	Cyclotetrasiloxane-octamethyl $C_8H_{24}O_4Si_4$	--	--	--	--	999	0,43	--	--
3	Gamma-Cadinene $C_{15}H_{24}$	1663	4,5	1609	3,73	1620	6,85	1663	2,95
4	1-épi-Cubenol $C_{15}H_{26}O$	1679	3,52	1628	3,5	1618	3,56	1617	3,2
5	Ledol $C_{15}H_{26}O$	1320	8,9	1322	3,41	1320	3,5	1329	3,3
6	Cyclotetrasiloxane-dodecamethyl $C_{12}H_{36}O_6Si_6$	1325	1,1	1325	1,84	1325	2,6	1325	0,85
7	Cyclohexane,2,4,Diisopropyl-1,1,dimethyl $C_{14}H_{28}$	--	--	--	--	--	--	1400	2,53
8	Dihydroactinidiolide $C_{11}H_{16}O_2$	1535	6,42	1502	3,73	1495	3,6	1435	4,5
9	2-6-Heptanedione $C_7H_{12}O_2$	1551	4,8	--	--	--	--	--	--
10	2-Nonanone $C_9H_{18}O$	--	--	--	--	--	--	1551	1,6
11	Gamma-Nonanolactone $C_9H_{16}O_2$	1551	2,23	1849	2,85	1552	3,31	1863	2,78
12	Viridiflorol $C_{15}H_{26}O$	1320	10,9	1370	9,8	1320	10,26	1319	9,5
13	Cyclotetradecane $C_{14}H_{28}$	2507	0,9	2555	0,8	2552	1,37	2510	0,86
14	1-Tridecanol $C_{13}H_{28}O$	--	--	--	--	--	--	1793	2,66
15	2-Dodecanone $C_{15}H_{24}O$	--	--	--	--	1829	3,97	--	--
16	6,10,14 Trimethyl-2pentadecanone $C_{18}H_{36}O$	1849	2,03	--	--	--	--	--	--
17	Isobutyl phthalate $C_{16}H_{22}O_4$	1874	2,02	1900	1,3	1890	1,65	1874	1,33
18	Dibutyl phthalate $C_{16}H_{24}O_4$	1968	1,93	2085	1,4	1973	1,51	1968	1,77
19	1-Octadecanol $C_{18}H_{38}O$	2090	1,44	2004	1,5	1943	5,41	1663	1
20	Dioctyl adipate $C_{22}H_{42}O_4$	2400	2,84	2200	2,32	2153	3,35	2168	2,5
21	Mevalonolactone $C_{16}H_{10}O_3$	--	--	--	--	2410	0,92	--	--
22	Heptadecane $C_{17}H_{36}$	2502	1,7	2553	1,4	2508	1,32	2550	1
23	Hexatriacontane $C_{36}H_{74}$	--	--	--	--	2503	0,38	--	--

Chapitre VIII : Résultats et Discussion

24	Undecane C ₁₁ H ₂₄	--	--	--	--	2602	0,5	2205	0,76
25	Hexadecane C ₁₆ H ₃₄	2609	0,91	2617	1,32	2703	1,21	2600	1,56
26	Carvone C ₁₀ H ₁₄ O	--	--	1345	5,8	1350	6,84	--	--
27	Octadecane C ₁₈ H ₃₈	--	--	--	--	2500	2,14	--	--
28	Acide oleic C ₁₈ H ₃₄ O ₂	2345	0,41	2375	0,82	2400	0,44	2380	0,86
29	2 H-pyran-2-carboxaldehyde,5,6dihydro C ₆ H ₈ O ₂	1200	2,85	1206	3,2	1200	3,54	1201	3,4
30	Hexanal C ₆ H ₁₂ O	2095	4,9	2105	5,2	2090	6,32	2068	5,6
31	Phytol C ₂₀ H ₄₀ O	1822	3,26	1965	1,5	2119	1,26	1910	2
32	1,4,3,6-dianhydro-2-deoxy betad-lyxo-hexopyranose C ₆ H ₈ O ₃	2100	2,25	2085	1,5	2122	2	2149	3
33	Gamma-Caprolactone C ₆ H ₁₀ O ₂	2290	2,7	2285	2,32	2267	2,17	2268	2,5
34	Nonanal C ₉ H ₁₈ O	1528	4,5	1600	3,5	1663	3,1	--	--
35	Dodecane C ₁₂ H ₂₆	2805	3,4	2795	0,9	2800	1,48	2800	0,98
36	Eugenol C ₁₀ H ₁₂ O ₂	1436	2,85	1434	1,4	1440	1,16	1441	2,5
37	Furfuryl alcohol C ₅ H ₆ O ₂	1321	0,5	1389	0,54	1368	0,32	1390	0,5
38	Tetradecane C ₁₄ H ₃₀	1422	0,52	1422	0,56	1430	0,61	1432	0,67
39	n-Decane C ₁₀ H ₂₂	1005	0,63	1014	1,1	1002	0,55	1010	0,76
40	Pentadecane C ₁₅ H ₃₂	1560	1,7	1568	1,4	1560	1,2	1560	1
41	Hexahydrofarnesyl acetone C ₁₈ H ₃₆ O	1849	3,84	--	--	1856	1,65	--	--
42	2-Heptanone C ₇ H ₁₄ O	--	--	1410	3,28	--	--	--	--
43	Heptadecanoic acid C ₁₇ H ₃₄ O ₂	--	--	--	--	--	--	2520	0,88
44	Tetracosamethyl- cyclododecasiloxane C ₂₄ H ₇₂ O ₁₂ Si ₁₂	1670	1,86	1666	1,88	1665	1,90	1660	1,97
45	Tridecan C ₁₃ H ₂₈	1345	0,9	1343	0,8	1322	0,7	1324	0,8
46	Terbutol C ₁₇ H ₂₇ NO ₂	--	--	1365	1,83	--	--	1370	1,5
47	Furan, tetrahydro-3-methyl- 4-methylene- C ₆ H ₁₀ O	--	--	2285	2,35	--	--	2149	2,9
48	Vinylethyl alcohol C ₄ H ₆ O	--	--	1297	0,95	--	--	1289	1
	Total	95,57		80,87			95,98	81,07	

IKc : Indice de Kovats calculé

N.B : Les taux des composés majoritaires des quatre huiles sont mentionnés en gras.

Le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GS/MS) a permis d'identifier un certain nombre de composés volatils dans l'huile essentielle de *Trigonella foenum-graecum* L. parmi lesquels des hydrocarbures aliphatiques et cycliques, des monoterpènes, des sesquiterpènes, des cétones, des aldéhydes, des alcools, des esters, des phénols, des dérivés furaniques, des composés azotés, des composés de silicium et des acides.

La composition chimique des huiles essentielles des quatre variétés est qualitativement identique avec certains degrés de différence.

Cependant, l'huile essentielle étudiée renferme 30 composés identiques pour les quatre variétés.

Les huiles essentielles des quatre échantillons étudiés sont caractérisées par la prédominance des sesquiterpènes, des hydrocarbures aliphatiques et des cétones, on note une différence surtout pour les cétones comme par exemple le 2-6-Hépanedione (4,8%) qu'on trouve seulement dans l'huile essentielle de la variété 0057, le 2-Heptanone (3,28%), dans l'huile essentielle de la variété 1063, le 2-Nonanone (1,6%) dans l'huile essentielle de la variété 2087. Dans l'huile essentielle de la variété 1138 on note la présence du 2-Dodecanone (3,97%) et le Mevalonolacone. Ainsi, on remarque la présence d'un composé azotique et un furane seulement dans les huiles des variétés 1063 et 2087.

L'étude globale et détaillée de la composition chimique des huiles essentielles des quatre variétés nous a poussé à répartir les composés identifiés en hydrocarbures aliphatiques et cycliques et en terpènes oxygénés (Cétones, alcools, esters, Aldéhydes et d'autres).

En outre, les huiles essentielles des quatre variétés 0057, 1036, 1138 et 2087 est riche en sesquiterpènes (27,82% - 20,44% - 24,17% et 18,95%), en cétones (15,6% - 14,25% - 18,86% et 6,88%), et en aldéhydes (9,4% - 8,7% - 9,42% et 5,6%) respectivement. Les hydrocarbures aliphatiques constituent (7-7-10 et 8) composés et représentent un taux de (9,76% - 7,48% - 10,09% et 7,53%) respectivement (Tableau 17).

Tableau 17 : Répartition des différents composés identifiés dans les huiles essentielles des graines de fenugrec en classe.

Différentes classes chimiques	La variété 0057		La variété 1063		La variété 1138		La variété 2087	
	Nombre de composés	Taux (%)	Nombre de composés	Taux (%)	Nombre de composés	Taux (%)	Nombre de composés	Taux (%)
Hydrocarbures aliphatiques	7	9,76	7	7,48	10	10,09	8	7,53
Hydrocarbures cycliques	1	0,9	1	0,8	1	1,37	2	3,39
Sesquiterpènes	4	27,82	4	20,44	4	24,17	4	18,95
Monoterpènes	1	6,42	1	3,73	1	3,6	1	4,5
Cétones	5	15,6	4	14,25	6	18,86	3	6,88
Aldéhydes	2	9,4	2	8,7	2	9,42	1	5,6
Esters	3	6,79	3	5,02	3	6,51	3	5,6
Alcools	3	5,2	4	4,49	3	6,99	3	7,16
Phénols	1	2,85	1	1,4	1	1,16	1	2,5
Furane	/	/	1	2,35	/	/	1	2,9
Composés azotés	/	/	1	1,83	/	/	1	1,5
Composés de silicium	3	5,32	3	4,86	4	7,83	3	6,42
Acides	1	0,41	1	0,82	1	0,44	2	1,74
Autres composés hétérocycliques	2	5,1	2	4,7	2	5,54	2	6,4

Les composés majoritaires, sont approximativement les mêmes dans les quatre huiles essentielles étudiées, néanmoins, la différence est d'ordre quantitative. Il est à noter que ces composés sont comme suit :

Pour l'huile essentielle de la variété 0057 renferme du viridiflorol (10,9%), du ledol (8,9%), du dihydroactinidiolide (6,42%), d'hexanal (4,9%), du gamma-cadinene (4,5%), du nonanal (4,5%), du hexahydrofarnesyl acétone (3,84%), du 1-épi-cubenol (3,52%), du gamma-caprolactone (2,7%) et du gamma nonalactone (2,23%) en formant ensemble de 52,41% de la composition globale. Elle renferme également en quantité moindre, le dibutyl phthalate (1,93%) et le tétradécane (0,52%).

Par ailleurs, la variété 2087, son huile essentielle renferme du viridiflorol (9,5%), du ledol (3,3%), du dihydroactinidiolide (4,5%), d'hexanal (5,6%), du gamma-cadinene (2,95%), du 1-épi-cubenol (3,2%), du gamma-caprolactone (2,5%) et du gamma nonalactone (2,78%) en formant ensemble de 34,33% de la composition globale. D'autre part, les autres composés

identifiés présentent un pourcentage moins important : le dibutyl phthalate (1,77%) et le tétradécane (0,67%).

Par contre, les teneurs des composés majoritaires des huiles essentielles des variétés 1063 et 1138 diffèrent des autres en particulier pour le carvone (5,8% et 6,84%), le viridiflorol (9,8% - 10,26%), le ledol (3,41% - 3,5%), le dihydroactinidiolide (3,73% - 3,6%), l'hexanal (5,9% - 6,32%), le gamma-cadinene (3,73% - 6,85%), le nonanal (3,5% - 3,1%), le 1-épi-cubenol (3,5% - 3,56%), le gamma-caprolactone (2,32% - 2,17%) et le gamma nonalactone (2,85% - 3,31%) respectivement. L'ensemble constitue 44,54% et 49,51% de la composition totale des huiles essentielles des variétés 1063 et 1138 respectivement (Tableau 18 et figures 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 et 38).

Tableau 18 : Taux des composés majoritaires identifiés dans les huiles essentielles des graines de quatre variétés de *Trigonella foenum-graecum* L.

Les composés majoritaires	Huile essentielle de la variété 0057	Huile essentielle de la variété 1063	Huile essentielle de la variété 1138	Huile essentielle de la variété 2087
Viridiflorol	10,9	9,8	10,26	9,5
Ledol	8,9	3,41	3,5	3,3
Dihydroactinidiolide	6,42	3,73	3,6	4,5
Hexanal	4,9	5,2	6,32	5,6
Nonanal	4,5	3,5	3,1	/
Gamma-cadinene	4,5	3,73	6,85	2,95
Hexahydrofarnesyl acétone	3,84	/	1,65	/
1-épi-cubenol	3,52	3,5	3,56	3,2
Gamma-caprolactone	2,7	2,32	2,17	2,5
Gamma-nonolactone	2,23	2,85	3,31	2,78
Carvone	/	5,8	6,84	/
Dibutyl phthalate	1,93	1,4	1,51	1,7
Tétradécane	0,52	0,56	0,61	0,67

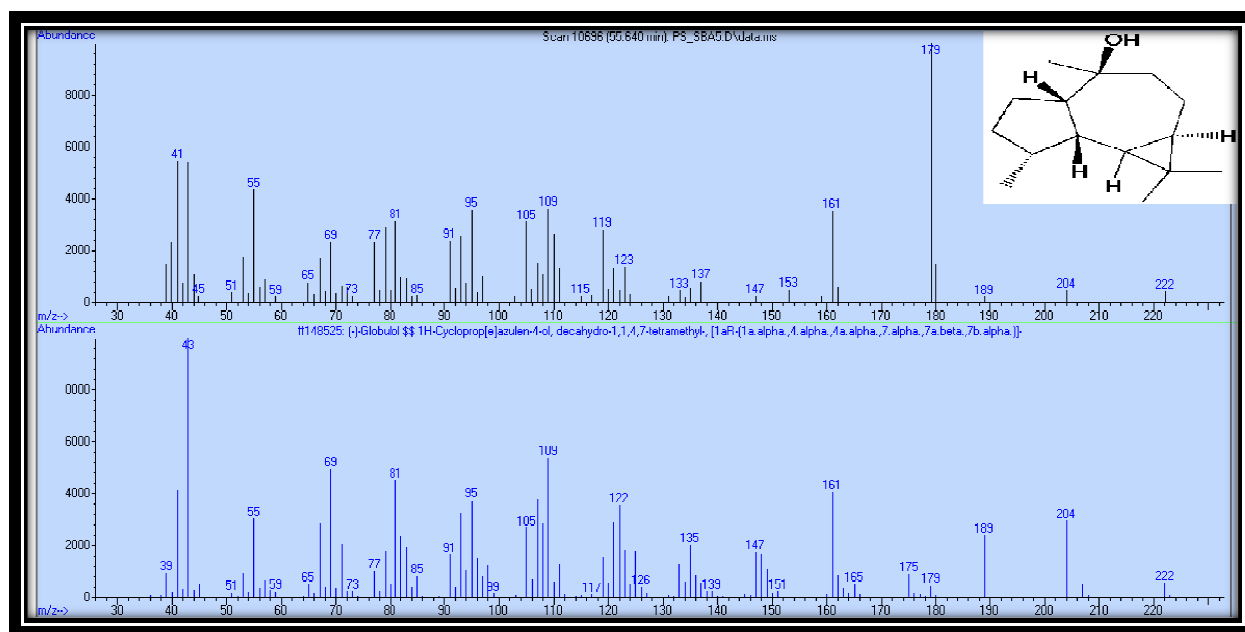


Figure 26 : Spectre GC/MS et la structure chimique de viridiflorol de l'huile essentielle de fenugrec.

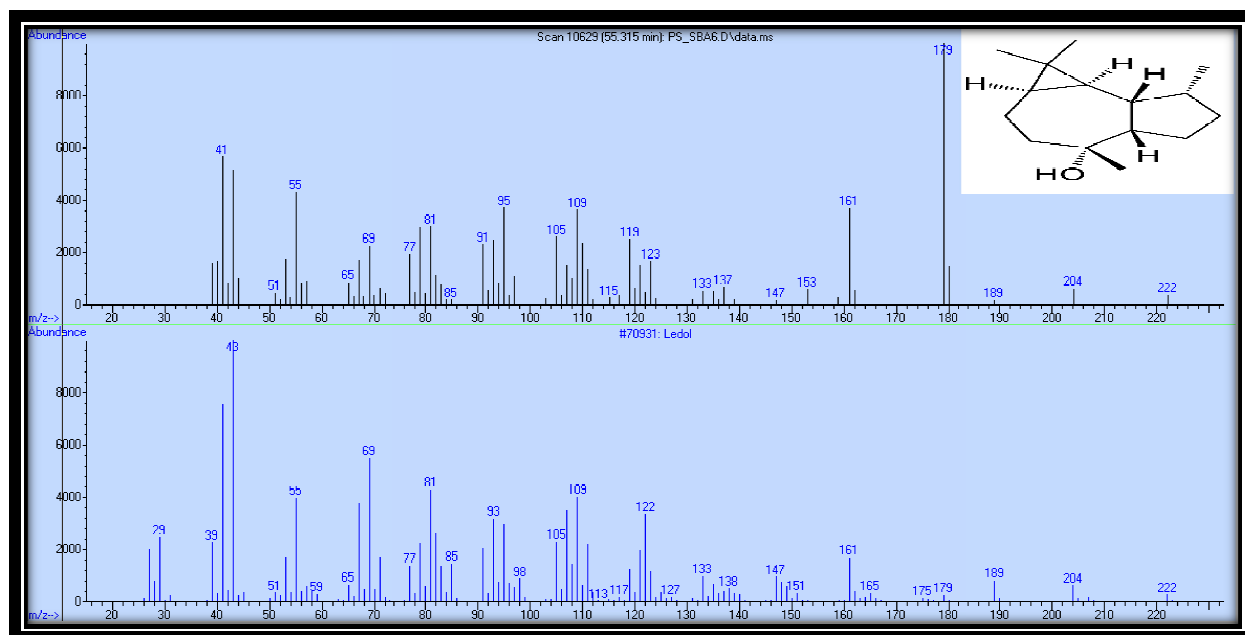


Figure 27 : Spectre GC/MS et la structure chimique de ledol de l'huile essentielle de fenugrec.

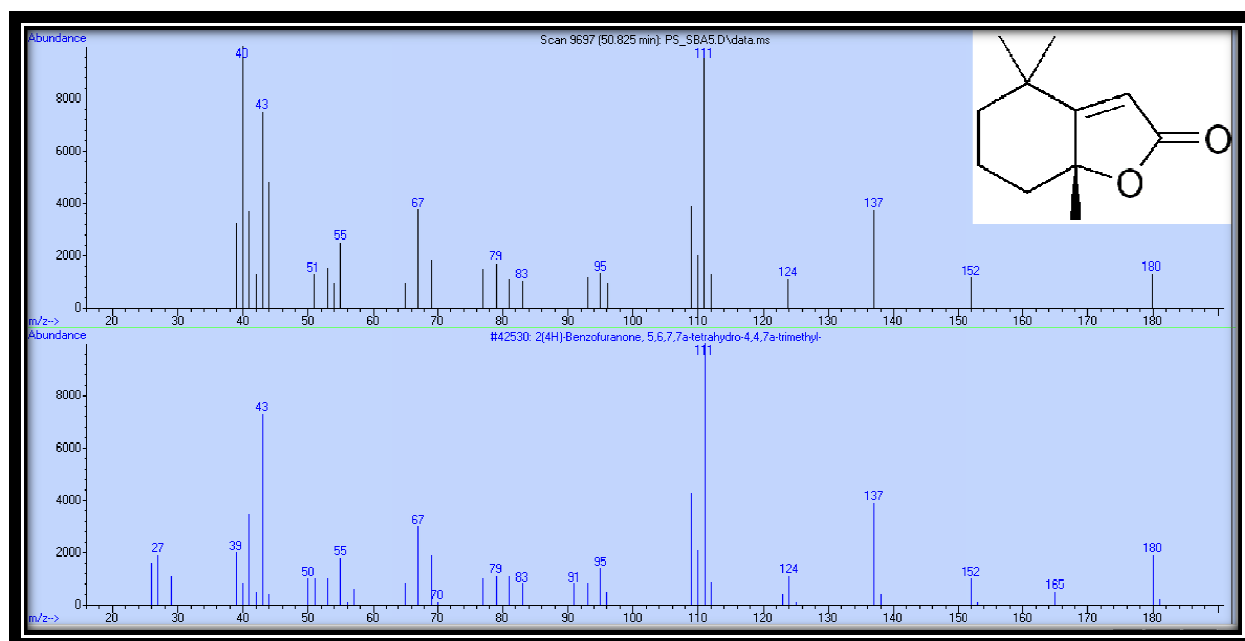


Figure 28 : Spectre GC/MS et la structure chimique de dihydroactinidiolide de l'huile essentielle de fenugrec.

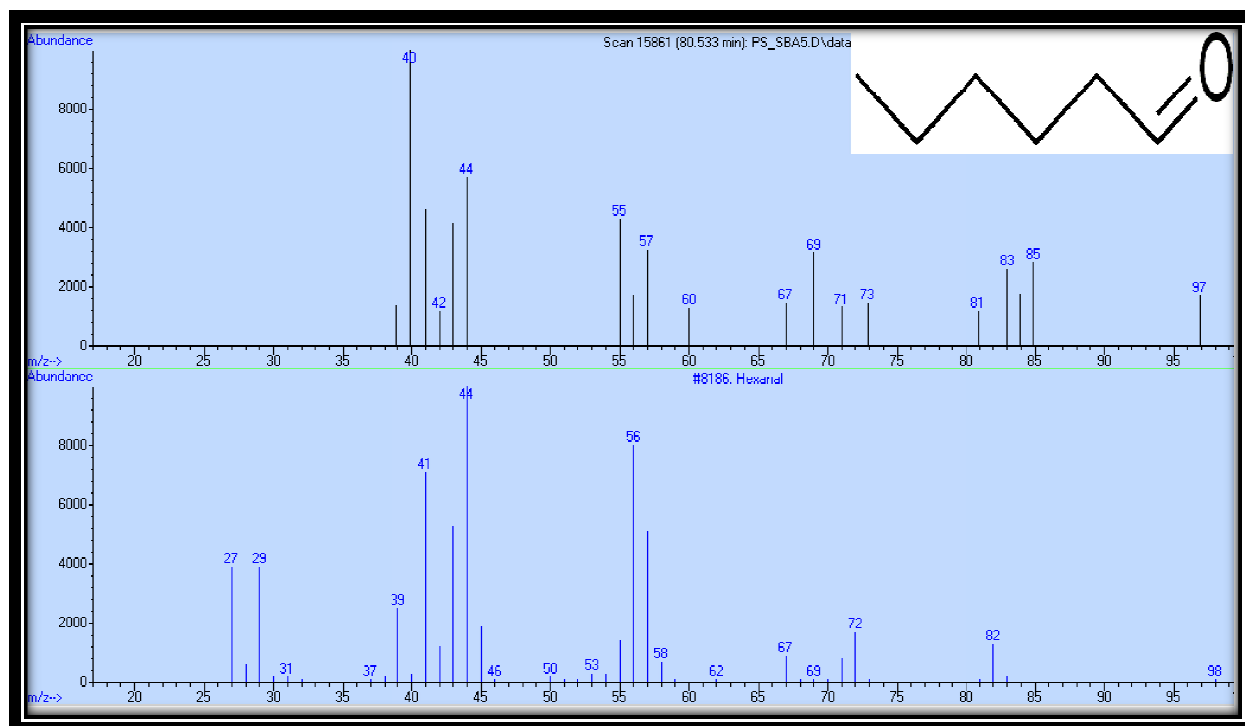


Figure 29 : Spectre GC/MS et la structure chimique de hexanal de l'huile essentielle de fenugrec.

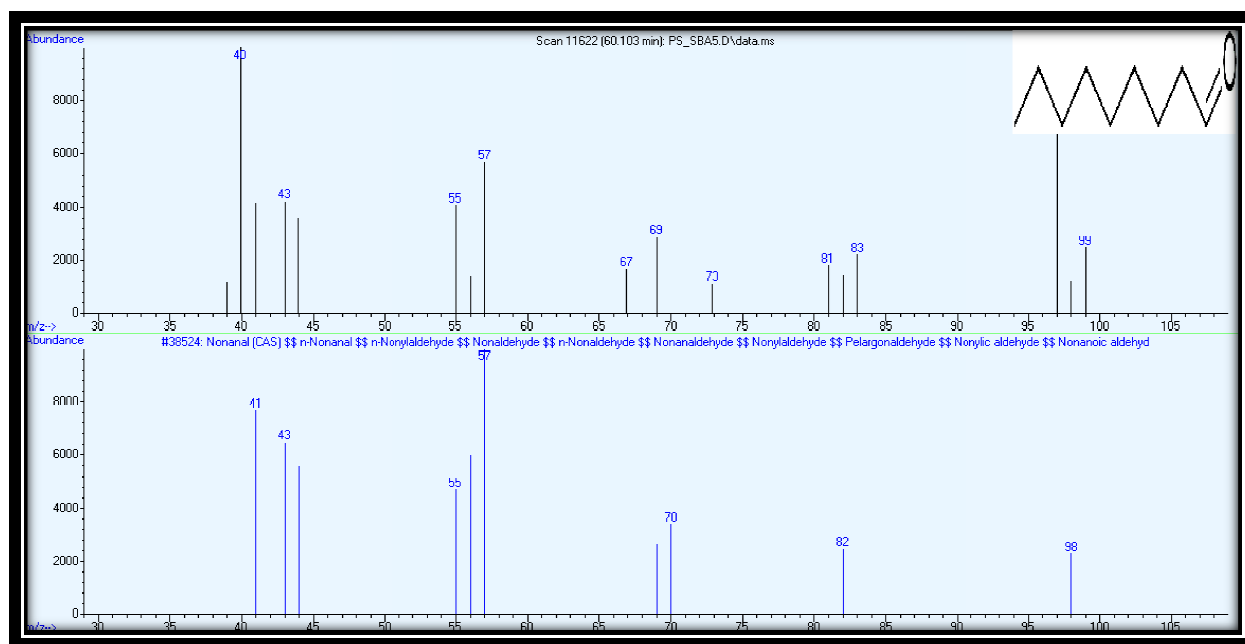


Figure 30 : Spectre GC/MS et la structure chimique de nonanal de l'huile essentielle de fenugrec.

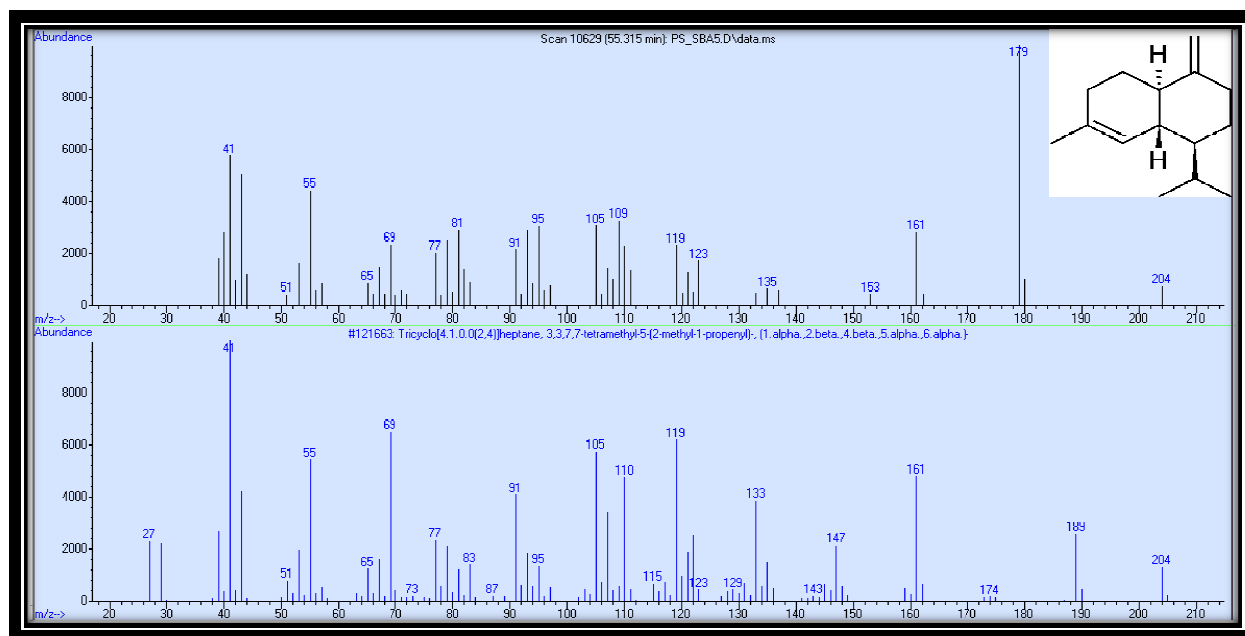


Figure 31 : Spectre GC/MS et la structure chimique de gamma-cadinene de l'huile essentielle de fenugrec.

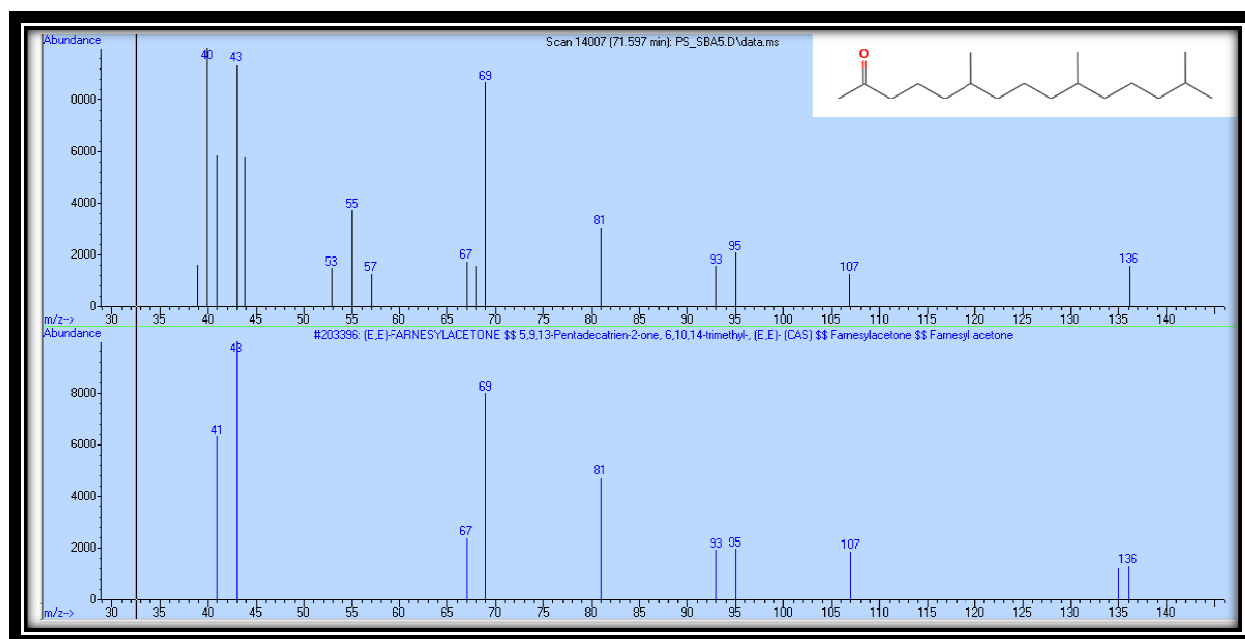


Figure 32 : Spectre GC/MS et la structure chimique de hexahydrofarnesyl acétone de l'huile essentielle de fenugrec.

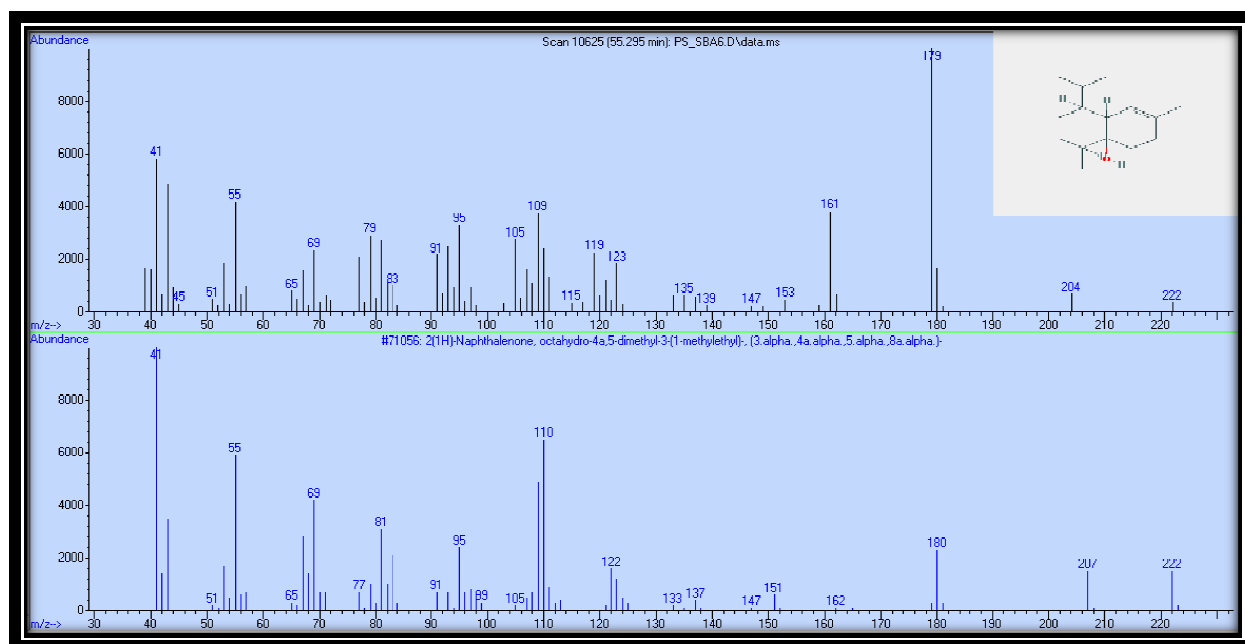


Figure 33 : Spectre GC/MS et la structure chimique de 1-épi-cubenol de l'huile essentielle de fenugrec.

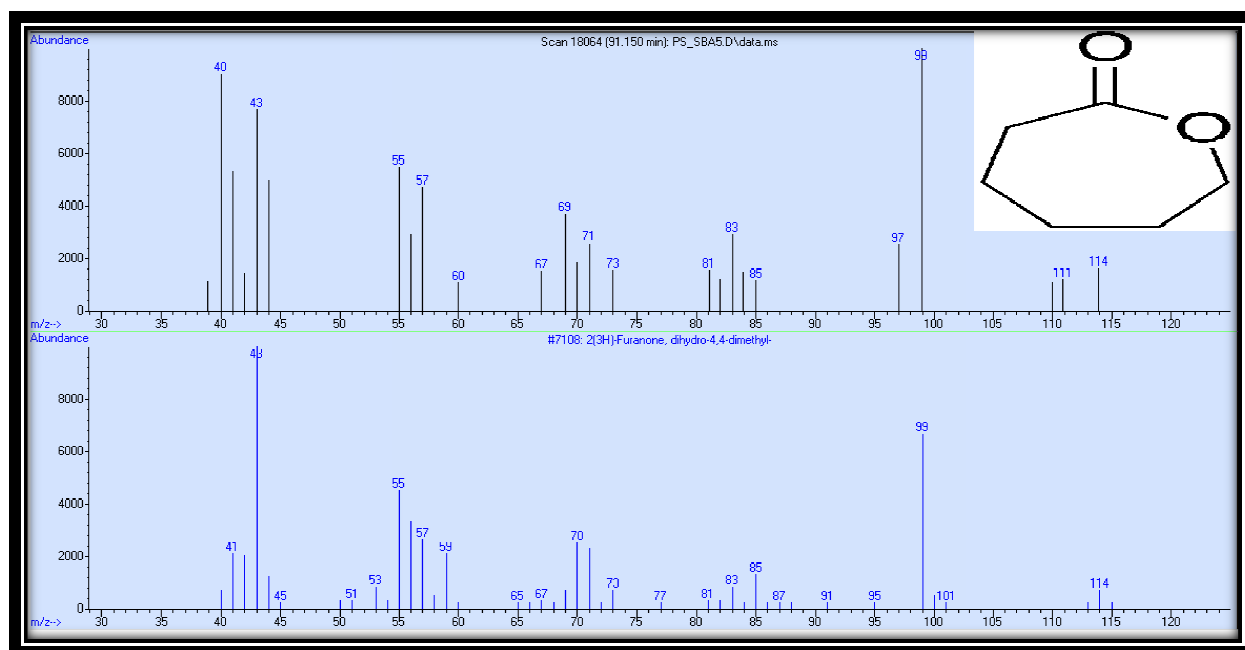


Figure 34 : Spectre GC/MS et la structure chimique de Gamma-caprolactone de l'huile essentielle de fenugrec.

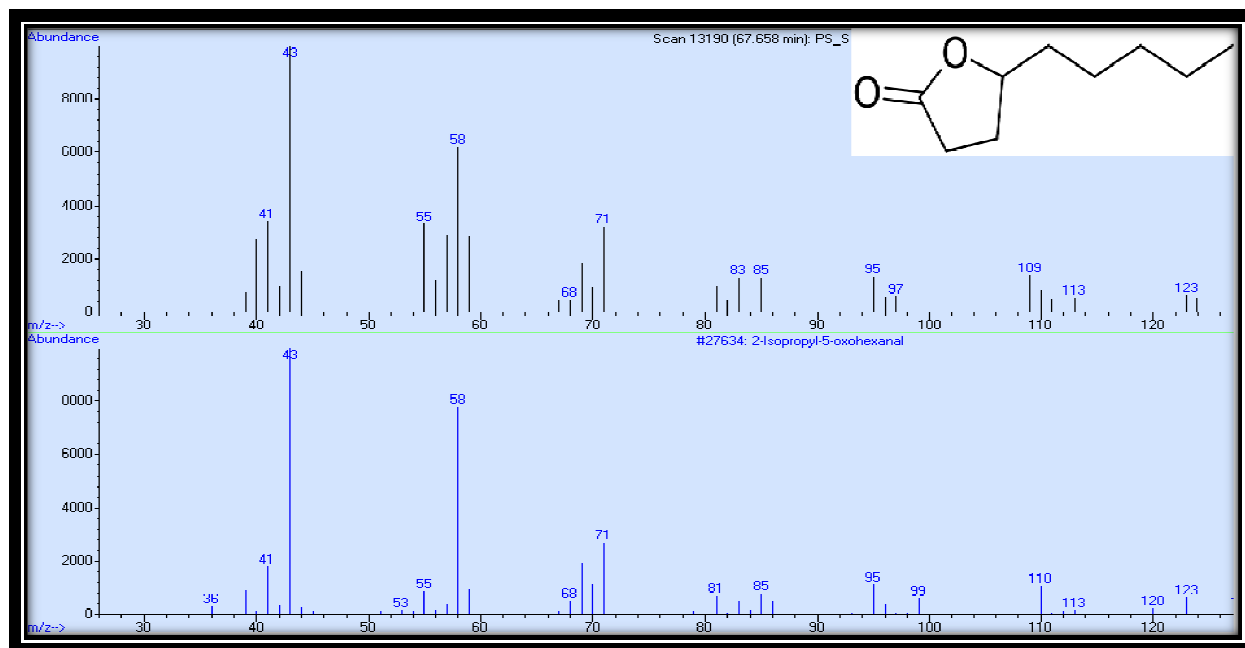


Figure 35 : Spectre GC/MS et la structure chimique de Gamma-nonalactone de l'huile essentielle de fenugrec.

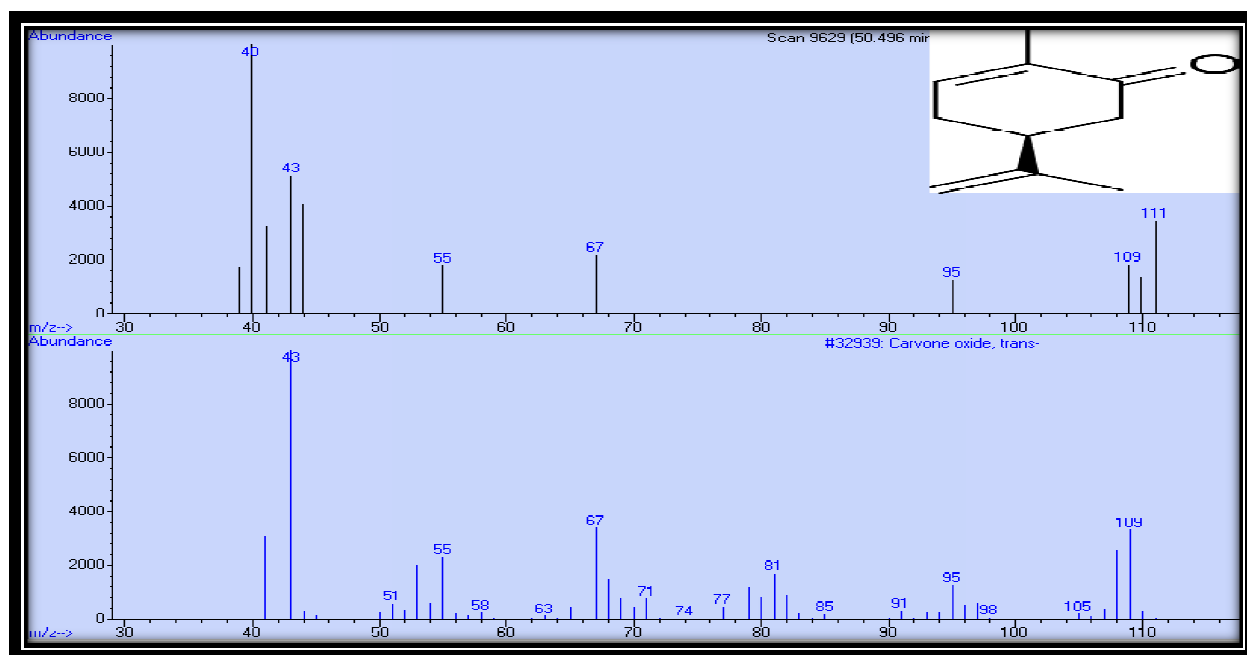


Figure 36 : Spectre GC/MS et la structure chimique de Carvone de l'huile essentielle de fenugrec.

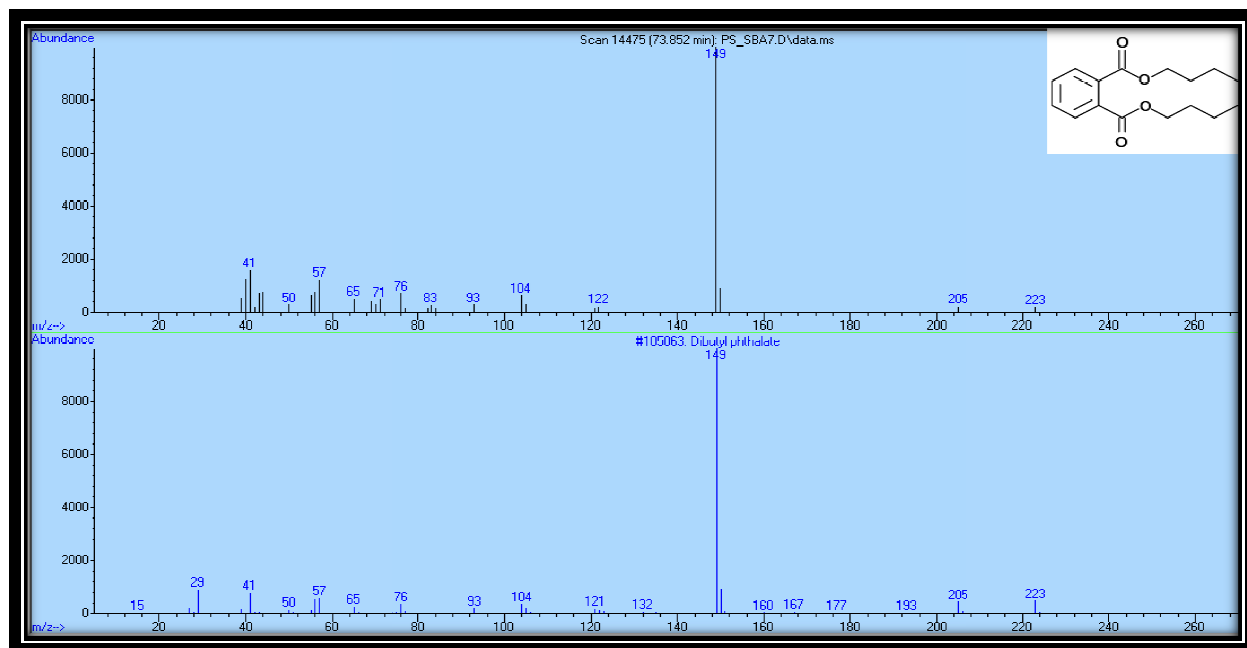


Figure 37 : Spectre GC/MS et la structure chimique de Dibutyl phthalate de l'huile essentielle de fenugrec.

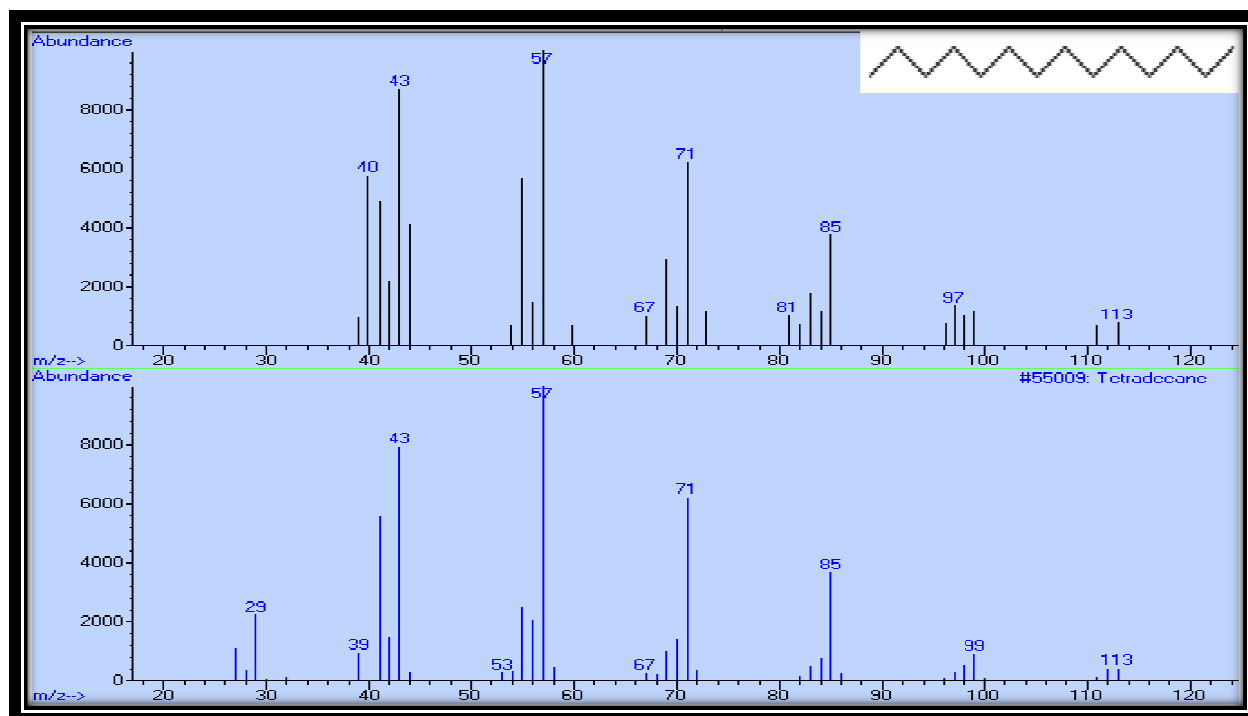


Figure 38 : Spectre GC/MS et la structure chimique de Tétradécane de l'huile essentielle de fenugrec.

Les composés sesquiterpéniques (Viridiflorol, ledol, 1-épi-cubenol et gamma-cadinene), le monoterpène Dihydroactinidiolide, les cétones (carvone, gamma-nonanolactone, gamma-caprolactone et hexahydrofarnesyl acétone) et les aldéhydes (hexanal et nonanal) sont présents en quantité appréciable. Le dibutyl phthalate et le tétradécane sont présents aussi en faible quantité dans les huiles essentielles des quatre variétés (Figure 39).

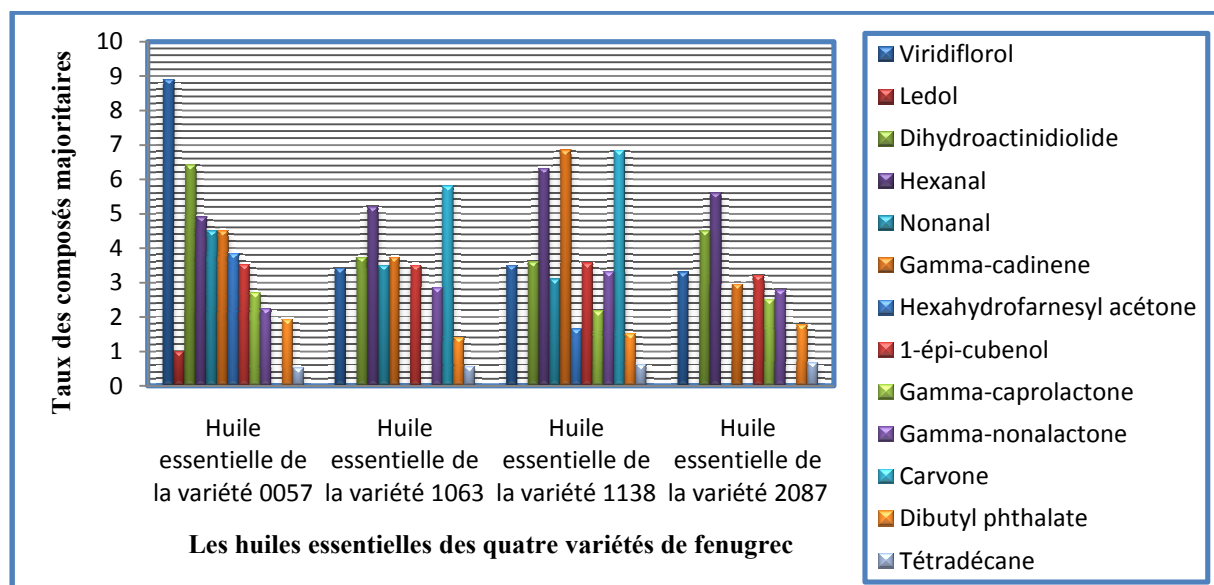


Figure 39 : Composés majoritaires identifiés dans l'huile essentielle des graines de fenugrec.

Les résultats de la composition chimique des huiles essentielles extraites des graines de *Trigonella foenum-graecum* L. des quatre graines étudiées, montrent un certain degré d'homogénéité et de stabilité, d'un point de vue qualitatif, à l'exception de certains composés présents dans certaines huiles et absentes dans d'autres. Il y avait des différences significatives dans les teneurs des principaux composants.

De ce fait, le facteur intra-variétés être la cause de cette variabilité. Donc il faudrait mener une étude génétique pour mettre en évidence la cause exacte de cette variabilité.

Les études menées sur l'huile essentielle de *Trigonella foenum-graecum* L. sont un peu rares, pour cela nous avons comparés nos résultats à celles trouvés pour des populations de fenugrec poussant en Tunisie, France, Italie, Iran. Cette comparaison révèle beaucoup de similitudes.

En effet, les sesquiterpènes et les cétones ce sont les deux classes chimiques principales identifiées dans le profil chimique des huiles essentielles de fenugrec (**Girardon et al., 1985 ; Mazza et al., 2002 ; Mebazaa et al., 2009 et Hajizadeh et al., 2014**).

Mebaza et al., 2009, ont étudié la caractérisation des composés volatiles des graines de fenugrec d'origine Tunisien. Ils ont noté l'identification de 67 composés dont certains signalé pour la première fois dans les graines de fenugrec (par exemple plusieurs pyrazines, 2,5-diméthyl-4-hydroxy-3 (2H) -furanone ou 1- épi-cubenol).

Girardon et al., 1985, qui ont travaillé sur les graines de fenugrec comme plante aromatique du France, ont identifié 39 composés, y compris les n-alcanes, sesquiterpènes et certains composés oxygénés. Les principaux composants sont le n-hexanol, l'acide heptanoïque, dihydroactinoliolide, dihydrobenzofuranne, tétradécane, a-murolène, b-élémane et pentadécane. Le composant d'arôme dominant est un terpénoïde hémi-lactone, le sotolon (3-hydroxy-4,5-diméthyl-2 (5H) –furanone) (Girardon et al., 1989).

Mazza et al., 2002, ont déterminé la composition d'huile volatile des graines de fenugrec de la région de Sicile (Italie) extraite par des différentes méthodes. L'analyse de l'extraction par la microextraction sur phase solide (SPME) des graines de fenugrec indique la présence des composés carbonyles (hexanal, le 2-méthyl-2-buténal, le 3-octène-2-one, le trans-cis et trans-trans-3,5-octadiène-2-one), des hydrocarbures sesquiterpéniques (delta-élémane, gamma-cadinène et le alpha-murolène), des alcools (pentanol, l'hexanol, le 2-méthyl-2-butène-1-ol, le 1-octène-3-ol) des composés hétérocycliques (3-hydroxy-4,5-diméthyl-2 (5H)-furanone (gamma-nonolactone), la dihydro-5-éthyl-2(3H)-furanone (gamma-

caprolactone) et d'autres composés furanniques. En outre, l'analyse des extraits méthanolique, aqueux et du dichlorométhane, montre la présence des composés à point d'ébullition élevé, les acides saturés et les acides insaturés à longue chaîne, tels que les acides oléique, linoléique et linolénique.

18 composés ont été identifiés dans l'huile essentielle d'une espèce endémique de l'Ouest d'Iran, parmi les composés majoritaires de cette huile pentacosane (27,3%), spathulenol (17,3%), et hexahydroxyfarnesyl acétone (6,7%) (**Ranjbar et al., 2009**). Par contre une notre étude menée sur une espèce de fenugrec d'Iran est indiqué l'identification de 30 composés. Les principaux composés sont dibutylphtalate (10,3%), de l'hexanal (9,5%) et nonanal (6,6%) (**Esmaili et al., 2012**). En revanche, **Hajizedh et al., 2014**, ont identifié d-Germacrene (33,0%), bicyclogermacrene (26,0%) et viridiflorol (5,3%) comme des composés majoritaire dans l'huile essentielle d'une espèce de fenugrec d'Iran.

La nature du sol, les aspects culturels comme la densité de culture, l'alimentation en eau, l'apport d'engrais affectent d'une manière déterminante la qualité et le rendement des huiles essentielles.

Par contre, les facteurs intrinsèques sont des variables qui dépendent de la plante elle-même (Génétique, localisation et maturité).

Les paramètres technologiques se résument surtout dans le mode d'extraction de l'huile essentielle qui marque son empreinte sur la composition chimique et le rendement de celle-ci. Ces multiples et divers paramètres sont liés entre eux et constituent un ensemble qui interfère au niveau du produit obtenu (**Toumi-Benali, 2008**).

Pour conclure on peut dire que les analyses biochimiques ont mis en valeur *Trigonella fornum-graecum* L., tout en prouvant qu'elle n'est pas seulement une plante fourragère mais en raison de ses potentialités nutritives, sa richesse d'un point de vue phytochimique (Phénols, saponines et huiles essentielles) et ses propriétés antioxydantes, hypoglycémique et activités hypocholestérolémiants, le fenugrec est considéré comme une plante médicinale utilisée dans la phytothérapie complémentaire pour le traitement des maladies à titre d'exemple le diabète.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre de la valorisation des plantes fourragères et médicinales dans la wilaya de Sidi Bel Abbés, Nord Ouest de l'Algérie, notre recherche a porté sur l'étude de l'espèce *Trigonella foneum-graecum* L. cultivée dans la station de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique INRA Lamtar.

L'étude de la germination des graines de fenugrec nous a montré que la température optimale de la germination de ces graines est de 25°C.

Il est important de noter que l'analyse physico-chimique des graines de fenugrec montre que ces graines sont riches en protéines, lipides, cellulose et en minéraux et une valeur nutritive très élevée. Pour cela, le fenugrec est considéré comme une bonne source et une véritable réserve des substances nutritives. Par conséquent, les graines de cette plante peut être utilisées comme aliment de fourrage de bonne qualité et de luxe pour le bétail et un aliment important dans les fortifications alimentaires et l'amélioration de la supplémentation en micronutriments pour soulager la faim, les carences en micronutriments pour des enfants africains et des pauvres dans l'ensemble.

La quantification des composés phénoliques des graines de fenugrec nous a montré une hétérogénéité des teneurs en phénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés, cette variation est en fonction de ces variétés.

L'étude de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des graines de *Trigonella foenum-graceum* L., par la méthode du piégeage du radical libre DPPH, a mis en évidence une bonne corrélation entre la teneur en phénols totaux, en flavonoïdes, en tanins condensés et la concentration de l'extrait méthanoliques d'une part et le pouvoir antioxydant d'un autre part.

Le rendement des huiles essentielles issues des graines de quatre variétés de fenugrec par l'hydrodistillation à l'aide d'un dispositif de type Clevenger est moyen. Ces huiles sont analysées par CPG couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

Les huiles essentielles des différentes variétés (0057, 1063, 1138 et 2087) de *Trigonella foenu-graecum* L. sont caractérisées par ses richesses en sesquiterpènes (18,95-27,82%) de l'huile totale, en cétones (6,88-18,86%), en hydrocarbures aliphatiques (7,48-10,09%) et en aldéhydes (5,6-9,42%).

En revanche, les monoterpènes, les esters, les alcools sont présents en faible quantité. Il est à noter que les composés majoritaires pour toutes les variétés sont : Viridiflorol, ledol, dihydroactinidiolode, 1-épi-cubeol, gamma-cadinene, hexanal, nonanal, carvone, gamma-nonanolactone, gamma-caprolactone, hexahydrofarnesyl acétone, dibutyl phthalate et tétradécane.

L'étude de la variabilité intra spécifique de fenugrec réalisée sur les quatre variétés cultivées dans l'Ouest d'Algérie, montre que les profils chimiques des huiles essentielles présentent une très grande homogénéité. En revanche, les résultats des analyses des huiles essentielles révèlent que la composition chimique des huiles essentielles varie, en point de vue quantitative, cette variation due à des facteurs intrinsèques (génotypes, maturité) de la variété elle-même.

Pour conclure, le fenugrec d'origine Algérien est susceptible d'avoir un intérêt fourragère, médicinale et à l'industrie pharmaceutique au même temps, grâce à sa richesse en substances nutritives, en composés phytochimiques (phénols, saponines et huiles essentielles), ses propriétés antioxydantes, hypoglycémique et activités hypocholestérolémiants.

Toute fois, il serait souhaitable de poursuivre ce travail par une étude de la valorisation d'une saponine stéroïde (diosgénine) qui est le responsable de l'activité hypoglycémique, l'activité hypocholestérolémiant et elle est considérée comme un hormone naturelle essentiellement destinée aux problèmes hormonaux de la femme, notamment à l'heure de la ménopause, est une véritable progestérone végétale d'une part et une étude génétique afin de déterminer que ces variétés s'agissent-ils de la même espèce d'une autre part.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques:

- **Abbas Ali M., Abu Sayeed M., Shahinur Alam M., Sarmina Yeasmin M-S-T., Mohal Khan K. et Muhamad I., 2012.** Characteristics of oils and nutrient contents of nigella sativa linn. and trigonella foenum-graecum seeds. Bull. Chem. Soc. Ethiop, 26(1): 55-64.
- **Abdelnasir M., Elseed A-F., Tongun D., Balgees A., Atta E. et Ali O-H., 2013.** Effects of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) Seeds Saponin on Digestibility, N-Retention, Hematological parameters and blood Metabolites in Rabbits. World's Vet. J. 3(4): 65-73.
- **Acharya S., Srichamroen A., Basu S., Ooraikul B. et Basu T., 2006.** Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Songklanakarin J. Sci. Technol, 28(1): 1-9.
- **Adams R-P., 1995.** Identification of essential oil components by gas chromatography-mass spectrometry. Allured Carol Stream, 450 p.
- **Adish A-A., 1999.** Risk factors for iron deficiency anaemia in preschool children in northern Ethiopia. Public Health Nutr 3:243–52
- **Adrian J. et Frangne R., 1991.** La science Alimentaire de A à Z, Ed. Lavoisier, Paris.
- **Akrout A., Chemli R., Chreif I. et Hammami M., 2001.** Flav. Fragr. J 16, 337-339.
- **Al Jawfi Y., Alsayadi M., Benmansour A., Chabane S.D. et Lazoni Hammadi A., 2013.** I.R.J.P. 4 (9) (2013): 72-76.
- **Ali L., Azad Khan A-K., Hassan Z., et al 1995.** Characterization of the hypoglycemic effects of *Trigonella foenum graecum* seed. Planta Med 61:358–60
- **Amadou D., 1981.** Contribution a l'étude des plantes fourragères de la forêt de bandia (Sénégal), thèse de doctorat d'état, la faculté de médecine et de pharmacie de l'université de dakar, 156P)
- **Amadou D., 2005.** *Etude de la phytochimie et des activites biologiques de Syzygium guineense willd.(myrtaceae).* Thèse de doctorat.Université de Bamako.
- **Amlan K. et Patra J-S., 2010.** A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. Phytochemistry. 71 : 1198–1222.
- **Anita D., Vats S., Singh V. et Ritu M., 2013.** I.J.P.S.R. 4 (2013) 3080-3086.
- **Anthoula Adossides., 2003.** “Plantes Aromatiques et Médicinales”, FAO Projet “Assistance au Recensement Agricole”

- **Arnone A., Camarda L., Merlini L., Nasini G. et Taylor D-A-H., 1977.** Colouring matters of the West Africa red woods *Pterocarpus osun* and *P. santalinus*. J. Chem. Soc. Perkin Trans I, 19, 2116-2118.
- **Arpino P., Prevot A., Sarbinet J., Tranchant J., Vergnol A. et Wittier P., 1995.** Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse, Ed Masson Paris.
- **Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1990.** Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
- **Atta E., Balgees A. et Mangara J-L., 2012.** Effect of Fenugreek (*Trigonella foenmgreacum*) Seed Dietary Levels on Lipid Profile and Body Weight Gain of Rats. Pakistan Journal of Nutrition, 11(11): 1004-1008.
- **Atta M-B., 2003.** Food Chem, 83: 63.
- **Bagard S. et Simon N., 2008.** Physique-Chimie, Tout-en-un, Bréal, p.128.
- **Bakkali F., Averbek S., Averbek D. et Idaomar M., 2008.** Biological effects of essential oils. Food Chemical Toxicology. 46 : 446–475.
- **Baldacchino F., Tramut C., Salem A., Liénard E., Delétré E., Franc M., Martin T., Duvallet G. et Jay-Robert P., 2013.** « The repellency of lemongrass oil against stable flies, tested using video tracking », Parasite, vol. 20, 2013, p. 21 (ISSN 1776-1042, PMID 23759542, DOI 10.1051/parasite/2013021.
- **Baquer N-Z., Kumar P., Taha A., et al., 2011.** Metabolic and molecular action of *Trigonella foenum graecum* (fenugreek) and trace metals in experimental diabetic tissues. J Biosci 36:383–96
- **Barboni T., 2006.** Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes (EGE) et de risques d'incendie. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Corse, p26.
- **Belouad A., 2001.** « Plantes médicinales d'Algérie », Office des Publications Universitaires, Alger, 2001, p. 5-10.
- **Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A.V., Fraser G-R., Colombatto D., McAllister T-A. et al., 2008.** Plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. Animal Feed Science and Technology. 145 : 209–228.
- **Benhammou N., Atik Bekkara F. et Coustard J-M., 2009.** Antioxidant activity of methanolic and water extracts from *Marrubium deserti* de Noë and *Thymelaea microphylla* from Algerian Sahara. Advance in Food Science, 31(4): 194-201.

- **Benhammou N., Atik Bekkara F., Kadifkova Panovska T., 2009.** Antioxidant activity of methanolic extracts and some bioactive compounds of *Atriplex halimus*, C. R. Chimie 12: 1259–1266.
- **Benzieet I-F-F. et Strain J-J., 1996.** The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxydant Power”: The FRAP Assay. *Anal Biochem*, 239: 70-6.
- **Bessas A., Benmoussa L. et Kerarma M., 2007.** Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud Algérien. Mémoire de fin d’étude pour l’obtention du diplôme d’ingénieur d’état en biologie.
- **Beta T., Nam S., Dexter J-E. et Sapirstein H-D., 2005.** Phenolic content and antioxidant activity of pearled ulreat and roller – milled fractions, *Creal Chem*: 390 -393.
- **Bézanger-beauquesne L., Pinkas M., et Torck M. 1986.** Les plantes dans la thérapeutique moderne. Editeur Maloine.469 p.
- **Billaud C. et Adrian J., 2001.** Le fenugrec : composition, valeur nutritionnelle et physiologique. *Sci Alim* 21:3–26
- **Bligh E-G. et Dyer W-A., 1959.** *Can. J. Biochem. Physiol*, 37: 911.
- **Boizot N. et Charpentier J-P., 2006.** *INRA, Paris*, 79-82.
- **Brand-Williams W., Cuvelier M-E. et Berset C., 1995.** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel–Wissenschauf und Technologie*. 28, 25-30.
- **Brochard F., 2013.** Thèse de doctorat en pharmacie. Les compléments alimentaires et les produits diététiques de l’effort commercialisés et utilisés dans la pratique du cyclisme 174p, Université de Nantes (France).
- **Bruneton J., 1993.** Pharmacognosie et phytochimie, plantes médicinales, Tec et Doc Lavoisier. Paris, p 278-279.
- **Bruneton J., 1993.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2eme édition, Tech. et Doc. 915 p.
- **Bruneton J., 1999.** « Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales », Ed. Tec & Doc, Paris, p.483-560.
- **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie- phytochimie, plantes médicinales, 4eme Ed. Tec & Doc, Paris, p.1288.
- **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 2eme édition, Paris : Editions médicales internationales, Tec et Doc Lavoisier, p 1120.
- **Bruneton J., 2005.** Plantes toxiques. Végétaux dangereux pour l’Homme et les animaux. Lavoisier, Paris, 3ème édition.

- **Buronzo A-M., 2008.** Grand guide des huiles essentielles : santé, beauté, bien-être, HACHETTE pratique, p .14.
- **Burt S., 2004.** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94: 223–253.
- **Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P.W., Castillejos L. et Ferret A., 2007.** Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*. 90 : 2580–2595.
- **Campbell J. et Reid J-S-G., 1982.** Galactomannan formation and guanosine 5-diphosphatemannose: galactomannan mannosyl transferase in developing seeds of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L., Leguminosae). *Planta* 155:105–11
- **Cavin A., 1999.** *Investigation phytochimique des trois plantes indonésiennes aux propriétés antioxydantes et antiradicalaires : Tinospora crisp (MENISPERNACEAE), Merremia emarginata (CONVOVULACEAE) et Orepheia eneandra (ANNONACEAE).* Thèse de Doctorat.Université de Lausanne, p 241.
- **Chabbi R., 2010.** Mémoire de magister. Caractérisation des bactéries isolées à partir du genre *Trigonella* L.(Légumineuses) poussant dans différents écosystèmes de l’Est algérien. 111 p
- **Chaillou L-L. et Nazareno M-A., 2006.** New method to determine antioxidant activity of polyphenols, *J Agric Food Chem*, 54: 8397- 402.
- **Chevassus H., Molinier N., Galtier F., et al., 2007.** Un extrait de graines de fenugrec (fenugrene*) diminue sélectivement la prise de lipides chez l’adulte volontaire sain poster 462 *Endocrinologie - Diabète - Marseille 2007*
- **Clement J-M., 1981.** Dictionnaire des industries alimentaires. Ed. Masson; 1146p.
- **Combrinck S., Du Plooy G-W., Mccrindle R-I. et Botha B-M., 2007.** Morphology and Histochemistry of the Glandular Trichomes of *Lippia scaberrima* (Verbenaceae). *Annals of botany*. 99 (6) : 1111–1119.
- **Cuendet M., 1999.** Recherche de nouveaux composés capteurs de radicaux libres et antioxydants à partir d’une plante d’Indonésie : « *Fagraea blumei* » (Loganiaceae) et de trois plantes d’altitude : « *Bartsia alpina* » (Scrophulariaceae), « *Loiseleuria procumbens* » (Ericaceae) et Camp, Thèse de doctorat, p 24.

- **Debelmas A-M. et Delaveau P., 1983.** Guide des plantes dangereuses, IIème, édition. Paris, 200p.
- **Decaux I., 2002.** Phytothérapie: mode d'emploi, Ed : Le Bien Public, 6-7.
- **Delaquis R-J., Stanich K., Girard B. et Massa G., 2002.** Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. *International Journal of Food Microbiology*. 74 : 101–109.
- **Demarquilly C. et WEISS P., 1970.** Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. INRA SEI étude n°42. INRA Versailles.
- **Derbal N., 2015.** Etude de la variation spatio-temporelle de certaines caractéristiques technologiques de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 76p.
- **Diplok A-T., 1991.** Antioxydant nutriments and disease prevention: an Overview. *Am J Clin Nutr*: 53 (suppl): 189S-93S.
- **Dixit P., Ghaskadbi S., Mohan H. et Devasagayam T-P., 2005.** P.T.R. 19(11) (2005) 977–983.
- **Doepel L., Montgomery J. et KIN J., 2007.** La luzerne détrônée par le fenugrec? LE PRODUCTEUR DE LAIT QUÉBÉCOIS 37-38.
- **Dorman H-J-D. et Deans S-G., 2000.** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*. 88 : 308–316.
- **Dudareva N., Pichersky E. et Gershenzon J., 2004.** Biochemistry of plant volatiles. *Plant Physiology*. 135 : 1893–1902.
- **Echevin R., 1964.** Angiospermes I, éditeur Doin pp.496.
- **Elqaj M., Ahami A. et Belghyti D., 2007.** La phytothérapie comme alternative à la résistance des parasites intestinaux aux antiparasitaires. Journée scientifique "ressources naturelles et antibiotiques". Maroc.
- **Esmaili A., Rashidi B. et Rezazadeh S., 2012.** Biological activities of various extracts and chemical composition of *Trigonella monantha* C.A.Mey. subsp. *monantha* grown in Iran. *IJPR*, 11:1127-1136.
- **Fabre A-J., 2003.** Mythologie et plantes médicinales de l'Antiquité, histoire des sciences médicales-Tome XXXVII N°1.

- **Favier A., 2003.** Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Actualité en chimie*, 108-115.
- **Ferdinand A., Kiehn. et Mel Reimer., 1993.** Cultures de remplacement pour les prairies. Station de recherches Morden (Man.), Publication 1887/F.
- **Fouché J-G., Marquet A. et Hambuckers A., 2000.** Les plantes médicinales de la plante au médicament, Exposition temporaire du 19.09. au 30.06.2000
- **Frankel E-N., 1998.** Lipid oxidation. Dundee, UK : The Oily Press.
- **Ghedira K., Goetz P. et Le Jeune R., 2010.** Fenugrec : *Trigonella foenum graecum* L. (Fabaceae ex. Leguminosae) *Phytothérapie* 3:180–4
- **Girardon P., Bessiere J-M., Baccou J-C. et Sauvaire Y., 1985.** Volatile constituents of fenugreek seeds. *Planta Medica* 6, 533–534.
- **Girardon P., Sauvaire Y., Baccou J-C. et Bessiere, J-M., 1989.** Identification de la 3-hydroxy-4,5- dimethyl-2(5H)-furanone dans l'arome des graines Fenugrec (*Trigonella foenum graecum* L.). *Lebensmittel-Wissenschaft Und-technologie* 19, 44-46.
- **Gonzalez A-G. et Estevez-Braun A., 1997.** Coumarins, *Nat. Prod. Reprod*, 14 : 465-475.
- **Gravot A., 2008.** Introduction au métabolisme secondaire chez les végétaux. Equipépédagogique Physiologie Végétale, UMR 118 APBV. Université de Rennes 1 – L2.
- **Guerin H., 1999.** Valeur alimentaire des fourrages tropicaux cultivés. Pp. 93-141. In: Roberge G. & Toutain B. (Editeurs). *Cultures fourragères tropicales*. CIRAD. Montpellier. France.
- **Guignard J-I., 1994.** Abrégé de botanique, 9eme édition, édition Masson, 276p.
- **Guignard J-L., 2004.** Botanique systématique moléculaire 13ème édition, éditeur Masson 284p.
- **Gupta A., 2001.** Effect of *Trigonellafoenum-graecum* (fenugreek) seeds on glycaemic control and insulin resistance in type II diabete mellitus: a double-blind, placebo controlled study. *J Assoc Phys India* 49:1057–61
- **Gutteridge J-M., 1993.** Free radicals in disease processes: a compilation of cause and consequence, *Free Radic Res Commun*, 19:141-158.
- **Haieb I., Harzallah-Skhiri F. et Cheml R., 1999.** Contribution à une étude ethnobotanique de la flore en Tunisie (cas de la région de Sfax); travaux de fin d'études E.S.H.E

- **Hajizadeh A., Emami S-A., Chamsaz M. et Asili J., 2014.** Identification of volatile oil components from aerial parts of *Trigonella torbatjamensis* Ranjbar by GC-FID and GC-MS methods. *Iran J Basic Med Sci*, Vol. 17, N°. 7, 537-540.
- **Halliwell B. et Gutteridge J-M-C., 1999.** Free radicals in biology and medicine, Oxford, UK.
- **Hamadache A., 2001.** Les ressources fourragères actuelles en Algérie. Situation et possibilité d'amélioration. In Actes de l'atelier national sur la stratégie du développement des cultures fourragères en Algérie. Ed. ITGC, 79p
- **Harborne J-B., 1998.** Phytochemical methods. A guide to modern techniques of plants analysis. Third Edition. ISBN: 0-412-57260-5 (HB) and 0-412-57270-2 (PB).
- **Harchane H., El Addas H., Amsaguine S., et al., 2012.** Effets de l'extrait aqueux des graines du fenugrec (*Trigonella foenum graecum*) sur l'amélioration du profil lipidique et la prise de poids chez le rat. *Phytothérapie* 10:357–62
- **Hart K-J., Yáñez-Ruiz D-R., Duval S-M., McEwan N-R. et Newbold C-J., 2008.** Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*. 147 : 8–35.
- **Hemingway R-W., 1992.** Structural variation in proanthocyanidins and their derivatives. In: *Plant polyphenols: synthesis, properties, significance*. Laks P.E, Hemingway R.W New York.
- **Igor Passi L-B., 2002.** *Etude des activités biologiques de Fagara zanthoxyloides Lam. (Rutaceae)*. Thèse de pharmacie. Université de Bamako, p 133.
- **Iserin P., 2001.** Encyclopédie des plantes médicinales. London, ypoly Edith Ybert, Tatiana Delasalle- Feat. Vol 01, 335p.
- **Jarrige R., 1988.** Alimentation des bovins, ovins et caprins ; Ed. INRA, PARIS, 471p. Journet E.P., 2001. Ecole thématique Biologie végétale.
- **Julkunen-Titto R., 1985.** *J. Agric. Food Chem.* 33 : 213-217.
- **Kansole M-M-R., 2009.** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de quelques lamiaceae du Burkina Faso: cas de *Leucas martinicensis* (Jacquin) R. Brown-Hoslundia opposita vahl et *Orthosiphon pallidus* royle ex benth. Mémoire pour obtenir un diplôme Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A) en Sciences Biologiques Appliquées, Burkina Faso.

- **Karray-Bouraoui N., Rabhi M., Neffati M., Baldan B., Ranieri A., Marzouk B. et al., 2009.** Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. *Industrial Crops and Products*. 30 : 338–343.
- **Kochhar A., Nagi M. et Sachdeva R., 2006.** Proximate Composition, Available Carbohydrates, Dietary Fibre and Anti Nutritional Factors of Selected Traditional Medicinal Plants *J. Hum. Ecol.*, 19(3): 195-199.
- **Kumaravel S. et Alagusundaram K., 2014.** Determination of Mineral Content in Indian Spices by ICP-OES. *Oriental journal of chemistry*, 30(2): 631-636.
- **Lapeyronie A., 1982.** La production fourragère méditerranéenne. Ed. GP Maison Neuve et la rose Paris, 425p.
- **Larousse, 2001.** Encyclopédie des plantes médicinales : identification, préparation et soins. 2ème Edition, Edition Larousse. Paris.
- **Lazouni H-A., Benmansour A., Taleb-Bendiab S-A. et Chabane sari D., 2007.** Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum vulgare* Mill. *Sciences & Technologie*, 25: 7-12.
- **Lebham., 2005.** Thèse au laboratoire d'Ecophysiologie et de Biotechnologie des Halophytes et des Algues au sein de l'Institut Universitaire Européen de la Mer. (IVEM). Université de Bretagne Occidentale (UBO).
- **Leena S., Priyanka S., Sheema B., Anupma M., Pooja B. et Sunita D., 2014.** *Asian Pac. J. Health Sci.* 1(3): 219-226
- **Lejoly J., 2005.** Biologie végétale, BIOL-J-1-02 VOLUME II, Systématique des plantes à fleurs en relation avec les principales plantes médicinales, Université Libre de Bruxelles, Institut de pharmacie.
- **Lesgards J-F., 2000.** Contribution à l'étude du statut antioxydant de l'homme; aspect chimiques et biochimique. Thèse de doctorat, 19-20.
- **Lugasi A., Hovari J., Sagi K-V. et Biro L., 2003.** The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta. Biologica Szegedensis* 1-4: 119-125.
- **Macheix J., 2005.** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple des métabolismes secondaires d'une importance économique (éd. universitaire Romandes). Lausanne.
- **Mahmoudi Y., 1980.** La thérapeutique par les plantes communes en Algérie. Palais de livre Blida.

- **Maletić R. et Jevdjović R., 2007.** Sowing date –the factor of yield and quality of Fenugreek seed (*Trigonella foenum graecum* L). *J Agricult Sci* 52 : 1-8
- **Manatas S., 1984.** La pharmacognosie appliquée, Ed. Phytoscience, le pharmacien de France.
- **Marco G-L., 1968.** A rapid method for evaluation of antioxidants. *J Am Oil Chem Soc*, 45 : 594-8.
- **Matkowski A. et Piotrowska M., 2006.** Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae. *Fitoterapia* 77: 346-353.
- **Mazliak P., 1982.** Physiologie végétale, croissance et développement. Tome2. Edition Hermann. Paris, 456p.
- **Mazza G., Tommaso D. et Foti S., 2002.** Volatile constituents of Sicilian fenugreek (*Trigonella foenumgraecum*) seeds. *Sciences des Aliments* 22(3), 249–264.
- **Mebazaa R., Mahmoudi A., Fouchet M., Dos Santos M., Kamissoko F., Nafti A., Ben Cheikh R., Rega B. et Camel V., 2009.** Characterisation of volatile compounds in Tunisian fenugreek seeds. *Food Chemistry* 115, 1326–1336
- **Meghwal M. et Goswami T-K., 2012.** A review on the functional properties, nutritional content, medicinal utilization and potential application of fenugreek. *J Food Processing and Technology*, 3(9): 1-10.
- **Mekkiou R., 2005.** Thèse de doctorat. Recherche et Détermination Structurale des Métabolites Secondaires d'espèces du Genre *Genista* (Fabaceae) : *G. saharae*, *G. ferox* 199 p.
- **Milane H., 2004.** La quercétine et ses dérivés : molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres, études et applications thérapeutiques. Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur en science. Université Louis Pasteur. Strasbourg.
- **Miller H-E., 1971.** A simplified method for the evaluation of antioxidants, *J Am Oil Chem Soc*, 48: 91.
- **Molyneux P., 2004.** The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxydant activity, *Song Klama Karin J.Sci. Technol*, 26 (2): 211-219.
- **Moure A., Franco D., Sineiro J., Dom.ingueuz H., Nez M-J. et Lema J-M., 2000.** Evaluation of extracts from *Gevuina avellana* hulls as antioxidants, *J Agric Food Chem*, 48: 3890-7.

- **Muthu C., Ayyanar M., Raja N. et Ignacimuthu S., 2006.** Medicinal plants used by traditional healers in Kancheepuram District of Tamil Nadu, India. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2:43 doi:10.1186/1746-4269-2-43.
- **Mylona P., Pawlowski K. et Bisseling T., 1995.** *Plant. Cell.* 7, pp. 869-885.
- **Ncube N., Finnie J-F. et Van Staden J., 2012.** Quality from the field: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. *South Afr. J. Bot.*, 82: 11 20.
- **OMS., 2002.** Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005. WHO/EDM /TRM /2002.1.
- **Parejo I., Viladomat F., Bastida J. et al., 2003.** Investigation of Bolivian plant extracts for their radical scavenging activity and antioxidant activity, *Life Sci*, 73 : 1667-81.
- **Pecquet C. et Leynadier F., 1998.** Reaction Allergique aux grains de Fenugrec et de Nigelle. Centre d'allergie. Hospital Rothschild. 75012 Paris. 6es Journées Parisiennes d'allergie. *Allergie générale*Re/fr.Allergol 37, 8
- **Petit P., Sauvaire Y., Hillaire-Buys D. et al., 1995.** Steroid saponins from fenugreek seeds: extraction, purification, and pharmacological investigation on feedingbehavior and plasma cholesterol. *Steroids* 10:674–80
- **Petropoulos G-A., 2002.** Fenugreek. The genus *Trigonella*. Edition Taylor & Francis New York. Severe Conditions and in an Arid Climate. *Microbiol Mol Biol Rev* 63:968–89
- **Pincemail J. et Defraigne J-D., 2004.** Les antioxydants un vaste réseau de defenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène. Service de Chirurgie Cardio-vasculaire, Pro biox SA. Sart Tilman 4000 Liège, Belgique.
- **Pratt D. et Miller E., 1984.** A flavonoid antioxidant in spanish peanuts (*Arachia hypogoea*), *J Am Oil Chem Soc*; 61: 1064-7.
- **Price M-L., Van Scoyoc S. et Butler L-G., 1978.** *J. Agric. Food Chem.* 26: 1214-1218.
- **Priya V., Jananie R-K. et Vijayalakshmi K., 2011.** *IJPSR.* 2(10): 2704-2708.
- **Pruthi J-S., 1976.** Spices and Condiments. National Book Trust, New Delhi, India, pp. 117–121.
- **Pulido R., Bravo L. et Saura-Calixto F., 2000.** Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay, *J Agric Food Chem*, 48 (8): 3396 -3402.
- **Quezel P. et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des région désertiques méridionales. CNRS, Paris

- **Ramachandraiah O-S., Reddy P-N., Azeemoddin G., Ramayya D-A. et Rao S-D-T., 1986.** Essential and fatty oil content in umbelliferous and fenugreek seeds of Andhra Pradesh habitat. *Indian Cocoa, Arecanut and Spices Journal* 10(1), 12.
- **Ramousse R., Le Berre M. et Le Guelte L., 1996.** Introduction aux statistiques. Etudes et analyses comportementales, volume 1, numéro 4, 202-268.
- **Ramya P., Sudisha J., Devi N-L. et Aradhya S-M., 2011.** *Res. J. Med. Plant.*
- **Ranjbar M., Karamian R. et Hajmoradi Z., 2009.** Composition of the essential oil of *Trigonella disperma* from Iran. *Chem. Nat. Comp.* 2009; 45:116-117.
- **Rashmi Y., Rahul k. et Dipeeka G.,** The Health Benefits Of *Trigonella Foenum-Graecum*: A Review. *Internat J Engin Res Applic* 1:32-5
- **Reid J-S-G. et Bewley J-D., 1979.** A dual role for the endosperm and its galactomannan reserves in the germinative physiology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*), an endospermic leguminous seed. *Planta*, 147: 145-50.
- **Ribereau G-P., 1968.** *Dunod, Paris.*
- **Roulier G., 1992.** Les huiles essentielles pour votre santé. Traité pratique d'aromathérapie propriétés et indications thérapeutiques des essences de plantes, Ed. Dangles, France.
- **Salhi S., Fadli M., Zidane L. et Douira A., 2010.** Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc) *Lazaroa* 31: 133–46
- **Sanchez-Moreno C., Larrauri J-A. et Saura-Calixto F., 1998.** *J. Sci Food. Agric.* 76 : 270–276.
- **Sangwan N-S., Farooqi A-H-A., Shabih F. et Sangwan R-S., 2001.** Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation.* 34: 3–21.
- **Sankarikutty B., Sumathykutty M-A., Bhat A-V. et Mathew A-G., 1978.** Studies on extractions of oils and oleoresins from cumin, fennel and fenugreek. *Indian Arecanut, Spices and Cocoa Journal* 2(2), 25–30.
- **Sassi M., 2008.** Les plantes médicinales. Dar el fikr . Tunis.
- **Saxena S-N., Sourabh., Saxena R., Sharma T., Sharma Y-K., Kakani R-K. et Anwer M-M., 2011.** *Inter. j. Seed Spices.* (1) : 38-43.
- **Sidibé F., 2003.** *Etude phytochimique et pharmacologique de Stereospermum kunthianum Cham. (Bignoniaceae).* Thèse de Pharmacie. Université de Bamako.

- **Singh T., Singh V-P. et Singh R-K., 1990.** Evaluation of best temperature and medium for testing germination of fenugreek seeds in laboratory. *Journal Seed Research*, 18(1): 31-33.
- **Singleton V-L. et Rossi J-A., 1965.** *Amer. J. Enol. Viticult.* 16 (1965) 144-158.
- **Skalli S., 2006.** Malformations associées à la prise de fenugrec au cours de la grossesse. Bulletin préparé par le Centre Marocain de Pharmacovigilance Vol 3, No 11
- **Sofowara A., 2005.** Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Ed. Karthala, p.5.
- **Soltner D., 1986.** Alimentation des animaux domestiques. 17^{ème} Ed. Collection sciences et technique agricoles. 399 p.
- **Soltner D., 1999.** Les grandes productions végétales. 19^{ème} Ed. Collection sciences et technique agricoles pp 391-449.
- **Spyropoulos C-G. et Reid J-S-G., 1985.** Regulation of α -galactosidase activity and the hydrolysis of galactomannan in the endosperm of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed. *Planta*, 166: 271-5.
- **Thomas O-P., 2009.** Métabolisme secondaire et Biosynthèse. Master 2 VEM. Université Nice Sophia Antipolis.
- **Toumi-Bénali F., 2008.** Valorisation de *Tetralinis articulata* Vahl dans la mise en valeur des espaces dégradés dans l'Ouest algérien. Possibilités de culture, de régénération et potentialités phytochimiques de l'espèce. Thèse de doctorat, Université de Sidi Bel Abbes, 198 p.
- **Van den Dool H. et Kratz P., 1963.** A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography*, 11: 463-471.
- **Vermerris W., 2006.** Phenolic compound biochemistry, Springer, Dordrecht. ISBN-10 1-4020-5163-8 (HB).
- **Von Gadow A., Joubert E. et Hansmann C-F., 1997.** Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of rooibos tea (*Aspalathus linearis*), α -tocopherol, BHT, and BHA. *J Agric Food Chem*, 45: 632-8.
- **Waleed M-A., 2009.** Technological, chemical and biological studies on fenugreek seeds (*Trigonella foenum graecum* L.). *Magazine Maysan Studies Academy*, 14(7): 59-66.
- **Whitteman P-C., 1980.** Tropical pasture science ; 2^{ème} Ed Rustica Paris, 177p
- **Wichtl M. et Anton R., 2003.** Plantes thérapeutiques. EMI/Tec et Doc, Paris, 216-9

- **Xue W-L., Li X-S., Zhang J. et al., 2007.** Effect of *Trigonella foenum graecum* (fenugreek) extract on blood glucose, blood lipid and hemorheological properties in streptozotocin-induced diabetic rats. *Asia Pac J Clin Nutr* 16 Suppl 1:422–6
- **Yousfi S., 2008.** Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés (Nord-Ouest Algérien). Mémoire de magister, Université de Tlemcen, 66 p.
- **Zhishen J., Mengcheng T. et Jianming W., 1999.** *Food Chem.* 64: 555-559.
- **Ziwar J-B., 2009.** Estimation of Lipid Composition in Fenugreek Seed by GC/MS. Department of Chemistry, Science College, Salahaddin University, Erbil, Iraq, pp: 15-20.

Biblio Net :

Web Master 1: PHYTOTHERAPIE, PLANTES MEDICINALES, AROMATHERAPIE, HUILES ESSENTIELLES (www.phytomania.com).

Web Master 2: Dictionnaire de la langue française : lexis, Paris, Larousse, 1989 (1^{re} éd. 1979) (ISBN 2-03-320211-9), p. 2. MACERER.

Web Master 3: Dictionnaire de l'Académie française, t. 2, Paris, Imprimerie nationale/Fayard, 2005, 8^e éd.

Web Master 4: (en) Katie Rogers, This American Life' bursts Coca-Cola's bubble: What's in that original recipe, anyway? [archive] The Washington Post BlogPost, 15 février 2011, consulté le 16 février 2011.

Web Master 5: (en) Brett Michael Dykes, Did NPR's 'This American Life' discover Coke's secret formula? [archive] The Lookout, Yahoo! News, 15 février 2011.

Web Master 6: (en) David W. Freeman, This American Life' Reveals Coca-Cola's Secret Recipe (Full Ingredient List) [archive] CBS News Health watch blogs, 15 février 2011.

Web Master 7: ↑(en) The Recipe [archive] et image [archive] [PDF], This American Life.

Web Master 8: http://www.plantes-botanique.org/famille_fabaceae Plantes et botanique | Fabaceae (18/9/2014).

Web Master 9: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fabaceae>

Web Master 10: www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/dico/d/medecine

Web Master 11: http://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/127561/tab/taxo

Web Master 12: <http://www.conservation-nature.fr/statut-Foenugraecum%20officinale.html>.

Web Master 13: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fenugrec>

Web Master 14: www.guide-phytosante.org/minceur-nutrition/fenugrec/fenugrecpartie-utilisee.html.

Web Master 15: Les plantes médicinales en Algérie (<http://www.s0s0.org/s0s0/files/6161.pdf>).

Web Master 16: www.markal.fr. (Fiche technique des graines de fenugrec biologiques).

Web Master 17: www.ponroy.com/plantes/F/le-fenugrec (Laboratoires Y. Ponroy).

Web Master 18 : Nutranews. Science, Nutrition, Prévention et Santé, déc 2004.

Annexe I

I. Détermination de la matière sèche :

I.1. Principe :

La matière sèche (MS) constitue la partie d'un produit végétal qui reste une fois que l'eau en a été totalement extraite. Elle est déterminée par séchage à l'étuve ventilée de l'échantillon.

I.2. Protocole :

- Dans un creuset en porcelaine préalablement sèche et tare (t), peser une masse (m) d'échantillon.
- Mettre dans l'étuve à 105°C jusqu'à obtenir une masse d'échantillon constante.
- Refroidir dans un dessiccateur et peser l'ensemble de masse M_0 .
- Déterminer le pourcentage en matière sèche : $\%MS = 100 \times (M_0 - t) / m$

Annexe II

II. Détermination de la matière minérale

II.1. Principe

La matière minérale (MM) représente la partie d'un produit végétal qui reste une fois que la matière organique en a été totalement extraite. Elle est déterminée par calcination de l'échantillon.

II.2. Protocole

- Placer l'échantillon sec préalablement obtenu dans un four porté à 550°C pendant 6 heures.
- Refroidir dans un dessiccateur et peser l'ensemble de masse MM.
- Déterminer le pourcentage de matière minérale : $\%MM = 100 \times (MM - t) / (M_0 - t)$.

Annexe III

III. Détermination des protéines brutes

III.1 Principe

Les quantités de protéines ont été déterminées selon la méthode de Kjeldhal à l'aide d'un appareil semi-automatique (FOSS KjeltectTM 2200).

La méthode consiste à transformer l'azote organique contenu dans l'échantillon en azote minéral (ammoniac), par minéralisation à 320°C des échantillons, suivi d'une distillation à la vapeur. Au cours de la minéralisation, les protéines et l'azote contenus dans l'échantillon se transforment en sulfate d'ammonium selon la formule suivante :



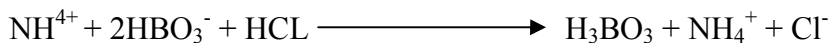
La distillation consiste ensuite à former de l'ammoniac selon la réaction suivante :



Les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant deux indicateurs colorés (rouge de méthyle et le bleu de bromothymol) et de l'acide borique.



Après distillation, l'ammoniac formé est alors dosé par titrage selon un protocole colorimétrique (dosage acido-basique).



III.2. Protocole

- Verser dans le tube d'analyse 0,5 à 1,5 g d'échantillon.
- Ajouter 12 ml d'acide sulfurique concentré 95% et une pastille de catalyseur (Kjeltabs).
- Fermer la tête d'aspiration et laisser l'ensemble à température ambiante pendant une nuit.
- Porter à ébullition pendant environ 2 heures et laisser refroidir (Température de consigne à 400°C).
- Utiliser alors l'appareil Kjeltect :
 - pour réaliser la distillation (80ml d'eau déminéralisée et 50ml de soude à 40%)
 - introduire 30ml de solution d'indicateur coloré (acide borique 4%). L'indicateur coloré, rouge intense, vire au vert en présence d'un composé alcalin tel que l'ammoniac.

- Titrer l'ammoniac forme par de l'acide chlorhydrique 1N (virage de la solution verte au rose). La quantité d'acide chlorhydrique est directement proportionnelle à la quantité d'azote présente dans le milieu initial.
- Calculer le taux d'azote total :

$$\% N = \frac{100 \times (V - V_0) \times N \times 14,007}{MS \text{ de l'échantillon (mg)}}$$

Ou,

V : volume utilise pour le titrage de l'échantillon

V₀ : volume utilise pour le titrage du blanc

N : normalité de l'acide chlorhydrique

- Le taux de protéines est obtenu en multipliant le pourcentage d'azote total par un coefficient qui prend en compte la masse molaire moyenne des acides amines de ces protéines par rapport à la masse molaire de l'azote. Dans notre cas, le taux de protéines se calcule ainsi:

$$\text{Taux de protéines} = \%N \times 6,25$$

III.3 Composition des réactifs :

Préparation de la solution d'indicateur d'acide borique à 4% :

- Dissoudre 400 g d'acide borique dans 5 à 6 litres d'eau déminéralisée à 50°C.
- Mélanger puis compléter jusqu'à 9 litres environ en rajoutant de l'eau déminéralisée préalablement chauffée.
- Laisser refroidir la solution à température ambiante.
- Ajouter 100 ml de vert de bromocresol en solution (100 mg dans 100 ml de méthanol) et 70 ml de rouge de méthyle en solution (100 mg dans 100 ml de méthanol).
- Compléter à 10 litres en diluant avec diluant avec de l'eau déminéralisée et mélanger avec soin.

Annexe IV

IV. Détermination de cellulose brute :

IV.1. Principe:

La méthode appelée ADF-NDF. C'est une méthode gravimétrique basée sur la différence de solubilité des constituants dans 2 types de détergents :

Un détergent neutre ou NDF (Neutral Detergent Fiber), a base d'EDTA. Il solubilise l'ensemble des constituants non pariétaux : protéines, pectines. Le résidu insoluble N contient les hémicelluloses, les lignines et la cellulose.

Un détergent acide ou ADF (Acid Detergent Fiber) a base de CTAB et d'acide sulfurique dilue. Il solubilise l'ensemble des composés non pariétaux et les hémicelluloses. Le résidu insoluble A contient les lignines et la cellulose.

L'attaque des lignines du résidu A par un oxydant puissant (permanganate de potassium) permet de récupérer un résidu C ne contenant dans sa fraction organique que de la cellulose. Après calcination des échantillons, le calcul du pourcentage massique des composés pariétaux est possible :

- % Cellulose = C
- % Lignine = A-C
- % Hémicelluloses = N-A

IV.2 Protocole :

Les réactions d'attaque de la matière végétale sont effectuées dans des frites spéciaux de porosité 2, prévus pour s'adapter sur un système Fibertec M2, équipé d'un dispositif de chauffage et de reflux, et qui permet de faire l'ensemble des manipulations sans avoir à transvaser l'échantillon.

Quelque soit le réactif, le début du protocole est similaire :

- Introduire 1g de matière végétale finement broyée dans une fritte.
- Ajouter 100 ml de réactif ADF ou NDF.
- Porter l'ensemble à ébullition pendant 1 heure.
- Filtrer la solution.
- Rincer abondamment la matière à l'eau bouillante jusqu'à ce qu'il n'apparaisse plus de mousse.
- Sécher à 105°C et peser

Après ceci, les frites ayant subi une attaque au réactif ADF suivent le traitement suivant :

- Introduire un volume de solution mixte dans le fritte
- Laisser le tout à froid pendant 90 min et agiter régulièrement (solubilise les lignines).

IV.3.Composition des réactifs

· **Reactif ADF** : 20 g de cétyl trimethyl ammonium bromure (CTAB) dans 1 litre d'acide sulfurique 1N.

· **Reactif NDF** : 30 g de lauryl sulfate de sodium + 18,61 g d'EDTA + 4,56 g de Phosphate disodique + 6,81 g de Borate de sodium decahydrate + 10 ml d'ethyl-cellulose + 1 litre d'eau déminéralisée.

· **Solution mixte** : 2 volumes de solution de KMnO_4 saturée (50 g/l) + 1 volume de solution tampon + 6g de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ + 0,15 g de AgNO_3 + 100 ml d'eau déminéralisée + 500 ml d'acide acétique glacial + 5 g d'acétate de potassium + 400 ml de ter-butanol.

· **Solution déminéralisant** : 50 g d'acide oxalique dihydrate + 700 ml d'éthanol a 95% + 50 ml d' HCl 12N + 250 ml d'eau déminéralisée.

Annexe V**V. Détermination des lipides selon la méthode de Bligh et Dyer :****V.1. Protocole :**

Environ 0.5 à 1 g d'échantillon lyophilisé sont pesés directement dans des tubes à centrifuger de 50 ml (préalablement grillés au four à 450°C) et 4 ml d'eau sont ajoutés pour réhydrater la prise d'essai. Ceci aurait pour effet, selon Dunstan et al (1993), d'éviter la perte de triglycérides observée pour des échantillons lyophilisés non réhydratés. L'extraction est réalisée par un mélange ternaire eau/méthanol/chloroforme monophasique, dans les proportions 0.8/2/1 (VNN) ce qui est obtenu par addition de 10 ml de méthanol et de 5 ml de chloroforme. On agite pendant 2 min. On ajoute ensuite 5 ml de chloroforme puis 5 ml d'eau, chacun de ces ajouts étant suivi d'une période d'agitation de 30 s. Les trois solvants sont alors dans les proportions 0.9/1/1 (VNN) et on obtient un mélange diphasique ; la phase chloroformique contient les lipides purifiés et la phase eau-méthanol contient les matières organiques co-extraites.

Après centrifugation (10 min, 3000 tours), le chloroforme est récupéré à l'aide d'une pipette pasteur et filtré sur un petit bouchon de laine de verre posé dans le fond d'un entonnoir de verre, l'ensemble ayant été grillé à 450°C. La phase chloroformique est recueillie dans un ballon de verre de 50 ml préalablement grillé et taré. La phase eau-méthanol est rincée deux fois par 10 ml de chloroforme qui est transféré dans le ballon de verre comme précédemment.

Annexe VI**VI. Détermination du calcium :****VI.1.Principe du dosage :**

La concentration des ions calcium dans une solution peut être déterminée par titrage (dosage). Au départ on mesure exactement un volume de la solution à analyser qui contient les ions calcium Ca^{2+} . Ce volume est appelé prise d'essai. Elle est placée dans un erlenmeyer dans lequel on ajoute une solution tampon (qui stabilise le pH) et un indicateur coloré, le NET. On verse alors progressivement dans la prise d'essai une solution d'EDTA (l'éthylène diammine tetraacétique) à l'aide d'une burette graduée jusqu'au virage (changement de couleur) de l'indicateur du violet-rose au bleu. On note alors VE le volume de solution d'EDTA versée. Avec les réactifs choisis, il suffit de multiplier le volume versé exprimé en ml par 80 pour obtenir la concentration en mg/l :

$$\text{Taux } \text{Ca}^{2+} = 80 \cdot \text{VE}$$

Annexe VII

VII. Détermination du Phosphore :

VII.1. Principe :

Les phosphates en présence d'un excès de solution acide de molybdate d'ammonium donnent un complexe phosphomolybdique. Ce complexe est réduit par un mélange réducteur de sulfite de sodium et d'hydroquinones et forme un complexe phosphomolyb-2-molybdique. Ce complexe, de couleur bleue, stable et soluble dans l'eau, présente un maximum d'absorbance à 720 nm. L'intensité de la coloration du complexe est proportionnelle à la concentration en phosphate.

VII.2. Protocol :

Préparation d'une solution mère

Grâce à une pesée exacte 0,1360 g de dihydrogénophosphate, réaliser une solution à 20 mmol/l de P

Préparation d'une solution fille

Réaliser une dilution au 1/20 pour réaliser une solution fille de concentration à 1 mmol/l de P (5 ml de solution mère dans une fiole jaugée de 100 ml)

Préparation d'une gamme d'étalonnage

À partir de la solution fille à 1 mmol/l réaliser une gamme d'étalonnage.

Dosage de la solution à doser

Introduire 2 ml de solution à doser préalablement diluée au 1/10 dans deux tubes

Calcul

Tracer la droite d'absorbance en fonction de la quantité en P par tube. Y reporter la valeur des absorbances des essais pour déterminer la Quantité de P dans les tubes essais.

Travaux de recherche :

Publications :

1) Mohammed RAHMANI, Laid HAMEL, Fawzia TOUMI-BENALI, Nabil MEKHFI, Mustapha Mahmoud DIF et Hichem Abdesselam MAI.

“First optimization of temperature determination for germination of some fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) varieties grown in Western Algeria.”

Global Journal of Plant Ecophysiology, 4(3) May 2014, Pages: 1-4. AENSI Journals, ISSN 2075-0891.

Available online at: http://www.aensiweb.com/old/gjpep_May-June_2014.html

2) Mohammed RAHMANI, Laid HAMEL, Fawzia TOUMI-BENALI, Miloud AOUISSAT, Mustapha Mahmoud DIF et Mimoun HAMOU.

“Proximate composition, crude cellulose and minerals of *Trigonella Foenum-Graecum* L. seeds cultured in West Algeria.”

Global journal of medicinal plant research, 2(4) September 2014, Pages: 1-4. AENSI Journals, ISSN 2074-0883.

Available online at: http://www.aensiweb.com/old/gjmpr_Sept-Oct_2014.html

3) Mohamed RAHMANI, Fawzia TOUMI-BENALI, Laid HAMEL et Mustapha Mahmoud DIF.

“Aperçu ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Trigonella foenum-graecum* L.”

Phytothérapie, édition Lavoisier SAS 2015. DOI 10.1007/s10298-015-0964-9. Online: 09 June 2015. Online ISSN : 1765-2847.

Available online at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10298-015-0964-9>

Communications:

Communications Nationales:

1) **RAHMANI Mohamed**, TOUMI Fawzia et HAMEL Laid, 2014 : Etude comparative du rendement de quelques variétés de Fenugrec *trigonela foenum graecum* L. cultivées dans la station INRA Lamtar de la wilaya de Sidi Bel-Abbès. 1ère Journée Scientifique sur les Sciences de la Nature et la Vie organisée par la Faculté SNV-UDL-SBA, janvier 2014.

Communications Internationales:

1) **RAHMANI Mohamed**, TOUMI Fawzia et HAMEL Laid, 2014 : Evaluation de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quatre variétés de fenugrec (*Trigonela foenum-graecum* L.) cultivées dans l'Ouest algérien. 1er Congrès maghrébin sur la biodiversité, la protection des milieux naturels et l'écodéveloppement, organisé par la Faculté SNV-UDL SBA, 16-17 décembre 2014.

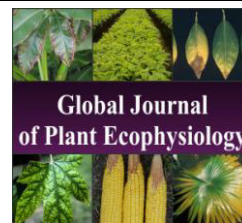
2) **RAHMANI Mohamed**, TOUMI Fawzia et HAMEL Laid, 2014 : Etude préliminaire des performances de quelques variétés de Fenugrec *trigonela foenum graecum* L. cultivées dans la station INRA Lamtar de la wilaya de Sidi Bel-Abbès. 1er Congrès maghrébin sur la biodiversité, la protection des milieux naturels et l'écodéveloppement, organisé par la Faculté SNV-UDL-SBA, 16-17 décembre 2014.



AENSI Journals

Global Journal of Plant Ecophysiology

ISSN:2074-0891

Journal home page: <http://www.aensiweb.com/GJPE/>

First optimization of temperature determination for germination of some fenugreek (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) varieties grown in Western Algeria.

¹Mohammed RAHMANI, ²Laid HAMEL, ³Fawziya TOUMI-BENALI, ⁴Nabil MEKHFI, ⁵Mustapha Mahmoud DIF, ⁶Hichem Abdesselam MAI

^{1,2,3,5}Laboratoire de l'écodéveloppement des espaces, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).

⁴Laboratoire de biodiversité végétale: conservation et valorisation, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).

⁶Département de Biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 December 2014

Received in revised form 3 January 2014

Accepted 15 January 2015

Available online 22 January 2015

Keywords:

Trigonella foenum-gracum L cultivars, seeds, optimum temperature, germination tests, Northwest Algeria.

ABSTRACT

Fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.) is an annual plant in the family Fabaceae. The objective of this study was to determine and compare the optimum temperature on the germination of four different cultivars of fenugreek seed which are cultivated in the National institute of agronomic research (INRA) of Lamtar (Sidi Bel Abbès, Northwest Algeria). The germination tests in the laboratory were carried out at different temperatures (5 °C, 20 °C, 25 °C and 30 °C). The results of the measurements concerned the capacity, coefficient of velocity, latency and average time of germination of these fenugreek varieties at all temperatures tested ranged from 90 to 100, 3.87 to 96.82, 1 to 19.66 and 1.03 to 25.81 percent respectively. Thereby, it was concluded that the optimum germination temperature is 25 °C with the highest germinative performance of the variety 2087.

© 2014 AENSI Publisher All rights reserved.

To Cite This Article: Mohammed RAHMANI, Laid HAMEL, Fawziya TOUMI-BENALI, Nabil MEKHFI, Mustapha Mahmoud DIF, Hichem Abdesselam MAI., First optimization of temperature determination for germination of some fenugreek (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) varieties grown in Western Algeria. *Glob. j. plant ecophysiol.*, 4(3): 1-4, 2014.

INTRODUCTION

Fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) is annual herbaceous plant from the family of fabaceae, widely cultivated in Mediterranean countries and Asia, as it is a popular food (home remedies) consumed in various ways (Billaud and Adrian, 2001a). The seeds of this plant rich in contain proteins, unsaturated fatty acids and phytosterols oil, carbohydrates, steroidal saponins, alkaloids, mucilage, vitamins (A, B1 and C) and a wide range of minerals (Billaud and Adrian, 2001a). In addition, the seeds contain saponins (particularly diosgenin) used for medicinal steroids synthesis, steroidal saponins which are responsible for the hypocholesterolemic activity of fenugreek, as well as the free amino acid 4-hydroxyisoleucine (near 80% of free amino acids present in fenugreek seeds) that is responsible for the hypoglycemic activity of fenugreek (Billaud and Adrian, 2001b).

Fenugreek is known to have several pharmacological attributes such as hypoglycaemic (Zia *et al.*, 2001), hypercholesterolaemic (Srinivasan, 2006), gastroprotective (Suja Pandian *et al.*, 2002), antioxidant (Kaviarasan *et al.*, 2007) and appetite stimulation (Petit *et al.*, 1993).

Fenugreek seed contains 26% of protein matter, approx. 30% mucus, 12% of oil, 0.35% of ether oil and many other active substances. Protein matter contains up to 55% of nucleo-proteids, 25% of globulin, 20% of albumin, whereas fatty matter contains mainly glycerides of unsaturated fatty acids (Maletic and Jevdjovic, 2007).

Increasing demand for fenugreek on market influenced the growing of this plant in plantation conditions, since this plant is not present in wild form in most regions. Some researchers were carried with objective to realize increase of yield and determine the optimal conditions on germination of fenugreek seed (Reid and Bewley, 1979; Spyropoulos and Reid, 1985; Maletic and Jevdjovic, 2007)

The aim of the present paper was to show the optimum temperature on germination of fenugreek seed. cultivated in West Algeria.

Corresponding Author: Mohammed RAHMANI, Laboratoire de l'écodéveloppement des espaces, faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).
E-mail: bevlmd@hotmail.com.

*Methodology:**Sampling:*

The seeds of fenugreek varieties grown in the same agro-ecological conditions at the National Institute of Agronomic Research (INRA) in Lamtar (Sidi Bel Abbes, Algeria Northwest) and were collected in June 2013. These are varieties 0057, 1063, 1138 and 2087.

Germination tests:

Germination is a physiological phase which corresponds to the transition of the latent phase of life of the dried seed development stage of the seedling. The germination process begins when the dry seed is hydrated. The kinetics of water intake can characterize germination in three phases (Anzala, 2006; Bewley *et al.*, 2013).

Selection and preparation of seeds:

Healthy seeds are selected, previously disinfected with sodium hypochlorite 1%, and rinsed twice with distilled water for five minutes. They are then placed in glass Petri dishes of 9 cm in diameter, lined with two layers of filter paper moistened with distilled water 4 cm³. For each variety, each trial involving 60 seeds over 3 repetitions of 20 seeds each (Bonny, 1987).

Progress germination tests:

Germination tests were carried out at different temperatures (5°C, 20°C, 25°C, 30°C) in the dark in an oven Friocell Type. The percentage of germinated seeds was observed daily, every 24 hours.

Expression of results:

The results of germination tests were expressed by:

- Germination capacity (GC)

This is the maximum percentage of germination obtained under our experimental conditions (Mazliak 1982).

- Coefficient of velocity (CV)

The germination rate was expressed by the coefficient of velocity (CV) proposed by Kotowski (1962), and is expressed as follows: $CV = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n} \times 100$.

N1: The number of germinated seeds at time T1.
N2: The number of germinated seeds between T1 and T2.

- Average germination (AG)

The mean germination time is the inverse of this coefficient of velocity $AG = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$

- Latency (TL)

Latency is the time required for the first sprouts.

Data analysis:

All experiments were performed three times. The data was subjected to Analysis of variance (ANOVA 1) using Microsoft Excel 2007 for to compare the measurements concerned the capacity, coefficient of velocity, latency and average time of germination of the four fenugreek varieties. Differences were considered significant when the p-values were less than 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

Our results show that the fenugreek seeds germinate better between temperatures 20°C and 30°C. At temperature 5°C, we observed a gradual decrease in the coefficient of velocity, average time of germination and a gradual lengthening of latency time (Figure 1, 2, 3 and 4).

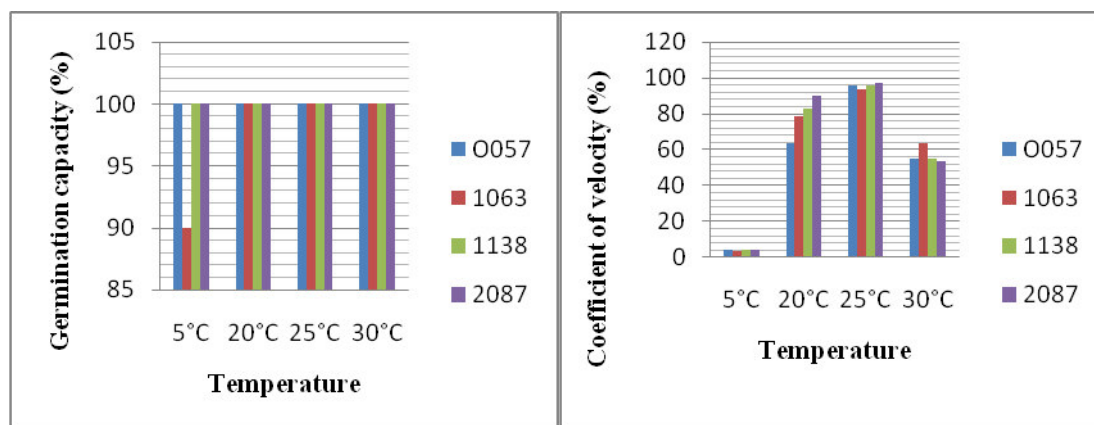


Fig. 1: Variation of capacity of germination

Fig. 2: Variation of coefficient of velocity

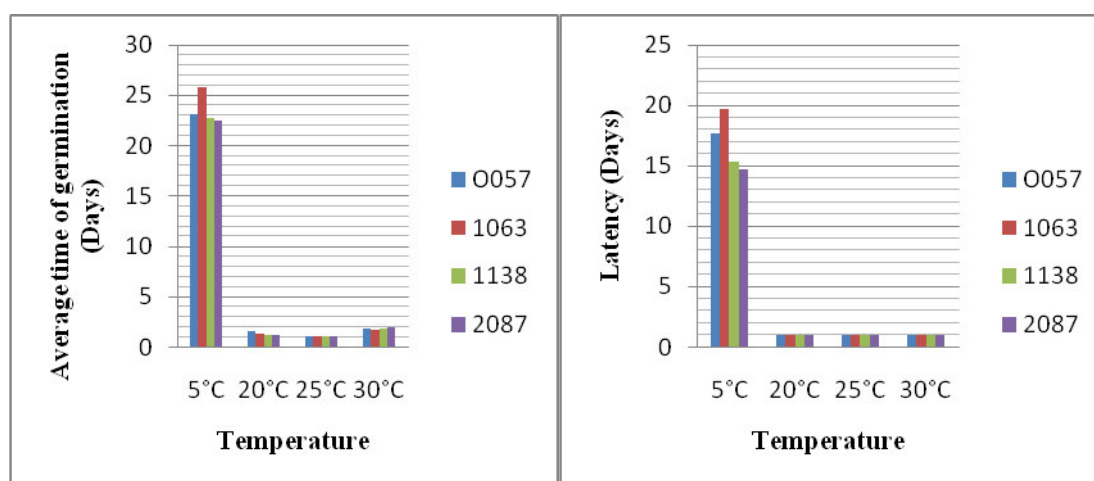


Fig. 3: Variation of the average time of germination

Fig. 4: Variation of the latency time

Our germination tests are performed on laboratory, in an oven at different temperatures (5 ° C, 20 ° C, 25 ° C and 30 ° C) the results show homogeneity of the germination capacity of the four varieties studied.

The results for the germination tests at temperatures of 20 ° C, 25 ° C and 30 ° C demonstrate a significant coefficient of velocity with the order of 96.82% for the variety 2087 at 25 ° C and seeds of these four varieties presented the shortest time latency (one day), contrary to the results obtained at 5 ° C which have a low coefficient of velocity and long times of latency.

It should be noted that the better performance of germination are obtained for the variety 2087 and unlike seeds of other varieties (0057, 1063 and 1138).

The optimal temperatures for germination vary from one species to another. As the result of germination in this study indicates that the optimum temperature of germination of fenugreek seeds is at 25°C. These results are also similar to those of (Reid and Bewley, 1979; Spyropoulos and Reid, 1985; Singh *et al.*, 1990).

Conclusion:

The results reported in this study show that the germination of *Trigonella foenum graecum* L. is sensitive to the action of temperature. Our data show that fenugreek seeds germination presented high performance germinate at an optimum temperature of 25 ° C. In our work, we determined the optimum temperature on the germination of fenugreek, and soon we will try to highlight the effect of salinity on germination of this specie.

REFERENCES

Anzala, F.J., 2006. Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat. UMR 1191 Physiologie Moléculaire des Semences (Université d'Angers, INH, INRA), pp : 148.

- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst and H. Nonogaki, 2013. Seeds. Physiology of Development, Germination and Dormancy, 3rd Edition, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, p: 392.
- Billaud, C and J. Adrian., 2001a. Le fenugrec: Composition, valeur nutritionnelle et physiologique. Sciences des Aliments, 21: 3-26.
- Billaud, C. and J. Adrian, 2001b. La place du fenugrec en alimentation. Médecine et Nutrition, 37: 59-69.
- Bonny, L., 1987. SEED GERMINATION TEST METHODS USED FOR AUSTRALIAN TREE SPECIES AT COFFS HARBOUR RESEARCH CENTRE, Coffs Harbour Research Centre. Forestry Commission of New South Wales, p: 38.
- Kaviarasan, S., K. Vijayalakshmi, C.V. Anuradha and K.J. Priyadarshini, 2007. A Polyphenol-rich extract of Fenugreek seeds protect erythrocytes from oxidative damage. Plant Foods for Human Nutrition, 59: 143-147.
- Kotowski, F., 1962. Temperature relations to germination of veg. Seeds Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 23: 176-184.
- Maletić, R and R. Jevdjović., 2007. Sowing date –the factor of yield and quality of Fenugreek seed (*Trigonella foenum graecum* L). Journal of Agricultural Sciences, 52(1): 1-8.
- Mazliak, P., 1982. Physiologie végétale, croissance et développement. Tome 2. Edition Hermann. Paris, p: 456.
- Petit, P., Y. Sauvaire., G. Ponsin, M. Manteghetti, A. Fave and G. Ribes, 1993. Effect of a fenugreek seed extraction on feeding behavior in the rat: metabolic-endocrine correlates. Pharmacology, Biochemistry and Behavior, 45: 369-374.
- Reid, J.S.G and J.D. Bewley, 1979. A dual role for the endosperm and its galactomannan reserves in the germinative physiology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.), an endospermic leguminous seed. *Planta*, 147: 145-50.
- Singh, T., V.P. Singh and R.K. Singh, 1990. Evaluation of best temperature and medium for testing germination of fenugreek seeds in laboratory. Journal Seed Research, 18(1): 31-33.
- Spyropoulos, C.G and J.S.G. Reid., 1985. Regulation of α -galactosidase activity and the hydrolysis of galactomannan in the endosperm of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed. *Planta*, 166: 271-5.
- Srinivasan, K., 2006. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): A review of health beneficial physiological effects. Food-Reviews- International, 22: 203-224.
- Suja Pandian, R., V.V. Anuradha and P. Viswanathan, 2002. Gastroprotective effect of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum*) on experimental gastric ulcer in rats. Journal of Ethnopharmacology, 81: 393-397.
- Zia, T., S. Nazrul Hasnain and S.K. Hasan, 2001. Evaluation of the oral hypo-glycaemic effect of *Trigonella foenum-graecum* L in normal mice. Journal of Ethnopharmacology, 75: 191-195.



AENSI Journals

Global journal of medicinal plant research

ISSN:2074-0883

Journal home page: <http://www.aensiweb.com/GJMPr/>

Proximate composition, crude cellulose and minerals of *Trigonella Foenum-Graecum* L. seeds cultured in West Algeria.

¹Mohammed Rahmani, ²Laid Hamel, ³Fawziya Toumi-Benali, ⁴Miloud Aouissat, ⁵Mustapha Mahmoud Dif, ⁶Mimoun Hamou.

^{1,2,3,5}Laboratoire de l'écodéveloppement des espaces, faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).

⁴Département de Biologie, Faculté des Sciences et des Technologies, Université Dr Tahar Moulay. SAIDA, 20000 (Algérie).

⁶Institut de la recherche agronomique (INRA,) Lamtar, Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie).

ARTICLE INFO

Article history:

Received 03 August 2014

Received in revised form 18 August 2014

Accepted 18 September 2014

Available online 22 September 2014

Keywords:

Trigonella foenum-graecum L cultivars, seeds, proximate composition, dietary fibre, minerals, Northwest Algeria.

ABSTRACT

Background: Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) is an annual plant in the family Fabaceae, it is one of the most promising medicinal herbs, known from ancient times, having nutritional value too. Its seeds are used for multipurpose beneficial. In our work, four different cultivars of fenugreek seed which is cultured in the National institute of agronomic research (INRA) of Lamtar (Sidi Bel Abbès, Northwest Algeria) were analyzed for proximate composition, dietary fibre and minerals with Official standard methods of analysis of Association of Official Analytical Chemistry. **Objective:** The core objective of this research was to determine and compare the nutrient content of these fenugreek seeds. **Results:** Dry matter, crude protein, lipids content of these fenugreek varieties ranged from 84.85 to 86.70, 21.28 to 22.58 and 4.30 to 5.94 percent respectively. Dietary fibre constituents like crude cellulose varied from 9.27 to 12.09 percent. Minerals, calcium and phosphorus varied from 2.89 to 3.04, 0.10 to 0.16 and 0.12 to 0.16 percent respectively. **Conclusion:** It was found that these seeds are found to be rich sources of calcium and phosphorus. They are a good source of protein, fat and cellulose but with different contents. Thereby, it was concluded that the fenugreek is beneficial to health and to nutrition for consumers of these plant seeds.

© 2014 AENSI Publisher All rights reserved.

To Cite This Article: Mohammed Rahmani, Laid Hamel, Fawziya Toumi-Benali, Miloud Aouissat, Mustapha Mahmoud DIF, Mimoun Hamou., Proximate composition, crude cellulose and minerals of *Trigonella Foenum-Graecum* L. seeds cultured in West Algeria.. *Adv. in Nat. Appl. Sci.*, 2(4): 1-4, 2014

INTRODUCTION

Healthy herbs have long held an important place in our wellness. Prized since ancient times, and today we even more depend on them to purify our body. Although, the herbs been in use in our diet since antiquity, only recently have taken the center-stage of nutrition scientific world for their potential health benefiting and detoxification properties.

Fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) is an annual plant from the family of fabaceae, widely cultivated in Mediterranean countries and Asia, as it is a popular food (home remedies) consumed in various ways (Billaud and Adrian, 2001a). The seeds of this plant rich in contain proteins, unsaturated fatty acids and phytosterols oil, carbohydrates, steroidal saponins, alkaloids, mucilage, vitamins (A, B1 and C) and a wide range of minerals (Billaud and Adrian, 2001a). In addition, the seeds contain saponins (particularly diosgenin) used for medicinal steroids synthesis, steroidal saponins which are responsible for the hypocholesterolemic activity of fenugreek, as well as the free amino acid 4-hydroxyisoleucine (near 80% of free amino acids present in fenugreek seeds) that is responsible for the hypoglycemic activity of fenugreek (Billaud and Adrian, 2001b).

As a spice, fenugreek adds nutritive value to foods as well as flavours (Brasch and Ulbricht, 2003); thus, it is used as a seasoning ingredient in products like artificial maple syrup and rum (Shankaracharya *et al.*, 1973). It is used in many domains, including medicine, nutrition, beverages, fragrances, cosmetics, smoking, and for other industrial purposes (Djeridane *et al.*, 2006). Divers research on the proximate composition of the seeds of *Trigonella foenum-graecum* L. from different backgrounds have been reported, among them which have included the work of (Nazar and Tinay, 2007) on the proximate composition and physico-chemical properties of a concentrate prepared from fenugreek seeds (*Trigonella foenum graecum* L.) proteins (Nazar and Tinay, 2007). Abdel-Nabey and Damir (1990) studied changes of certain nutrients fenugreek seeds in boiling water. The lipid

Corresponding Author: Mohammed Rahmani, Laboratoire de l'écodéveloppement des espaces, faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 22000 (Algérie)

composition of fenugreek seeds studied by (Hemavathi and Prabhakar, 1989). Abbas Ali *et al.* (2012) studied characteristics nutrient content seed *Trigonella foenum-graecum* and Kochhar *et al.* (2006) studied Proximate Composition, Available Carbohydrates, Dietary Fibre and Anti Nutritional Factors of this plant. The aim of the present study to determine and compare **nutritional value** in various parameters such as **dry** matter, protein, lipid, cellulose and minerals of the four local varieties cultivated in West Algeria.

Methodology:

Sampling method:

The seeds of four fenugreek varieties grown in the same agro-ecological conditions at the National Institute of Agronomic Research (INRA) in Lamtar (Sidi Bel Abbes, Algeria Northwest) and were collected in June 2013 respectively. These are varieties 0057, 1063, 1138 and 2087.

Proximate chemical composition:

Official standard methods of analysis of Association of Official Analytical Chemistry (AOAC, 1990) were used for proximate chemical analysis of fenugreek seeds.

Determination of dry matter:

The content of moisture and therefore dry matter was determined as described in the (AOAC, 1990).

Determination of Crude Protein:

Total nitrogen content of a 1 g ground seed sample was determined using the micro-Kjeldahl method and the conversion factor of 6.25 was used to calculate the crude protein content (AOAC, 1990).

Determination of Crude cellulose:

The assay of the crude cellulose obtained after successively processing the plant material with sulfuric acid and potassium hydroxide by the method of Kurschner and Hoffner (Lazouni *et al.*, 2007).

Determination of lipids:

Lipid content was estimated by the method of Bligh and Dyer using a solvent mixture of chloroform and methanol (2:1 v/v) (Bligh and Dyer, 1959).

Analysis minerals:

Determination of minerals made with the acid digestion of the samples and analyzed following the procedures described by AOAC, (1990).

Determination of calcium and phosphorus:

Calcium was determined using an atomic absorption spectrophotometer while phosphorus was determined by colorimetric method using vanadomolybdophosphoric acid method (AOAC, 1990).

Statistical analysis:

All experiments were performed once. The data was subjected to way Analysis of variance (ANOVA 1) using Microsoft Excel 2007 for to compare the nutrient content the four fenugreek varieties. Differences were considered significant when the p-values were less than 0.05.

Results:

The proximate chemical compositions (dry matter, crude protein, crude cellulose and lipid), minerals (calcium and phosphorus) of fenugreek samples were presented on dry matter basis in table (1).

Table 1: Nutrient and minerals contents of fenugreek seeds.

Fenugreek varieties	Parameters (%/g dry weight)						
	Dry matter	Crude protein	Lipids	Crude cellulose	Minerals	Calcium	Phosphorus
0057	84,85	22,58	5,94	9,27	3,00	0,14	0,12
1063	86,25	22,26	5,59	9,96	3,04	0,14	0,16
1138	85,65	21,28	4,30	12,09	2,89	0,10	0,14
2087	86,70	21,40	4,32	11,58	3,00	0,16	0,14

Discussion:

Dry matter content of fenugreek varieties ranged from 84.85 % for 0057 variety to 86.70 % for 2087 variety were lower than the reported value of 94,11% for (Atta *et al.*, 2012). Crude protein was found to be 21.28, 21.40, 22.26, and 22.58 % in 1138, 2087, 1063 and 0057; respectively. These values were less than 33,33% and

31.6% reported for (Abdelnasir *et al.*, 2013) and (Surya Acharya *et al.*, 2006). It is also to be noted that digestibility in rat has decreased with increasing protein and dry matter of fenugreek seed in their diet. This indicates that a judicious use of fenugreek seed in diet may be helpful for those who have no symptoms of allergy as such (Meghwal Goswami, 2012).

Lipid content of the 0057 and 1063 varieties were 5.94% and 5.59% respectively which were significantly higher than 4.32% (2087) and 4.30% (1138) while the difference between 2087 and 1138 was not significant. The lipid compositions were lower than the range 6.53%, 7.9% and 9.84% that were reported by (Kochhar *et al.*, 2006; Ziwar, 2009; Waleed, 2009); respectively.

Crude cellulose composition of 12.09 for 1138 was found to be the highest followed by 11.58% for 2087, 9.96% for 1063 and the least was 9.27% for 0057. The results for the four varieties were higher than the 1.46% that of reported by (Kochhar *et al.*, 2006). The contents were found to be different in some elements from what has been reported in the literatures. Such variation in nutrient contents may be related to the variations of cultivated regions, storage conditions and maturity stage. It may also be due to geographical and climatic differences where the sample seeds had been grown (Atta, 2003; Abbas Ali *et al.*, 2012).

The mineral compositions of fenugreek seeds varied from 2.89% to 3.04%. Calcium content also varied according to seed types from 0.10 to 0.16 %. The results are higher than 0.0108% that of reported by (KUMARAVEL and Alagusundaram, 2014). Phosphorus content varied from 0.12% to 0.16%. The values for phosphorus were lower than 0.29% that of reported by (KUMARAVEL and Alagusundaram, 2014). As the result of mineral compositions in this study indicates, fenugreek is rich in calcium and phosphorus. Therefore, fenugreek can be an important food ingredient to be used in food fortifications enhancing micronutrient supplementations to alleviate the hidden hunger, micronutrient deficiency, of the African children and the poor people as whole.

Conclusion:

In addition to their hypoglycemic action, fenugreek seeds are good source of protein, lipids, crude cellulose and minerals, that appear to have a very positive effect on human health. our study shows that this plant contains a high nutritional value, leads us to educate local populations up to use the plant foods and it would be desirable to further study, is to the valorization of this plant in the animal field.

REFERENCES

- Abbas Ali, M., M. Abu Sayeed, M. Shahinur Alam, Mst. Sarmina Yeasmin, A. Mohal Khan and I. Muhamad, 2012. Characteristics of oils and nutrient contents of nigella sativa linn. and trigonella foenum-graecum seeds. Bull. Chem. Soc. Ethiop, 26(1): 55-64.
- Abdel-Nabey, A.A and A.A. Damir, 1990. Plant Food Hum. Nutri, 40: 267.
- Abdelnasir, M., A.F. Elseed, D.Tongun, A. Balgees, E. Atta and O.H. Ali, 2013. Effects of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum) Seeds Saponin on Digestibility, N-Retention, Hematological parameters and blood Metabolites in Rabbits. World's Vet. J. 3(4): 65-73.
- Acharya, S., A. Srichamroen, S. Basu, B. Ooraikul, and T. Basu, 2006. Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) Songklanakarin J. Sci. Technol, 28(1): 1-9.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
- Atta, E., A. Balgees and J.L. Mangara, 2012. Effect of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum) Seed Dietary Levels on Lipid Profile and Body Weight Gain of Rats. Pakistan Journal of Nutrition, 11(11): 1004-1008.
- Atta, M.B., 2003 Food Chem, 83: 63.
- Brasch, E and C. Ulbricht, 2003. Therapeutic applications of fenugreek. Altern Med Rev, 8(1): 20-7.
- Billaud, C and J. Adrian, 2001a. Le fenugrec: Composition, valeur nutritionnelle et physiologique. Sciences des Aliments, 21: 3-26.
- Billaud, C and J. Adrian, 2001b. La Place du fenugrec en alimentation. Médecine et Nutrition, 37: 59-69.
- Bligh, E.G and W.A. Dyer, 1959. Can. J. Biochem. Physiol, 37: 911.
- Djeridane, A., M. Yousfi, B. Nadjemi, D. Boutassouma, P. Stocker and N. Vidal, 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry, 97: 654-660.
- Hemavathy, J and J.V. Prabhakar, 1989. Food Chem, 31: 1.
- Kochhar, A., M. Nagi and R. Sachdeva, 2006. Proximate Composition, Available Carbohydrates, Dietary Fibre and Anti Nutritional Factors of Selected Traditional Medicinal Plants J. Hum. Ecol., 19(3): 195-199.
- Kumaravel, S and K. Alagusundaram, 2014. Determination of Mineral Content in Indian Spices by ICP-OES. Oriental journal of chemistry, 30(2): 631-636.

Lazouni, H.A., A. Benmansour, S.A. Taleb-Bendiab and D. Chabane sari, 2007. Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum vulgare* Mill. Sciences & Technologie, 25: 7-12.

Meghwal, M., and T.K. Goswami, 2012. A review on the functional properties, nutritional content, medicinal utilization and potential application of fenugreek. J Food Processing and Technology, 3(9): 1-10.

Nazar, A.E.N and A.H.E. Tinay, 2007. Food Chem, 103: 582.

Shankaracharya, N.B., S. Anandaraman and C.P. Natarajan, 1973. Chemical composition of raw and roasted fenugreek seeds. Journal of Food Science & Technology, 10: 179-181.

Waleed, M.A., 2009. Technological, chemical and biological studies on fenugreek seeds (*Trigonella foenum graecum* L.). Magazine Maysan Studies Academy, 14(7): 59-66.

Ziwar, J.B., 2009. Estimation of Lipid Composition in Fenugreek Seed by GC/MS. Department of Chemistry, Science College, Salahaddin University, Erbil, Iraq, pp: 15-20.

Aperçu ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Trigonella foenum-graecum* L.

Survey ethnobotanical and phytopharmacological on *Trigonella foenum-graecum* L.

M. Rahmani · F. Toumi-Benali · L. Hamel · M. M. Dif

© Lavoisier SAS 2015

Résumé Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une herbacée annuelle appartenant de la famille des fabacées. Il se trouve partout dans le monde, mais il est d'origine méditerranéenne. Cette plante est connue par ses propriétés médicinales, thérapeutiques et nutritionnelles très importantes vu les utilisations traditionnelles et les activités pharmacologiques des composés phytochimiques présents dans les extraits des graines de cette plante (huiles essentielles, saponines et flavonoïdes...).

Mots clés *Trigonella foenum-graecum* L · Propriétés médicinales · Utilisations traditionnelles · Activités pharmacologiques · Composés phytochimiques des graines

Abstract Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) is an annual herb belonging to the family Fabaceae. It is everywhere, but it is of Mediterranean origin. This plant is known for its very important medicinal, therapeutic and nutritional properties traditional uses and pharmacological activities of the phytochemicals present in the extracts made from the seeds of this plant (essential oils, saponins and flavonoids...).

Keywords *Trigonella foenum-graecum* L · Properties medicinal · Traditional uses · Pharmacological activities · Phytochemicals seeds

Ethnobotanique

Étymologie

Le fenugrec est une plante annuelle, herbacée, de la famille des Fabaceae du nom arabe l'helba [1]. Son nom botanique

est *Trigonella foenum-graecum*, elle est aussi appelée : trigonelle, sénégrain, trigonelle fenugrec, etc. Sa semence est nommée graine joyeuse. Le nom du genre *Trigonella* vient du latin *trigonus* signifiant triangle, par allusion à la forme prismatique des graines du fenugrec. Le mot fenugrec vient du latin *faenum graecum* qui signifie « foin grec ».

Origine

La région méditerranéenne est connue pour être l'habitat naturel du genre *Trigonella*. Les espèces sauvages du genre existent dans les pays d'Europe, l'Afrique du Nord, les îles Canaries, l'Afrique du Sud, l'Asie centrale et de l'Australie [2]. Fréquemment cultivée elle est souvent sub-spontanée en Algérie [3].

Botanique

Les tiges de fenugrec sont dressées, creuses, avec anthocyanine foncée ou vert complet. Les tiges, en fonction de la variété, la fertilité des sols et de la densité du peuplement, sont soit d'une seule ramification sans pousses secondaires, ou de plusieurs ramifications où se posent de nombreuses pousses de la base et plus les nœuds [4]. L'épanouissement des fleurs de fenugrec, selon la variété, le climat et la saison des semences commence environ 35-40 jours à partir de l'ensemencement. Elles sont assises dans l'aisselle des feuilles le plus souvent lié (deux à deux), plus rarement solitaires. Il existe deux types de fleurs : des fleurs cléistogames (fermés) et des fleurs anéictogames (ouverts) [5]. Ses feuilles ovales et dentées [6] et ses gousses allongées, glabrescentes, longues de 7-10 cm, progressivement rétrécie en beclong de 3-5 cm [3] (Tableau 1).

Le développement de la graine de cette plante commence à la fécondation de l'ovule dans le sac embryonnaire, par l'un des pollens male du tube nucléique, et la fusion des deux noyaux polaires dans le sac embryonnaire avec l'autre tube pollinique. Le résultat est respectivement la formation de l'embryon et de l'albumen. Le développement de la

M. Rahmani (✉) · F. Toumi-Benali · L. Hamel · M. M. Dif
Laboratoire de l'écodéveloppement des espaces,
faculté des sciences de la nature et de la vie,
université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Algérie
e-mail : bevmd@hotmail.com

Tableau 1 Situation botanique de l'espèce *Trigonella foenum-graecum* L. [8-11].

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Magnoliophyta
Sous-embranchement	Magnoliophytina
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidea
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	<i>Trigonella</i> L.
Espèce	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.

graine de fenugrec dure environ 120 jours après l'anthèse [7]. L'accumulation de galactomannanes dans l'endosperme commence environ 30 jours après l'anthèse et se termine à environ 55 jours après l'anthèse. Juste avant le poids frais de la semence commence à baisser [7].

Parties utilisées

La partie utilisée est essentiellement les graines qui ont un intérêt thérapeutique. Pour les récupérer, les gousses (le fruit), récoltées durant l'automne, sont mises à sécher puis sont battues afin que les graines en sortent. Celles-ci sont alors séchées et broyées [12].

Utilisations traditionnelles

Le fenugrec est utilisé depuis de longue date dans les pays arabes [13]. Dans le Maghreb il est utilisé dans le traitement des plaies, diarrhées, acné, déshydratation, anémie, bronchite, rhumatismes, maux d'estomac, hypertension artérielle, constipation soit sous forme de décoctions, soit de graines réduites en farines et mélangées avec le miel [13]. Il est aussi reconnu pour combattre et réduire la chute de cheveux [14]. Cette plante est également consommée comme fortifiante par les femmes après l'accouchement. Les graines ont des propriétés nutritives importantes et des effets hypocholestérolémiants, elles sont traditionnellement utilisées comme stimulant de l'appétit et pour la prise de poids [15-17].

Nutrition

Souvent utilisé dans la cuisine orientale, le fenugrec entre dans la fabrication de mélange d'épices aromatiques, sous différents noms, comme le ras-el-hanout marocain. Le fenugrec peut aussi être incorporé au pain comme en Egypte et en Ethiopie [14]. Dans des pays où la malnutrition est endémique, le fenugrec agit aussi en tant qu'inhibiteur de

l'absorption du fer, pouvant entraîner des anémies alors que l'apport en fer est adéquat [18]. La partie la plus utilisée est la graine. Quant aux jeunes feuilles, de saveur amère, elles sont mangées en salade [19].

Phytochimie

Le fenugrec compte parmi les plus anciennes plantes médicinales et culinaires. Les données de la chimie ont montré que les graines contiennent des protides, une huile riche en acides gras insaturés et en phytostérols, des glucides, des saponosides stéroïdiques, des alcaloïdes dont la trigonelline, une huile essentielle responsable de l'odeur de la plante, du mucilage, des glucides, des vitamines (A, B1 et C), du phosphore, du chrome et du calcium [20-22]. Les caractéristiques physiques et nutritionnelles moyenne pour 100 g de graines de fenugrec figurent dans le tableau 2 [14].

Pharmacologie

Les graines de fenugrec sont constituées de près de 50% de fibres dont 20% de mucilage. Un certain nombre d'études indiquent qu'elles diminuent la glycémie à jeun et postprandiale chez des patients diabétiques. Dans une étude en double aveugle conduite durant deux mois portant sur 25 sujets présentant un diabète de type II, la prise quotidienne de 1 g de graines de fenugrec a significativement amélioré certaines mesures de glycémie et la réponse à l'insuline [23-25].

Lors des études expérimentales et cliniques, les graines de fenugrec ont révélé des propriétés anticholestérolémiante,

Tableau 2 Caractéristiques physiques et nutritionnelles moyenne pour 100 g de graines de fenugrec [14].

Constituants	Valeurs nutritionnelles
• Humidité	13 à 14g
• Glucides	7 à 8 g
• Sucres totaux	2,5 à 3g
• Protéines	28 à 32 g
• Lipides	7 à 8 g
• Lipides saturés	1,2 à 1,6g
• Fibres	23,5 à 25,5 g
• Cholestérol	3,8 à 4,3 mg
• Calcium	140 à 160 mg
• Sodium	28 à 32 mg
• Vitamine A	22 à 26 µg
• Vitamine C	0 µg
• Cendres	2,9 à 3,3g
• Fer	9 à 12 mg
• Valeur énergétique	200 à 240 Kcal 910 à 950 KJ

hypoglycémiant [26-29], stimulante neuromusculaire [30] et du métabolisme général, orexigène, tonifiante, stimulante de la digestion, favorisant la prise de poids [1], apaisante en cas de fièvre, hypolipidémiant [31], combattant l'anémie grâce au fer [13], combattant la frigidity et l'impuissance. Elles se sont également avérées efficaces pour stimuler l'appétit et la sécrétion d'insuline [32].

Contre-indications

Le fenugrec n'est pas toxique mais il contient des stéroïdes contre-indiqués pour les enfants. Cependant, il est prudent, du fait de son action tonique sur l'utérus, de s'en abstenir pendant la grossesse. En cas de surdosage, il peut provoquer des douleurs gastriques, diarrhées et flatulences. Il n'a aucune interaction délétère avec d'autres produits alimentaires ou médicamenteux.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- Harchane H, El Addas H, Amsaguine S, et al. (2012) Effets de l'extrait aqueux des graines du fenugrec (*Trigonella foenum graecum*) sur l'amélioration du profil lipidique et la prise de poids chez le rat. *Phytothérapie* 10:357-62
- Wichtl M, Anton R (2003) Plantes thérapeutiques. EMI/Tec et Doc, Paris, 216-9
- Quezel P, Santa S (1962) Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris
- Chabbi R (2010) Mémoire de magister. Caractérisation des bactéries isolées à partir du genre *Trigonella* L. (Légumineuses) poussant dans différents écosystèmes de l'Est algérien. 111 p
- Petropoulos GA (2002) Fenugreek. The genus *Trigonella*. Edition Taylor & Francis New York. Severe Conditions and in an Arid Climate. *Microbiol Mol Biol Rev* 63:968-89
- www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/dico/d/medecine
- Campbell J, Reid JSG (1982) Galactomannan formation and guanosine 5-diphosphatemannose: galactomannan mannosyl transferase in developing seeds of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L., Leguminosae). *Planta* 155:105-11
- Ghedira K, Goetz P, Le Jeune R (2010) Fenugrec : *Trigonella foenum graecum* L. (Fabaceae ex. Leguminosae) *Phytothérapie* 3:180-4
- http://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/127561/tab/taxo
- http://www.conservation-nature.fr/statut-Foenugraecum%20officinale.html
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Fenugrec
- www.guide-phytosante.org/minceur-nutrition/fenugrec/fenugrec-partie-utilisee.html
- Les plantes médicinales en Algérie (<http://www.s0s0.org/s0s0/files/6161.pdf>)
- www.markal.fr. (Fiche technique des graines de fenugrec biologiques)
- Mekkiou R (2005) Thèse de doctorat. Recherche et Détermination Structurale des Métabolites Secondaires d'espèces du Genre *Genista* (Fabaceae) : *G. saharae*, *G. ferox* 199 p
- Pecquet C, Leynadier F (1998) Reaction Allergique aux grains de Fenugrec et de Nigelle. Centre d'allergie. Hospital Rothschild. 75012 Paris. 6^{es} Journées Parisiennes d'allergie. Allergie généraleRe/fr Allergol 37 :8
- Salhi S, Fadli M, Zidane L, et al (2010) Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc) *Lazaroa* 31: 133-46
- Adish AA (1999) Risk factors for iron deficiency anaemia in pre-school children in northern Ethiopia. *Public Health Nutr* 3:243-52
- www.ponroy.com/plantes/F/le-fenugrec (Laboratoires Y. Ponroy)
- Billaud C, Adrian J (2001) Le fenugrec : composition, valeur nutritionnelle et physiologique. *Sci Alim* 21:3-26
- Rashmi Y, Rahul k, Dipeeka G. The Health Benefits Of *Trigonella Foenum-Graecum*: A Review. *Internat J Engin Res Appl* 1:32-5
- Skalli S (2006) Malformations associées à la prise de fenugrec au cours de la grossesse. Bulletin préparé par le Centre Marocain de Pharmacovigilance Vol 3, No 11
- Gupta A (2001) Effect of *Trigonellafoenum-graecum* (fenugreek) seeds on glycaemic control and insulin resistance in type II diabetes mellitus: a double-blind, placebo controlled study. *J Assoc Phys India* 49:1057-61
- Maletić R, Jevdović R (2007) Sowing date –the factor of yield and quality of Fenugreek seed (*Trigonella foenum graecum* L.). *J Agricult Sci* 52 : 1-8
- Nutranews. Science, Nutrition, Prévention et Santé, déc 2004
- Ali L, Azad Khan AK, Hassan Z, et al (1995) Characterization of the hypoglycemic effects of *Trigonella foenum graecum* seed. *Planta Med* 61:358-60
- Baquer NZ, Kumar P, Taha A, et al (2011) Metabolic and molecular action of *Trigonella foenum graecum* (fenugreek) and trace metals in experimental diabetic tissues. *J Biosci* 36:383-96
- Petit P, Sauvaire Y, Hillaire-Buys D, et al (1995) Steroid saponins from fenugreek seeds : extraction, purification, and pharmacological investigation on feeding behavior and plasma cholesterol. *Steroids* 10:674-80
- Xue WL, Li XS, Zhang J, et al (2007) Effect of *Trigonella foenum graecum* (fenugreek) extract on blood glucose, blood lipid and hemorheological properties in streptozotocin-induced diabetic rats. *Asia Pac J Clin Nutr* 16 Suppl 1:422-6
- Lejoly J Systématique des plantes à fleurs en relation avec les principales plantes médicinales. Volume II, Université libre de Bruxelles. Institut de pharmacie
- Chevassus H, Molinier N, Galtier F, et al (2007) Un extrait de graines de fenugrec (fenugrene*) diminue sélectivement la prise de lipides chez l'adulte volontaire sain poster 462 *Endocrinologie - Diabète - Marseille* 2007
- Brochard F (2013) Thèse de doctorat en pharmacie. Les compléments alimentaires et les produits diététiques de l'effort commercialisés et utilisés dans la pratique du cyclisme 174 p, Université de Nantes (France)