République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia FARES de MÉDÉA
Faculté des Sciences et de la Technologie



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master En Génie des Procédés
Option : Génie des Procédés Pharmaceutiques

Thème

CINETIQUES D'EXTRACTION DES HUILES ESSENTIELES A PARTIR DE QUELQUES PLANTES AROMATIQUES.

Proposé et dirigé par :

Mme. MADANI LEILA

Étudié et présenté par :

BENSOUNA AMINA

BOUBAA SARAH

2015-2016

ملخص :

هذا العمل يهتم باستخراج الزيوت الاساسية من الطيون الدبق ، العطرشة والعليق التي تنتمي إلى مجموعة النباتات الجزائرية لمنطقة المدية. استعمال طريقتين مختلفتين: التقطير بالبخار والتقطير المائي أوضح تغير في الكمية المستخلصة. هذه الأخيرة تزداد تحت تأثير التجفيف والطحن. تطبيق نماذج رياضية على المعطيات التجريبية المتحصل عليها كشف عن الأثر الملحوظ لتموقع الزيوت الأساسية في الجزيئات الصلبة على السلوك الحركي للإستخلاص. تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا لزيت العطرشة وخلاصة العليق بتقنية الأروماتوغرام على البكتيريا (*ستافيلوكوكيس، سيراتيا، كلبسيلا بنومانيا، ايشيريشيا كولي والبسودوموناز ايروجينوزا*) .

الكلمات المفتاحية : الطيون الدبق ، العطرشة ، العليق، زيت أساسي، نشاط مضاد للبكتيريا، نمذجة رياضية.

Résumé :

Ce travail porte sur l'extraction des huiles essentielles de l'*Inula viscosa, Pélargonium graveolens* et *Rubus fruticosus* appartenant à la flore Algérienne de la région de Médéa. L'utilisation de deux procédés différents l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation montrent une variabilité sur la quantité extraite. Cette dernière augmente sous l'influence du séchage et du broyage de la matière végétale. La modélisation mathématique des données expérimentales obtenues révèle l'impact remarquable de la localisation des huiles essentielles dans les particules solides sur le comportement de la cinétique d'extraction. L'activité antibactérienne de l'huile de *Pélargonium graveolens* et de l'extrait de *Rubus fructicosus* ont été évaluées par les techniques d'aromatogramme sur les souches bactériennes (*Staphylococcus aureus, Serratia sp, Kleibseila pneumonia, Escherichia coli* et *Pseudomonas aerogenosa*).

Mots clés : *Inule visqueuse* ; *Pélargonium graveolens*; *Rubus fruticosus*; huile essentielle; activité antibactérienne, modélisation mathématique.

Abstract :

This work consists in the essential oils extraction of : *Inula viscosa, Pélargonium graveolens and Rubus fruticosus* .Belonging to the Algerian flora of Medea region . The use of two different processes steam distillation and hydrodistillation shows a varibility on the extracted amount . This last increases under the influence of the drying and granulating of the plant material . Mathematical modeling of the obtained experimental data reveals the remarquable impact of the essential oil localisation in the solide particles on the extraction kenetic behavior. Antibacterial activity of the *Pélargonium graveolens* oil and of *Rubus* extrat using aromatogramme thecnics on the bacterial strains : (*Staphylococcus aureus, Serratia sp, Kleibseila pneumonia, Escherichia coli et Pseudomonas aerogenosa*) was evaluated.

Keywords : *Inula viscosa ; Pelargonium graveolens ; Rubus fruticosus*; Essential oïl antibacterial activity, mathematical modeling.

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Allah, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Mme MADANI L notre promotrice pour avoir dirigé cette thèse. Nous avons apprécié la liberté qu'elle nous a laissée dans la conduite de nos recherches. Sa confiance, son soutien, sa disponibilité sans limite et ses conseils avisés nous ont permis de réaliser notre travail dans les meilleures conditions. Nous avons eu énormément de plaisir à travailler sous sa tutelle.

Nous remercions également les jurées pour le temps et l'effort consacré pour évaluer et examiner notre travail.

Nous tenons particulièrement à remercier Mr LATRECH pour son aide précieux, ses conseils éclairés, sa patience et ses encouragements.

Nous voudrions ensuite exprimer toute notre gratitude et nos vifs remerciements au Mr BOUKHETEM MN pour ses nombreux conseils. Ses avis et recommandations toujours avisés ont fortement contribué au succès de ces travaux.

Nous remercions vivement tous les membres de laboratoire Hall technologie de Médéa, également les membres de laboratoire de Bactériologie de l'Hôpital Mohamed Boudiaf, particulièrement Mme HAMZA Dalila, en plus les membres de laboratoire d'établissement de santé et population.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à l'encontre de toute personne qui a participé de prés ou de loin directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères gratitudes à nos chers collègues et amies pour les sympathiques moments qu'on a passés ensemble.

Dédicace

À mes très chers parents, qui m'ont toujours encouragé, aidé à surmonter touts les obstacles que j'ai rencontré dans ma vie et être à mes cotés dans les moments les plus difficiles.

Que Dieu vous protège

À mes chères sœurs et mon frère

À qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

À toute la famille ***Bensouna*** *et* ***Tazi*** *.*

À ma chère binôme ***Sarah***

À mes chères amies pour tous les instants inoubliables que j'ai passés avec vous.

Je dédie ce travail à toutes les personnes chères à mon cœur. Qu'elles trouvent ici l'expression de toute ma gratitude et mon amour.

AMINA

Dédicace

À mes très chers et adorables parents, qui m'ont toujours encouragé. Merci pour votre amour, votre tendresse, vos prières, vos sacrifices et vos précieux conseils. Savez que vous êtes extraordinaires et que grâce à vous je suis où j'en suis. Enfin Merci tout simplement d'être…mes parents avec ma profonde affection.

Aux bijoux de la famille mes grands parents, que Dieu les protège.

À mes très chers et magnifiques sœur et frères.

À tous les membres de la famille ***BOUBAA*** *et* ***GUENDOUZ***

À mon formidable amie ***AMINA***

À tous mes professeurs qui m'ont enseigné leur savoir,

À tous mes amies et mes collègues,

À tous ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment.

Je dédie ce modeste travail.

SARAH

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 01

Chapitre I : Synthèse bibliographique
I.A.1 Introduction 04
I.A.2 Etude bibliographique des trois plantes aromatiques étudiées 04
I.A.2.1 L'espèce *Inula Viscosa(L.)Aiton* 04
I.A.2.1.1 Taxonomie 05
I.A.2.1.2 Aspect botanique 05
I.A.2.1.3 Aspect anatomique 06
I.A.2.1.4 Aspect phytochimique 07
I.A.2.1.5 Répartition géographique 09
I.A.2.1.6 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle 09
I.A.2.2 L'espèce *Pélargonium graveolens* 10
I.A.2.2.1 Taxonomie 10
I.A.2.2.2 Aspect botanique 11
I.A.2.2.3 Aspect anatomique 13
I.A.2.2.4 Aspect phytochimique 14
I.A.2.2.5 Répartition géographique 15
I.A.2.2.6 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle 15
I.A.2.3 L'espèce *Rubus fruticosus L* 16
I.A.2.3.1 Taxonomie 16
I.A.2.3.2 Aspect botanique 17
I.A.2.3.3 Aspect phytochimique 18
I.A.2.3.4 Répartition géographique 19
I.A.2.3.5 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle 20
I.B les huiles essentielles 20
I.B.1 Définition 20
I.B.2 Rôle des huiles essentielles 21
I.B.3 Composition des huiles essentielles 21
I.B.3.1Les composés terpéniques 21
I.B.3.1.1 Monoterpènes 22
I.B.3.1.2 Diterpènes 22
I.B.3.1.3 Triterpènes 22
I.B.3.1.4 Sesquiterpènes 22
I.B.3.2Composés aromatiques 23
I.B.3.3Composés d'origine diverse 23
I.B.4 Propriétés des huiles essentielles 24
I.B.4.1 Propriétés physico-chimiques 24
I.B.4.2 Propriétés biologiques 24
I.B.4.3 Propriétés pharmacologiques 25
I.B.5 Localisation des HE 25
I.B.5.1 le dépôt exogène 25

I.B.5.2 le dépôt endogène 25
I.B.6 Technique d'extraction des HE 26
I.B.6.1 Définition 26
I.B.6.2 Paramètres influençant l'extraction 27
I.B.6.3 Méthodes d'extractions 27
I.B.7 Toxicité des huiles essentielles 30
I.B.8 Conservation des huiles essentielles 31
I.B.9 Conclusion 31

Chapitre II : Étude expérimentale 32
Partie A : Cinétique d'extraction 33
II .A.1 Matériel et méthodes 33
II .A.1 .1Introduction 33
II .A.1. 2 Matériel 33
II .A.1 .3Provenance du matériel végétal et identification 34
II .A.1 .4Détermination de taux d'humidité 34
II .A.1 .5Calcul de rendement 34
II .A.1 .6 Méthodes d'extraction 35
II .A.1 .6 .1Extraction par Hydrodistillation 35
II .A.1 .6 .2Entrainement à la vapeur d'eau 37
II .A.2 Résultat et interprétation des cinétiques d'extraction 38
II .A.2 .1 Extraction du *PG* 38
II .A.2 .2 Extraction d'HEs de l'Inule visqueuse 40
II .B Modélisation mathématique 41
II .B .1Introduction 41
II .B .2 Application des différents modèles mathématiques 43
II .B .2 .1 Modèle 1 43
II .B .2 .2 Modèle 2 44
II .B .2 .3 Modèle 3 44
II .B .2 .3 Modèle 4 44
II .C Evaluation de l'activité antibactérienne 55
II .C .1Aromatogramme 55
II .C.2Intérêt d'aromatogramme 55
II .C.3Technique d'aromatogramme 55
II .C.4Mode opératoire 56
II .C.4.1Préparation des extraits 57
II .C.4.2Préparation de l'inoculum 57
II .C.4.3Ensemencement 57
II .C.4.4Incubation et lecture 58
II .C.4.5Résultats 59
II .C.4.6 Discussion 61

Conclusion générale 63

Liste des figures

Figure (I-1)	: Inule visqueuse. A: Feuilles d'Inule visqueuse, B : Akènes de l'Inule visqueuse, C : Fleur de l'Inule, D : Vue de plante entière .E : Capitules de fleurs.	06
Figure (I-2)	: (a)Vue par MEB d'une coupe transversale de la feuille d'Inule visqueuse x 500µm. (b), (c) Vue par MEB de la surface [51].(b) x 100µm, (c) x 50µm.	07
Figure (I-3)	: La carte géographique de L'Inule.	09
Figure (I-4)	: *Pélargonium graveolens* .A:Vue de plante entière, B : Fleur du *Pélargonium graveolens*,C : Fruits murs, D : Feuilles du *Pélargonium graveolens*.	12
Figure (I-5)	: Tige montrant les poils protecteurs et les poils sécréteurs	12
Figure (I-6)	: Coupe transversale au niveau de la tige (Gx400).	13
Figure (I-7)	: Faisceau cribro-vasculaire au niveau de la tige (Gx400).	13
Figure (I-8)	: Observations au microscope photonique d'un poil sécréteur pluricellulaires.	14
Figure (I-9)	: *Rubus fruticosus L.*	18
Figure (I-10)	: Phytoconstituents de *Rubus. fruticosus L.*	19
Figure (I-11)	: Aire de répartition mondiale de *Rubus fruticosus L.*	19
Figure (I-12)	: Principales opérations industrielles d'extraction.	29
Figure (II-1)	: Montage de l'HD.	35
Figure (II-2)	: Montage de l'EVE.	37
Figure (II-3)	: Suivi des cinétiques d'extraction par HD de PG.	38
Figure (II-4)	: Cinétiques d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation de PG de Médéa (période de récolte : Juillet, feuilles fraiche complètes).	39
Figure (II-5)	: Cinétiques d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation de l'Inule visqueuse de Médéa (période de récolte : Décembre, feuilles sèches complètes).	41
Figure (II-6)	: Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 1.	45
Figure (II-7)	: Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 2.	46

Figure (II-8) : Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 3. 46
Figure (II-9) : Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 4. 47
Figure (II-10) : Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 1. 50
Figure (II-11) : Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 2. 50
Figure (II-12) : Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 3. 51
Figure (II-13) : Cinétique d'extraction EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 4. 51
Figure (II-14) : Cinétiques d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 1. 52
Figure (II-15) : Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 2. 52
Figure (II-16) : Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 3. 53
Figure (II-17) : Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 4. 53
Figure (II-18) : Illustration de la méthode des aromatogrammes sur boîte de Pétri [117]. 56
Figure (II-19) : Incubation dans l'étuve. 58
Figure (II-20) : Aromatogramme d'huile de PG brute. 59
Figure (II-21) : Aromatogramme d'huile de PG à différentes concentration dans Ec. 60
Figure (II-22) : Aromatogramme d'huile de PG à différentes concentration dans Ps. 60
Figure (II-23) : Aromatogramme de l'éthanol. 60
Figure (II-24) : Aromatogramme d'extraits dilués de *Rubus*. 61

Liste des tableaux

Tableau (I-1)	:Taxonomie de l'Inule Visqueuse.	05
Tableau (I-2)	:Composition des huiles essentielles de l'Inule visqueuse provenant de différents pays.	08
Tableau (I-3)	:Importance pharmacologique et utilisation traditionnelle de l'Inule visqueuse.	10
Tableau (I-4)	:Taxonomie de Géranium Rosat.	11
Tableau (I-5)	:Composition chimique de l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens* .	14
Tableau (I-6)	:Comparaison de la composition chimique de l'huile essentielle de Géranium Rosat provenant de plusieurs régions d'Afrique.	15
Tableau (I-7)	:Importance pharmacologique et utilisation traditionnelle du Géranium Rosat.	16
Tableau (I-8)	:Taxonomie du *Rubus fruticosus L*.	17
Tableau (I-9)	:Le potentiel bioactif et l'utilisation traditionnelle du *Rubus fruticosus L*.	20
Tableau (I-10)	:Composés terpéniques.	23
Tableau (I-11)	:Les différentes méthodes d'extraction.	28
Tableau (I-12)	: Avantages et inconvénients des différents procédés d'extraction.	29
Tableau (II-1)	:Présentation du matériel utilisé.	33
Tableau (II-2)	:Conditions opératoires d'extraction par HD de PG.	37
Tableau (II-3)	:Conditions opératoires d'extraction par EVE de PG .	38
Tableau (II-4)	:Conditions opératoires.	40
Tableau (II-5)	:Paramètres évalués des quatre modèles appliqués pour HD et EVE du *Pélargonium graveolens*.	47
Tableau (II-6)	:Paramètres évalués des quatre modèles appliqués pour HD et EVE de l'Inule visqueuse.	54
Tableau (II-7)	:Résultats des diamètres des zones d'inhibition des HE de PG.	59

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

µl : Microlitre

AAD : Déviation absolue moyenne

AFNOR: Association Française de Normalisation

atm : Atmosphère

Ec : *Escherichia coli*

ED : Eau distillée

EVE: Entrainement à la vapeur d'eau.

GN : Gélosé nutritive.

gr : Gramme.

H : Taux d'humidité exprimé en pourcentage.

HD: Hydrodistillation.

HE : Huiles essentielles.

IV: Inule visqueuse.

L : Litre.

m: Masse.

MEB: Microscope électronique à balayage.

MH : Muller-Hinton.

Mhe : Masse de l'huile essentielle.

min : Minute.

ml : Millitre.

mm : Millimètre.

Mvg : Masse végétale sec.

PAM : Plantes Aromatiques et Médicinales.

PG : *Pélargonium graveolens*

Ps: *Pseudomonas aerogenosa.*

R :Rendement en huile essentielle exprimé en (%).

RF: *Rubus fruticosus*.

SDE: Distillation par extraction simultanée.

Introduction générale

Introduction générale

La diversité biologiques sur notre planète qui englobe toutes les ressources génétiques (animales végétales et microbiennes) présente un réservoir naturel des intérêts innombrables pour l'Homme.

Partant de ce concept fondamental, il devient aisé de comprendre la valeur potentielle du règne végétale qui n'a guerre cessé d'être la source des médicaments.

Le règne végétal compte plusieurs centaines de milliers d'espèces, parmi lesquelles 10% d'espèces peuvent produire des essences aromatiques, l'importance de ces dernières s'avère salvatrices pour les scientifiques.

L'inquiètude majeure qui a suscité les recherches résidait dans l'évaluation phytochimique qui a pu cerné 15% des espèces dénombrées tandis que 6% ont ètè valorisées par leurs activitès biologiques .

La valorisation de ces ressources naturelles végétales passe essentiellement par l'isolation des huiles essentielles, cette importante opération est délicate car elle nécessite de satisfaire le compromis entre plusieurs exigences parmi lesquelles le rendement des substances bioactives qui ne sont présents dans les plantes qu'à des faibles teneurs, la sélectivité, la pureté des produits et le coût de l'opération. Un tel but pousse à approfondir la connaissance des phénomènes mis- en jeu dans cette opération ainsi que celle des différents facteurs qui peuvent les contrôler.

La bioclimatologie et l'étendu de l'aire géographique de notre pays sont à l'origine de l'existence d'une importante diversité dans la flore Algérienne, malheureusement un petit nombre d'espèces que compte notre flore a été investigué. Soucieux de la nécessité de contribuer à dévoiler la valeur de ces ressources naturelles, l'objectif principal de notre recherche étant situé dans le contexte de valoriser des matières végétales méditerranéennes le *Pélargonium graveolens*, l'Inule visqueuse et le *Rubus fruticosus* , ces trois plantes appartenant à trois familles différentes recouvrent un potentiel de principes actifs inépuisables témoigné à travers la littérature.

Deux ordres de préoccupation se rencontrent dans cette étude et lui donne sa substance : le premier a trait à l'extraction des huiles essentielles du *Pélargonium graveolens*, l'Inule visqueuse, le *Rubus fruticosus*. L'autre objectif assigné à ce travail est l'investigation

approfondie de ces huiles essentielles via la détermination des cinétiques d'extractions et leur modélisation mathématique.

Dans ce dernier axe l'ambition principale avouée par notre recherche étant de dévoiler les paramètres naturels tels que la différence de la localisation des huiles essentielles et ceux technologiques comme le mode d'extraction affectant le comportement cinétique des extractions.

Notre travail a été organisé autour de deux chapitres, dans un premier chapitre nous exposons une synthèse des connaissances bibliographiques sur les trois espèces étudiés en abordant leur description botanique, anatomique et phytochimique. Une rubrique illustrant leur importance médicinale et leur utilisation a été introduite également dans ce chapitre. Le second chapitre décrit dans sa première partie les mesures expérimentales des cinétiques d'extractions des huiles essentielles. La deuxième partie du même chapitre a été consacré à la modélisation mathématique et nous discuterons la validité de quatre modèles appliqués afin de décrire le comportement des cinétiques d'extraction des huiles essentielles.

Dans une troisième partie le potentiel bioactif du *Pélargonium graveolens* et *Rubus* ont été éventuellement dévoilés comme un dernier point de cette étude.

Chapitre I : synthèse bibliographique

A- Description des plantes :

I.A.1 Introduction :

De tout temps, le règne végétal a offert à l'Homme des ressources essentielles à son alimentation, à son hygiène et sa santé. Aujourd'hui encore, diverses maladies sont traitées uniquement par les seules thérapies naturelles qui font appel non seulement aux plantes aromatiques, mais aussi à leurs huiles essentielles obtenues par différentes méthodes d'extraction **[1]**.

L'étude des huiles essentielles est toujours d'une brûlante actualité malgré son ancienneté et les développements exponentiels des biotechnologies végétales. L'histoire de l'aromathérapie naquit ainsi , avec les progrès de la science, de nouveaux principes actifs et de nouvelles propriétés pharmacologiques qui ont permis de faire des plantes aromatiques et médicinales (PAM) d'authentiques médicaments**[2]**.

Les huiles essentielles représentent une importance économique considérable, vu leur application dans les domaines variés, allant des industries alimentaires, aux industries pharmaceutiques en passant par les industries des parfums et cosmétiques**.**

L'Algérie recèle d'importantes potentialités en matières de plantes aromatiques et médicinales en raison de la flore spontanée, qui est particulièrement riche en plantes utiles telles que : l'ortie, le thym, la menthe, la morelle noire, la bourrache,… ceci est lié principalement à la diversité de son climat et à la nature de ses sols **[3]**.

I.A.2 Etude bibliographique des trois plantes aromatiques étudiées :

I.A.2.1 L'espèce *Inula Viscosa*(*L.*)Aiton:

Inula Viscosa(*L.*)Ait(syn.*Dittrichia viscosa L*) est une plante pérenne appartenant à la famille des *Astéracées*, connu sous le nom d'Aunée visqueuse et elle a pour nom vernaculaire Mgramane-Terhala**[4]**.

Inula viendrait du grec : Inéo qui signifie je purge. (allusion à une propriété thérapeutique de la plante) **[5]** *Viscosa* veut dire visqueuse : Aunée visqueuse **[6]**.

Il existe d'autres espèces : *Inula bifrons, Inula britanica, Inula conyza, Inula ensifolia, Inula graveolens, Inula helenium, Inula helvetica, Inula hirta, Inula montana, Inula salicina, Inula spiraeifolia*.

I.A.2.1.1 Taxonomie : Sa taxonomie est configurée dans le tableau suivant :

Tableau (I-1) : Taxonomie de l'Inule Visqueuse **[7,8]**.

Embranchement	*Spermaphytes*
Sous-embranchement	*angiospermes*
Classe	*Dicotylydones*
Sous classe	*Gamopetales*
Ordre	*Campunulales*
Famille	*compositae*
Genre	*Inula*
Espèce	*Viscosa*
Synonymie	*Dittrichia Viscosa*
Nom commun	Inule, aunée visqueuse
Noms vernaculaires	Magramane ou Amagramane en Afrique du Nord.

I.A.2.1.2 Aspect botanique :

Inula viscosa (*L*) est une plante annuelle, herbacée, visqueuse et glanduleuse, à odeur forte qui appartient à la famille des Astéracées(Composées). Elle peut atteindre 50 cm à 1m de hauteur et présente des capitules à fleurs jaunes très nombreuses au sommet de la tige**.**

Les feuilles sessiles sont ondulées, rudes recouvertes sur les deux faces de glandes visqueuses qui dégagent pendant la phase végétative une odeur forte et âcre.

La floraison commence à partir du mois de Septembre, les inflorescences sont de longues grappes fournies de capitules jaunes. Les fleurs périphériques sont liguiliformes, celles du centre sont tubulaires.

Les fruits sont des akènes velus à aigrette grisâtre **[9].**



(A) **(B)** **(C)**



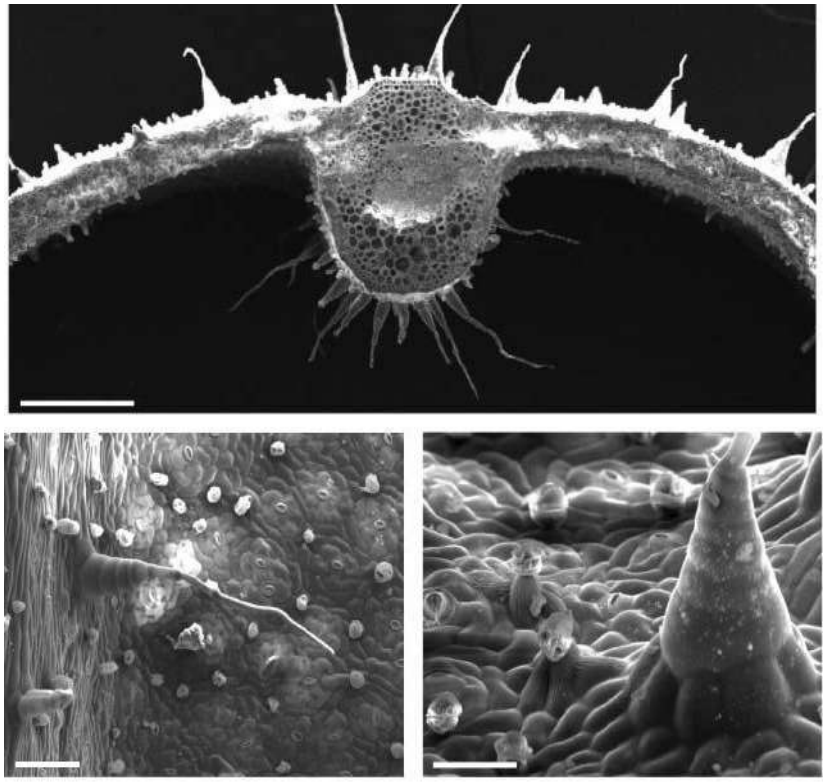
(D) **(E)**

Figure (I-1) : Inule visqueuse. A: Feuilles d'Inule visqueuse, B : Akènes de l'Inule visqueuse, C : Fleur de l'inule, D : Vue de plante entière .E : Capitules de fleurs.

I.A.2.1.3 Aspect anatomique :

Les feuilles de l'Inule visqueuse possèdent de longs poils protecteurs, de nombreux trichomes glandulaires et des stomates sur les deux faces de la feuille (Figure (I-2) (a)). Les poils protecteurs ont une structure complexe constituée d'environ 10 cellules basales arrangées dans une rangée verticale en diminuant progressivement de l'ampleur vers l'extrémité supérieure. Les trichomes glandulaires sont plus courts sécrétant une substance emprisonnée entre la paroi cellulaire et la cuticule de la cellule de la tête (Figure (I-2) (c)) **[10].**

Les complexes de stomates de type anomocytique situés au dessus des chambres substomatal du mésophile sont facilement distingués sur l'épiderme(Figure (I-2) (b)). Le parenchyme spongieux est compact ne laissant que quelques espaces intercellulaires. Toutes les cellules palissadées du parenchyme contiennent des inclusions vacuolaires de formes sphériques remplies de lipides et des composés phénoliques **[10,11].**



(b) **(c)**

Figure (I-2): (a)Vue par MEB d'une coupe transversale de la feuille d'Inule visqueuse x 500µm. (b), (c) Vue par MEB de la surface **[11]**.(b) x 100µm, (c) x 50µm.

Des investigations histochimiques réalisés par A.Nikolakaki et N.S. Christodoulakis **[11]** ont conduit à la localisation des sites sécréteurs dans la feuille de l'Inule visqueuse. Les cellules du mésophile et les trichomes glandulaires sont très actives dans la sécrétion d'un large spectre de composés intéressants, ils produisent les polysaccharides et les protéines en outre des terpènes. Les produits volatils sont sécrétés par les trichomes et les poils protecteurs **[12,13]**. Les produits sécrétés dans les feuilles de l'Inule Visqueuse sont soit exsudé à travers de fins pores dans la cuticule ou s'accumule au dessous de la cuticule puis ils sont évacués vers l'extérieur après une légère rupture de la cuticule par un facteur externe **[13]**.

I.A.2.1.4 Aspect phytochimique :

Les parties aériennes de l'Inule visqueuse produisent des :

- **Monoterpenes** : Cinéole,thymol ,borneol , carvacrol **[14, 15,16]**.

- **Sesquiterpenes** : Nérolidol et ses derivés, fokienol, chamazulène , acide alpha-costique, acide iso-costique, 2,5-dihydroxyisocostique et 2,3- dihydroxyisocostique, tomentosin, inuviscolide **[14,15,17-25].**
- **Triterpenes esters :**Faradiol et calenduladiol **[26,27]**.
- **Flavonoïdes** :Méthylaromaendrine,dihydroflavonol3-O-acetil-aromadendrina, quecertin , Sakuranetin, 3,30-di-O-Methylquercetin**[16,28-31]**.
- **Phénylpropanoïdes** : Acide clorogénique , cinamaldéhyde**[28,32]** .
- **Polycetides**. : Acide palmitique, acide oléique, acide linoléique **[14- 16]**.

Les racines de l'Inule visqueuse contiennent de nombreux composés comme l'Inuline,le camphre d'Aunée **[30]**, 3-methoxy-p-cymene-7-yl isobutyrate, isovelerate et le nerylisovalerate, de la paraffine et trois sesquiterpènes essentiels : l'alantole, l'alontolactone et l'acide allantique **[31,32]**.

En effet l'influence de plusieurs facteurs sur la variabilité de la qualité chimique de l'huile essentielle de l'Inule visqueuse a été dévoilée dans plusieurs travaux antérieurs.

Les conditions environnementales comme les conditions climatiques et édaphiques peuvent influencer aussi la composition.

Tableau(I-2): Composition des huiles essentielles de l'Inule visqueuse provenant de différents pays.

Constituents %	Jordanie (Ibrid) [24]	Italie (Sardinia) [15]	Italie (Bar Apulia) [33]	Turquie (Fethiye) [34]	Espagne (Jaèn) [35]	France (Corsica) [36]
Acide isocostique	-	-	62,37	-	-	-
Fokienol	20,87	-	-	-	38,8	21,1
T-Cadinol	-	-	-	tr	-	-
Nerolidol	-	1,9	2,09	1,5	7,1	-
α-Copaene	1,15	-	-	tr	0,2	0,2
E-Nerolidol	19,75	1,9	-	-	7,1	8,6
β-Eudesm-6-en-4 α –ol	5,64	-	-	-	-	-
α-Vetivone	3,60	-	-	-	-	-
α-Eudesmol	2,68	2,0	0,15	0,3	-	2,2
oxide de Caryophyllen	2,57	8,0	0,84	1,5	-	2,5
Selin-11-en-4 α –ol	2,18	1,8	-	-	-	1,6
Cedren-14-ol-acetate	2,00	-	-	-	-	-
Khusimol	1,80	2,6	-	-	-	-
Globulol	1,79	16,8	-	-	0,4	-

Bornéol	-	-	-	25,2	tr	-
Isobornyld'acétate	-	-	-	22,5	-	-
Bornyld'acétate			-	19,5	-	-
δ-Cadinene	-	3,9	tr	-	1,7	0,2
γ-Cadinene	-	1,4	-	0,1	-	0,2
Valerianol	-	12,0	-	-	-	-

***tr :** trace.

I.A.2.1.5 Répartition géographique :

L'Inule visqueuse est une plante largement répandue dans le Nord de l'Algérie et dans tout le bassin méditerranéen .On la trouve dans les rocailles, les garrigues, les terrains argileux un peu humides sur les bords des routes**[10] ,** en Europe (Espagne, France...), Asie (Chine, Turquie, Japon) et en Afrique (Algérie, Tunisie Maroc…).on le trouve dans les sols salés, les prairies humides et les bords de cours d'eau**[5]** (Figure(I-3)).

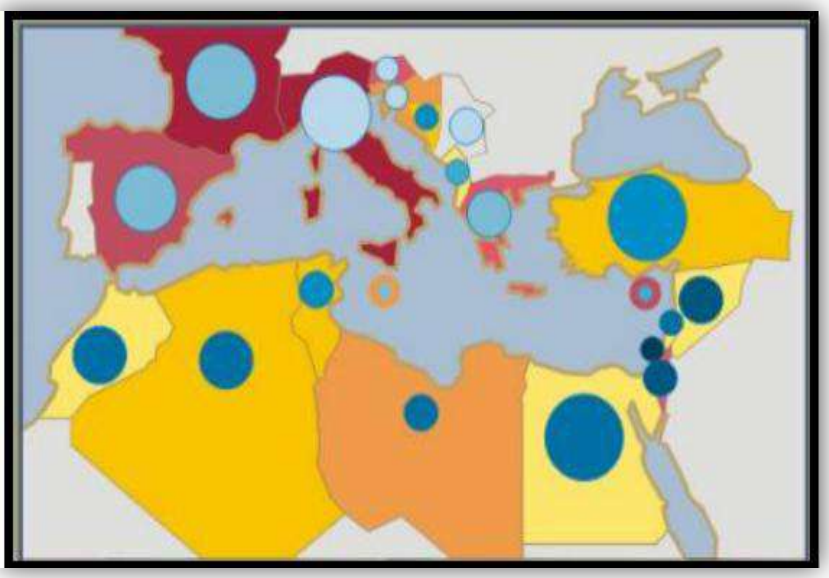


Figure (I-3): La carte géographique de L'Inule.

I.A.2.1.6 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle :

Inula viscosa L a été largement utilisé dans la médecine traditionnelle, et elle a fait l'objet de plusieurs études démontrant ses multiples activités biologiques et pharmacologique (**Tableau I-3)** :

Tableau (I-3): Importance pharmacologique et utilisation traditionnelle de l'Inule visqueuse **[4,24,36-41]**.

Nom de la plante (famille)	Partie récoltée	Usage traditionnel	Activité pharmacologique
Inula viscosa Ait. (Astéracées)	Aérienne	- Utilisée en cataplasme pour traiter les abcès, la gale, dermatoses, impétigo, furoncles, des ulcères comme cicatrisant des plaies cutanées. - Traitement des infections respiratoires, bronchiques, tuberculose, anémie, de la pression artérielle, le diabète et les néphropathies. - Activité antiseptique, activité antipyrétique.	• Activité anti-inflammatoire. • Activité antimicrobienne. • Activité antifongique. • Activité antitumorale.

I.A.2.2 L'espèce *Pélargonium graveolens*:

Les Géraniums Rosats sont originaires d'Afrique Australe où ils sont indigènes **[42]**. Le *P.graveolens* (famille Géraniacées), appartient à la catégorie des plantes vivaces à feuillage odorant**[43]**. Le genre *Pelargonium* comprend plus de deux cents espèces, mais cinq ou six variétés seulement sont exploitées pour la production des huiles essentielles (HE). On regroupe sous le nom générique de « Géranium Rosat », le *Pélargonium graveolens*, le *P. roseum*, le *P.odoratissimum*, le *P. capitatum* et le *P. radula*, cultivés au Congo, à la Réunion, à Madagascar, en Egypte, et dans les régions méditerranéennes **[42]**.

I.A.2.2.1 Taxonomie : La position taxonomique du Géranium Rosat est comme suit :

Tableau (I-4) : Taxonomie de Géranium Rosat **[44,45]**.

Embranchement	*Spermaphytes*
Sous-embranchement	*Angiospermes*
Classe	*Dicotylydones*
Sous classe	*Dialypetales*
Ordre	*Geraniales*
Famille	*Geraniaceae*
Genre	*Pélargonium*
Espèce	*graveolens*
Synonymie	Géranium odorant.
Nom commun	Géranium Rosat
Noms vernaculaires	العطرشة

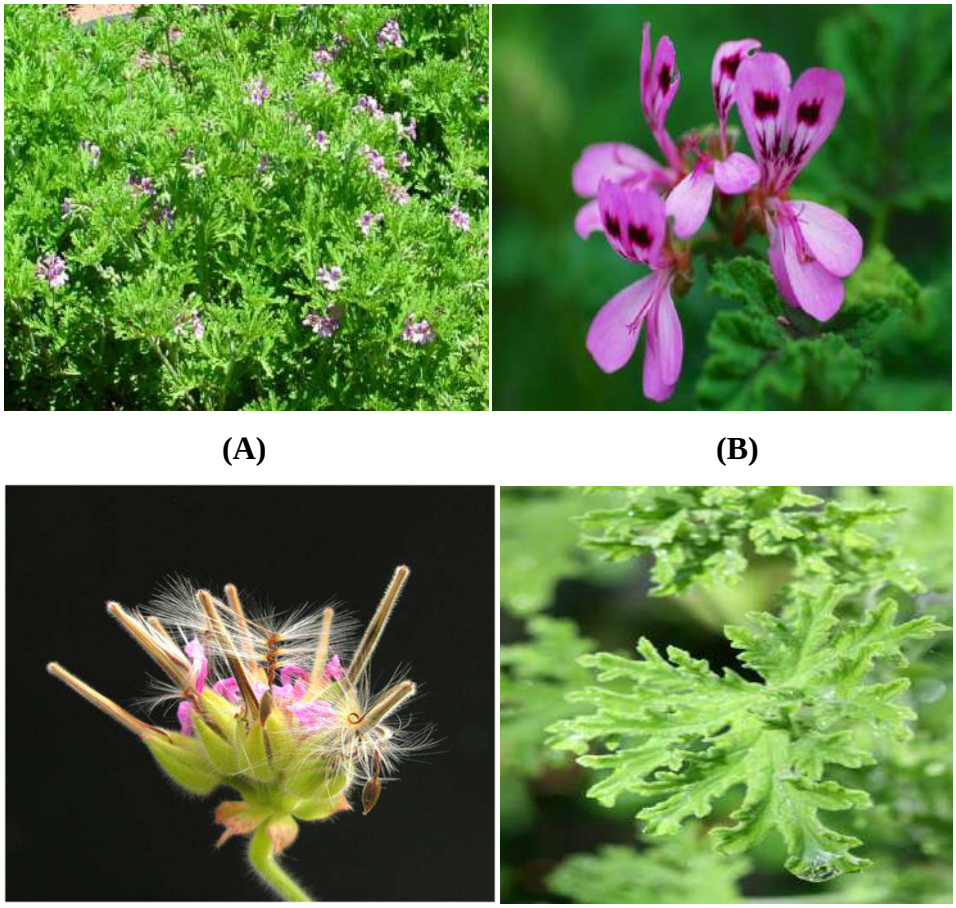
I.A.2.2.2 Aspect botanique :

Le Géranium Rosat est une plante aromatique appartenant à la famille des Géraniacées, Les tiges sont vertes et tendres et les feuilles persistantes sont lobées (5 à 7 lobes) et opposées. Elles sont couvertes de poils glanduleux microscopiques qui dégagent un parfum au toucher ou sous l'effet de la chaleur**.** Le système racinaire est pivotant **[46].**

Les fleurs sont groupées par paire. Elles sont de couleur rose et disposées en ombelles. Chaque fleur est constituée de :

- 5 sépales égaux présentant parfois une extrémité effilée.
- 5 pétales dont 2 différents, striés de rouge.
- 7 étamines.
- 5 Carpelles **[9,46-48]**.

La récolte des pousses se fait à plusieurs reprises. En Algérie, on pratique ordinairement la première coupe en mois de Juin. On doit livrer les tiges et les feuilles aux distilleries aussitôt qu'elles ont été récoltées. Chaque pied y fournit en moyenne 1kg de feuilles, et 1 hectare environ 40000kg **[49].**



(A) **(B)**

(C) **(D)**

Figure (I-4) : *Pélargonium graveolens*. A:Vue de plante entière, B : Fleur du *Pélargonium graveolens*

C : Fruits murs, D : Feuilles du *Pélargonium graveolens*

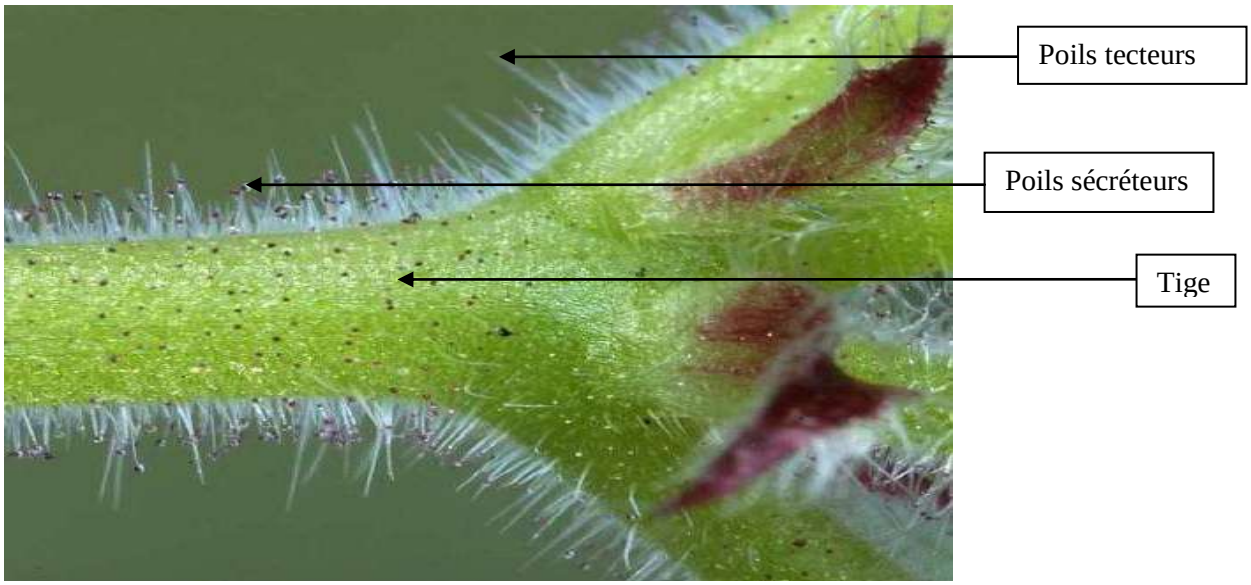


Figure (I-5) : Tige montrant les poils tecteurs et les poils sécréteurs.

I.A.2.2.3 Aspect anatomique :

Les résultats d'observations microscopiques effectuées ont permis de distinguer la présence des poils sécréteurs chez le Géranium Rosat. De l'extérieur à l'intérieur on observe la présence d'une couche épidermique (une seule assise de cellules**)** qui émette les poils sécréteurs et protecteurs**,** suivi d'un parenchyme chlorophyllien (plusieurs assises de cellules rondes), un sclérenchyme, des faisceaux cribro-vasculaires (phloème et xylème) et enfin par un parenchyme médullaire. (**Figure (I-6) et (I-7))**

D'après les observations des coupes réalisées, nous pouvons dire que le Géranium Rosat ne possède que des structures sécrétrices superficielles. Ce sont des poils sécréteurs.
Des résultats similaires ont été apportés par plusieurs auteurs **[50]**, que l'HE de Géranium Rosat est localisée au niveau des poils sécréteurs seulement.

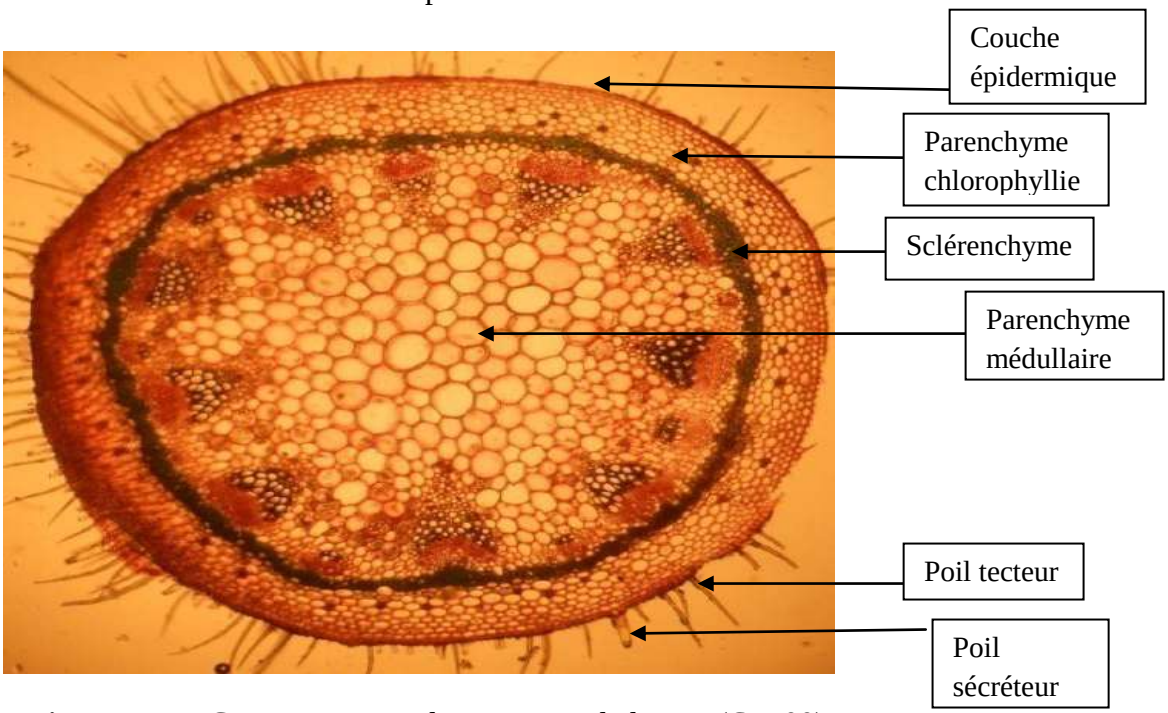


Figure (I-6) : Coupe transversale au niveau de la tige (Gx400).

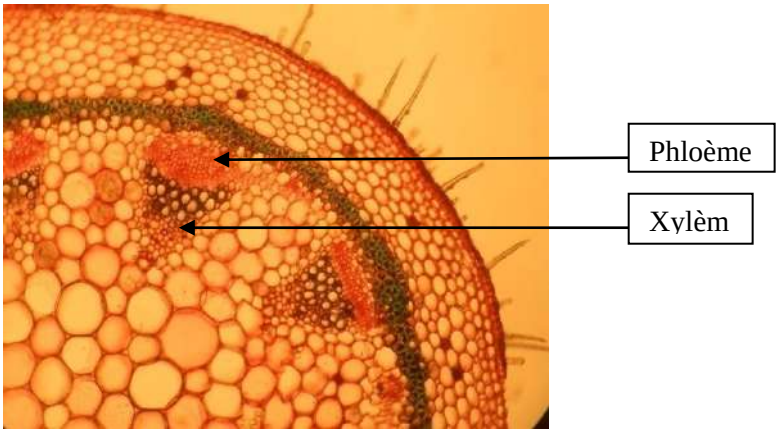


Figure (I-7) : Faisceau cribro-vasculaire au niveau de la tige (Gx400).

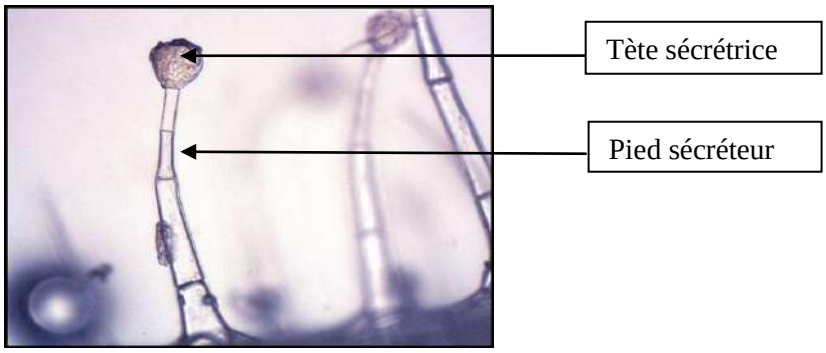


Figure (I-8) : Observations au microscope photonique d'un poil sécréteur pluricellulaires **[51]**.

I.A.2.2.4 Aspects phytochimiques :

Le profil chromatographique fait apparaître la présence de certains composants caractéristiques: Citronellol, formate de citronellyle, isomenthone, géraniol, linalool, formate de géranyle et Oxyde de rose**[52]**.

L'HE de Géranium se compose majoritairement de 2 alcools : le géraniol et le citronellol qui existent pour 2/3 à l'état libre et pour 1/3 à l'état combiné sous forme d'esters**[48,51]**.

Les résultats de l'analyse par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse de la composition chimique de l'HE sont listés suivant l'ordre de prédominance dans le (Tableau **(I-5)**) .

Tableau (I-5) : Composition chimique de l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens***[53]**.

Composés	(%)	Composés	(%)	Composés	(%)
Citronellol	19,22	Butyrate de	1,68	α-Caryophyllène	0,3
Géraniol	14,03	citronellyle		Acétate de	0,3
Formiate de	10,02	β-Germacrène	1,03	citronellyle	
citronellyle		Hexanoate de	0,97	Tiglate de	0,29
10-épi-γ-eudesmol	7,15	géranyle		citronellyle	
Acétate de géranyle	6,45	γ-Cubébène	0,92	α-Copaène	0,27
Linalol	5,6	α-Cadinène	0,9	Cis-β-Ocimène	0,26
Butyrate de géranyle	4,65	β-Cubébène	0,81	Myrcène	0,23
Longifolène	3,25	Cis Oxyde de rose	0,74	Limonène	0,2
Isomenthone	3,08	Isobutyrate de	0,73	Guaiadiène-6,9	0,18
β-Bourbonène	2,75	géranyle		Spathulénol	0,16
D-Germacrène	2,23	α-Pinène	0,69	Trans-β-Ocimène	0,14
Formiate de géranyle	2	Alloaromadendrène	0.62	α-Phellandrène	0,06

Tiglate de phénylethyle	1,89	Propionate de citronellyle	0,56	Cis Oxyde de linalol	0,06
β-Caryophyllène	1,71	Menthone	0,39	Trans Oxyde de linalol	0.03
Total = 96,86%		Trans Oxyde de rose	0,31		

Une étude comparative récente a été faite pour l'huile essentielle de Géranium Rosat provenant de différentes régions d'Afrique. Des fluctuations et des variations de concentration ont été notées pour les composants majoritaires et les composants caractéristiques **[54].** **(Tableau (I-6))**.

Tableau (I-6) : Comparaison de la composition chimique de l'huile essentielle de Géranium Rosat provenant de plusieurs régions d'Afrique.

Composés	**Bourbon**	**Organic**	**Egypt**	**Chine**	**Rwanda**	**Gasabo**	**Zambia**	**Reunion**	**Algérie**
Linalool	10,3	11,6	6,0	30	18,1	28	5,9	7,8	3.26
Isomenthone	6,1	6,5	5,2	5,1	8,4	6,0	8,2	5,4	5.44
Citronellol	22,6	25,7	29,2	38,2	12,7	31,2	22,7	21,7	28.68
Geraniol	18,9	16,5	19,3	8,7	34,8	5,6	11,4	17,5	5.55
Formate de citronellyl	7,5	4,8	5,8	10,0	0,4	14,8	7,4	8,2	9.76
Guaia-6,9-diene	5,5	0,2	0,2	6,0	5,3	7,6	8,9	5,8	0.45
10 epi-γ-eudesmol	-	5,8	5,8	0,2	1,7	-	-	-	-

I.A.2.2.5 Répartition géographique :

Les Géraniums (*Pélargoniums*) ont été importés en Europe vers 1690 et y sont communément répandus de nos jours comme plantes d'ornement**[42]**.Elle est cultivée dans de nombreuses régions méditerranéennes et subtropicales .En Algérie, cette plante annuelle et spontanée est largement répandue**[47,55].**

I.A.2.2.6 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle :

Le Géranium Rosat a été utilisé dans la médecine traditionnelle, elle a prouvé aussi un potentiel actif puissant (**Tableau (I-7)**) **.**

Tableau (I-7) : Importance pharmacologique et utilisation traditionnelle du Géranium Rosat**[56]**.

Nom de la plante (famille)	Partie récoltée	Usage traditionnel	Activité pharmacologique
Géranium Rosat (Géraniacées)	Aérienne	- Acné, brûlure, eczéma, plaie, impétigo. - Mycoses cutanées, gynécologiques . - Rhumatismes, arthrites, tendinites . - Epistaxis, coupures sanguinolantes . - Hémorroïdes, couperose, phlébite . - Stress, asthénie profonde, anxiété .	•Antibactérienne efficace •Fongicide puissante •Hémostatique remarquable • Antalgique •Anti-inflammatoire •Tonique astringente cutanée.

I.A.2.3 L'espèce *Rubus fruticosus L*:

Rubus fruticosus est une espèce dans le genre *Rubus* qui contient environ de 422 à 1892 espèces et fait partie de la famille des *Rosaceae(*Rosacées) .

Le nom « Ronce » vient du latin rumex, rumicis qui signifie « dard » et est l'un des noms dans cette langue de la Ronce commune.

Les Ronces (*Rubus L*.) sont un genre de plantes ligneuses, de la famille des Rosacées, qui comprend des plantes appelées « Ronce », mais aussi framboisier, plaquebière ou parfois mûre dans le langage usuel, à ne pas confondre avec les Mûriers (Morus) **[57].**

I.A.2.3.1 Taxonomie :

Sa taxonomie est présentée dans le tableau suivant :

Tableau (I-8) : Taxonomie du *Rubus fruticosus L* **[58,59].**

Embranchement	*Magnoliophyta.*
Classe	*Magnoliopsida.*
Sous classe	*Rosidae.*
Ordre	*Rosales.*
Famille	*Rosaceae.*
Genre	*Rubus*
Espèce	*fruticosus*
Synonymie	Ronce arbrisseau, Aronce, Catimuron, Mûrier sauvage, Mûrier des haies, Mûrier de renard, Mûron, Mûre .
Nom commun	Ronce.
Noms vernaculaires	عليق

I.A.2.3.2 Aspect botanique :

Les Ronces sont des sous-arbrisseaux vivaces, plus ou moins épineux, dont la souche ligneuse produit de longs rejets d'une longueur moyenne de 3 m, appelés turions ou sarments, à section anguleuse. Ces rejets sont bisannuels et sont munis d'aiguillons droits ou crochus plus ou moins nombreux. A la fin de la première année, les turions se recourbent, touchent terre à leur extrémité et s'enracinent.

Les pétioles, glabres ou légèrement pileux, peuvent être munis d'aiguillons.

Les feuilles sont alternes et caduques, mais elles peuvent persister sur les turions jusqu'en fin d'hiver. Elles présentent 3 à 5 folioles à bord denté, disposées en éventail. Les feuilles des tiges florifères, de seconde année, peuvent n'avoir qu'un limbe divisé en 3 ou 2 folioles, voire une seule.

La surface supérieure des feuilles est verte et glabre ou légèrement pileuse ; la surface inférieure, plus claire, peut être de peu à très pileuse.

La floraison a lieu de Juin à Août. Elle s'effectue sur des pousses totalement florales, issues de bourgeons situés eux-mêmes en position médiane ou basale sur les rameaux arqués de deuxième année.

Les fleurs sont hermaphrodites et régulières, d'un diamètre moyen de 2 cm. Le calice comporte 5 sépales verts, renversés après la floraison. Les pétales, au nombre de 5, sont

alternés avec les sépales. Ils sont étalés et de couleur pouvant varier du blanc au rosé foncé. Il y a un grand nombre d'étamines qui, après floraison, se dessèchent et se recourbent sur la face interne de leurs filets.

Les carpelles, très nombreux, sont glabres ou pileux. Ils se transforment en drupes de 2 à 4 mm, agglomérées, pour former le fruit bleu foncé à noir, appelé communément : Mûre. Le diamètre d'un fruit peut varier de 0,5 à 3 cm. Il est fréquent de trouver jusqu'à 30 mûres par rameau fructifère **[59].**

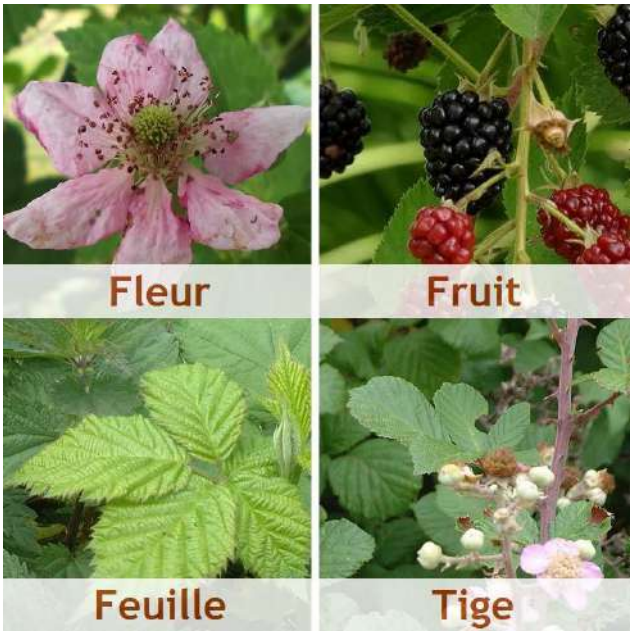


Figure (I-9) : *Rubus fruticosus L.*

I.A.2.3.3Aspects phytochimiques :

Les *Rubus fruticosus* contiennent de nombreux composés phytochimiques, y compris les polyphénols, les flavonoïdes, anthocyanes, acide salicylique, l'acide ellagique et de fibres. **[60,61],** ils ont à la fois des fibres solubles et insolubles **[62].**

Les matières végétales contiennent différents types de constituants phytochimiques tels que : Les alcaloïdes, des flavonoïdes, des tannins, des saponines, des glycosides, des terpénoïdes, les stérols et les glucides **[63-65].**Il contient également de l'acide ascorbique, les acides organiques, les tanins et les huiles volatiles **[66] (Figure (I-9)) .**

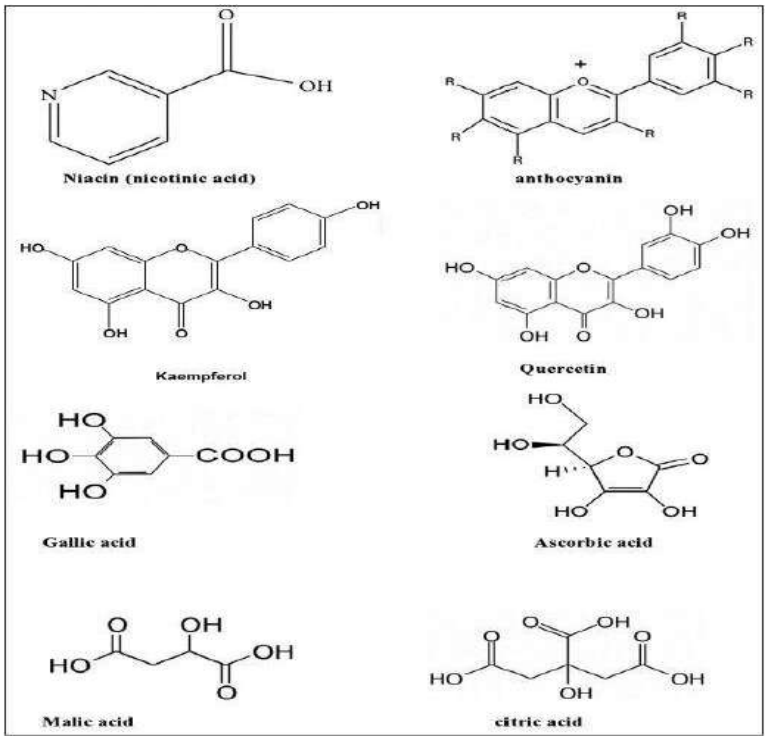


Figure (I-10): Phytoconstituents de *R. fruticosus L*.

I.A.2.3.4 Répartition géographique :

On trouve *Rubus* entre le 30e et le 65e parallèle de l'hémisphère Nord et entre le 28e et le 40e parallèle de l'hémisphère Sud. Son aire de répartition s'étend sur toute l'Europe, l'Afrique du Nord (Atlas), l'Afrique australe, le Sud-Est de l'Australie, la Nouvelle-Zélande, les Etats-Unis et le Chili. La Ronce est également présente plus près de l'Equateur, mais à des altitudes plus élevées (on en trouve jusqu'à plus de 2 000 m d'altitude)**[59].**

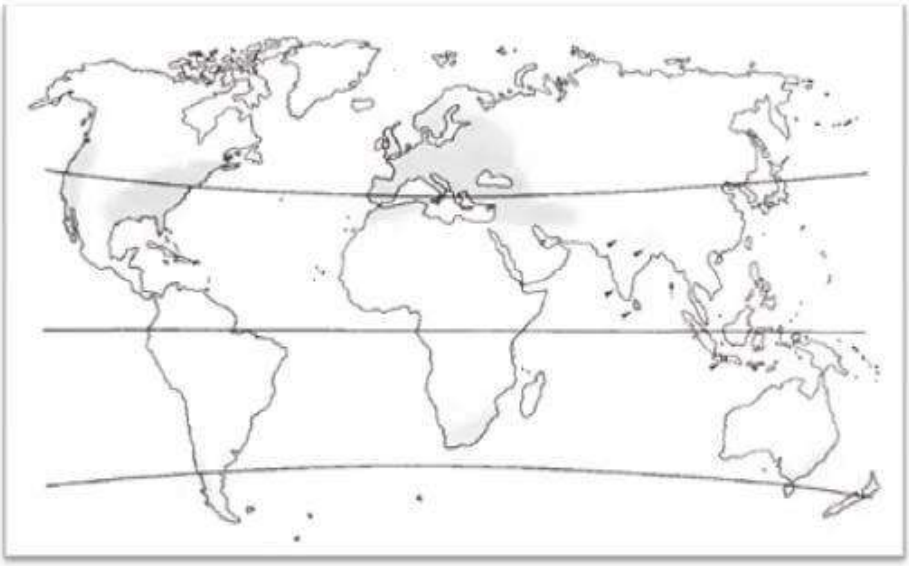


Figure (I-11): Aire de répartition mondiale de *Rubus fruticosus L*.

I.A.2.3.5 Aspect pharmacologique et utilisation traditionnelle [67,68,69]:

L'activité pharmacologique et l'usage traditionnel du *R fruticosus L* sont mentionnés dans le Tableau (I-9) :

Tableau (I-9) : le potentiel bioactif et l'utilisation traditionnelle du *Rubus fruticosus L.*

Nom de la plante (famille)	Partie récoltée	Usage traditionnel	Activité pharmacologique
Rubus fruticosus L (Rosaceae)	Aérienne	-Utilisée guérir le psoriasis et squameuses conditions de la peau et l'anémie. -Utilisée des décoctions pour soulager la diarrhée et les hémorroïdes. -Traitement du le diabète, des maux de gorge, ulcères de la bouche et des inflammations des gencives. -Un agent antimicrobien.	• Un agent antioxydant efficace •Traitement de la candidose • Anticancéreuse •Tonique astringente cutanée.

Rubus fruticosus a un pouvoir antioxydant remarquable (49.7%-89.9) de la capacité antioxydante du thé vert extrait de l'eau **[70].**

I.B Les huiles essentielles

I.B.1 Définition :

Les huiles essentielles sont des produits de composition chimique assez complexes renfermant des principes actifs très volatils à température ambiante en particulier en présence de la vapeur d'eau. C'est à ces composés volatils que les plantes doivent leur odeur **[71].**

Ce sont des liquides aromatiques appelés aussi essences aromatiques produites et emmagasinées dans certaines cellules de la matière végétale **[72].**

Le nom « huile essentielle » a été conçu empiriquement : Le terme « huile » soulignant le caractère visqueux et hydrophobe de ces substances ; cependant, le terme « essentiel » se comprenant comme le caractère principal de la plante **[73].**

L'association française de normalisation (AFNOR) définit une huile essentielle comme étant un produit obtenu à partir d'une matière végétale, soit par entrainement à la vapeur d'eau, soit

par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des citrus, soit par distillation à sec. L'HE est ensuite séparé de la phase aqueuse par des procédés physiques **[52].**

I.B.2 Rôle des huiles essentielles :

Les huiles essentielles ont quatre principaux rôles :

- Protection de la plante contre les déprédateurs (insectes).
- Attraction des insectes pollinisateurs.
- Inhibe la germination de la graine des espèces qui partagent lemême espace.

Elles ont aussi un rôle dans les échanges calorifiques dans les phénomènes capillaires **[74,75].**

I.B.3 Composition des huiles essentielles :

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes dont les constituants jouent, au point de vue parfum des rôles d'inégale importance ; les uns contribuent puissamment à l'arôme de l'huile, les autres à l'harmonie du mélange **[76].**

Jusqu'à présent, plus 3000 constituants ont été isolés à partir des HE s, ces dernières sont des mélanges complexes et éminemment variables de constituants qui appartiennent à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes :

- Composés terpéniques.
- Composés aromatiques dérivés du phenylpropane.

Les HEs peuvent également renfermer divers produits issus de processus de dégradation mettant en jeu des constituants non volatils **[2].**

I.B.3.1Les composés terpéniques :

Constitués principalement de carbone et d'hydrogène, ce sont les molécules les plus répandues dans l'huile essentielle. Leur structure chimique les empêche de se cristalliser, par contre, ils se polymérisent facilement **[76],** donc ce sont des polymères formés par la réunion d'unités isoprènes à 5 carbones (C_5H_8).L'isoprène est donc le constituant de base à partir duquel se fait la polymérisation **[77]**.

Ces hydrocarbures sont responsables en partie, de l'odeur dégagée par les plantes et les fleurs et trouvent leurs utilisations en parfumerie **[76].**

I.B.3.1.1 Monoterpènes :

On les rencontre comme constituants odorants des essences végétales. La plupart de ces composés possèdent des centres asymétriques et sont donc optiquement actifs. Dans la nature, on ne retrouve fréquemment qu'un seul des stéréoisomères.

Les monoterpènes s'associent pour former des diterpènes ($C_{20}H_{32}$), triterpènes ($C_{30}H_{48}$), tétraterpènes ($C_{40}H_{56}$) et les polyterpènes $(C_{10}H_{16})_n$…, de structures chimiques variées, ils peuvent être acyclique (linéaire), monocyclique, bicyclique ou même tricyclique **[78,79].**

I.B.3.1.2 Diterpènes :

Ce sont des composés en C_{20} moins volatils (quatre molécules isopréniques), ils sont cycliques ou acyclique.

I.B.3.1.3 Triterpènes :

Ce sont des composés en C_{30} (six molécules isopréniques) aliphatique ou polycycliques. On les utilise dans l'industrie des parfums. Il y'a aussi les tétraterpènes et polyterpènes qui sont des composés importants du point de vue biochimique. Ils contiennent des chaînes à plusieurs doubles liaisons conjuguées, responsables de leurs couleurs. La coloration de ces hydrocarbures tétra et polyterpènes est facilement explicable par le nombre important de doubles liaisons conjuguées.

I.B.3.1.4 Sesquiterpènes :

Ce sont des composés moins volatils de formule moléculaire $C_{15}H_{22}$, $C_{15}H_{24}$, $C_{15}H_{26}$ (Trois molécules isopréniques disposées). On trouve quelques exemples de sesquiterpènes caractéristiques des HE: Carbures mono- ou polycyclique (B-bisabolene), Alcools (farnésol), Cétones (nootkatone), Aldéhydes (sinensals) et Esters (acétate de cédryle) **[72].**

Tableau (I-10) : Les Composés terpéniques.

	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Carbure	Classe	
	Nerol (Citron)	Citral (Citron)	Tagetone	Mycènes (Laurier)	acyclique	MONOTERPENES
	Menthol (Menthe)	Safranal (Safran)	Menthone (Menthe poivrée)	Limonène (Orange)	monocyclique	
	Borneol (Sauge)	Myrtenal (Camphre)	Camphre (Camphrier)	Pinène (Terebentine)	bicyclique	
	Farnesol (Tilleul)	α-Sinrensal (Orange)		Sesquicitronellene (Citron)	acyclique	SESQUITERPENES
	α-Bisabotol (Camomille Allemande)		Atlantone (Cèdre)	Curcumène (Curcuma aromatique)	monocyclique	
	Carotol (Carotte)		Vetivone (Vetivrier)	Cadinène (Goudron de cade)	bicyclique	

I.B.3.2 Composés aromatiques :

Les composés aromatiques dérivés du phénol propane (C_6C_3) sont beaucoup moins fréquents que les précédents. Ce sont très souvent des allyles et propenylphénols, parfois des aldéhydes, caractéristiques de certaines HE d'*Apiacea*e (fenouil, anis, persil…).

I.B.3.3Composés d'origine diverse :

Il s'agit là de produits résultant de la transformation de molécules non volatiles. Ces composés contribuent souvent aux aromes de fruits, compte tenu de leur mode de préparation,

les concrètes et les absolues peuvent en renfermer. Il en est de même pour les HE lorsqu'ils sont entrainables par la vapeur d'eau **[2].**

I.B.4 Propriétés des huiles essentielles :

I.B.4.1 Propriétés physico-chimiques :

Les huiles essentielles possèdent un certain nombre de propriétés physico-chimiques connues qui sont les suivantes :

- A température ambiante, elles sont généralement liquides ; alors qu'elles sont volatiles à température élevée, c'est leur volatilité qui les distingue des huiles fixes telles que l'huile d'olive et l'huile d'amande douce.
- Pouvoir intense de diffusion et de pénétration.
- Elles sont incolores à jaune pâle mais il existe toutefois des exceptions.
- Elles ont généralement une densité inférieure à celle de l'eau (d<1), mais il existe des exceptions (les huiles essentielles de girofle).
- Elles sont douées d'un pouvoir rotatoire justifié par la présence des molécules asymétriques.
- Elles possèdent un indice de réfraction généralement élevé.
- Elles sont peu solubles dans l'eau (entraînables à la vapeur d'eau).
- Elles sont solubles dans les solvants organiques usuels, dans les graisses (liposolubles), et dans les alcools.
- Sensibles à l'oxydation ; elles ont également tendance à se polymériser pour former des produits résineux ; ce qui limite leur conservation **[72]** .

I.B.4.2 Propriétés biologiques :

Quelque propriétés biologiques seulement sont reconnues et proviennent d'un usage traditionnel validé : Il s'agit des propriétés antiseptiques et stimulante digestives à l'intérieur et, à l'extérieur, de propriétés antiseptiques, cicatrisantes et antalgiques. D'autres propriétés sont revendiquées et font l'objet de prescriptions sous l'entière responsabilité du médecin prescripteur.

I.B.4.3 Propriétés pharmacologiques :

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de constituants en proportion souvent variable, d'où la difficulté de mener des études pharmacologiques rigoureuses. Quelques propriétés principales peuvent cependant être dégagées. Un grand nombre d'huiles essentielles présentent des propriétés « digestives » ou des propriétés antispasmodiques, sédatives, irritantes **[80].**

I.B.5 Localisation des HE :

Le végétal aromatique fabrique de faibles quantités d'huiles essentielles dans ses cellules excrétrices, qu'il concentre ensuite dans des poches situées dans certaines de ses parties : Fleur, fruit, feuille, tige, rhizome, écorce **[81].**

Les huiles essentielles sont situées dans des glandes minuscules dans différentes parties de la plante aromatique :

- Dans les feuilles comme pour le basilic,
- Dans les fleurs comme chez la rose,
- Dans les fruits comme chez le citron,
- Dans les grains comme pour le coriandre,
- Dans l'écorce comme pour la cannelle,
- Et pour certaines plantes. C'est dans les racines.

Rares sont les plantes dans lesquelles l'huile essentielle se concentre dans un seul organe. La plupart en sont pourvues dans toutes les parties**[76].**

Les huiles essentielles sont largement répandues dans le règne végétal pour les familles à haute teneur en matières odorantes comme les labiacées, géraniacées, rutacées, myrtacées, conifères, …etc**[73].**

Souvent, on distingue deux types de dépôts des huiles essentielles dans les végétaux ; il s'agit des dépôts endogènes et exogènes :

I.B.5.1 le dépôt exogène :

C'est un dépôt à la surface des organes du végétal qui produit l'huile essentielle durant la végétation donnant l'odeur caractéristique du végétal.

I.B.5.2 le dépôt endogène :

C'est un dépôt à l'intérieur des organes du végétal, constitué de cellules mortes ou vivantes.

Les principes actifs sont souvent localisés sur ou à proximité de la surface de la plante, On distingue ainsi :

- Cellules à l'huile essentielle des lauracées.

- Poils sécréteurs des labiacées (lavande, menthe, romarin, thym).

- Poches sécrétrices du myrtacées ou rutacées.

- Canaux sécréteurs des labiacées ou des astéracées**[72].**

La synthèse des huiles essentielles est liée à une structure histologique bien précise, (cellule ou groupes de cellules spécialisées), à des sites superficiels (où l'odeur se dégage par simple attouchement) ou internes.

Les sites superficiels sont représentés par les cellules épidermiques (pétale de rose), les poils sécréteurs unis ou pluricellulaires développés à partir de cellules épidermiques uniques (feuilles de menthe, calice de lavande).

Les sites internes sont représentés par des cellules isolées (feuilles de laurier sauce), des cellules groupées formant des poches sécrétrices (écorce d'agrume) ou des canaux sécréteurs (tige de fenouil) **[74].**

Le stockage des huiles essentielles se fait dans les organes végétaux : Fleurs, feuilles, fruits, tiges, bois, écorces, parties souterraines (racines, rhizomes) à proximité de la surface. Bien que toutes les parties d'une plante puissent contenir des essences, leurs compositions chimiques varient d'un organe à un autre, mais la plus importante concentration se trouve au niveau des fleurs et des feuilles **[82].**

I.B.6 Technique d'extraction des HE :

I.B.6.1 Définition :

L'extraction est une technique de séparation en génie chimique. Cette technique utilise un moyen d'extraction pour séparer sélectivement un ou plusieurs composés d'un mélange sur la base de propriétés chimiques ou physiques.

I.B.6.2 Paramètres influençant l'extraction :

Matière végétale : Choix des plantes, mode de cueillette, provenance (région d'origine), stade végétatif, période de la journée et la partie de la plante distillée **[83,84].**

- Nature et état du solide et du soluté **[85]**.
- Nature, concentration et volume du solvant **.**
- Méthode, durée, température et pression **[86].**

Différentes méthodes sont mises en oeuvre pour l'extraction des huiles essentielles, ce qui introduit cette diversité, c'est d'abord:

- la variété des matières premières
- La proportion des matières à extraire
- La distribution d'huile essentielle au sein du solide.
- la sensibilité thermique et chimique considérable de certaines huiles essentielles qui n'obligent à employer que des moyens peu violents sans interventions d'agents chimiques trop énergiques

Le choix du type d'extraction doit permettre de **[87].**

- Retirer des végétaux des essences aromatiques avec le rendement le plus élevé.
- Conserver aussi intact que possible les parfums les plus délicats

Ainsi, la méthode d'obtention des huiles essentielles intervient de façon déterminante dans le rendement en huile et dans sa composition **[88].**

I.B.6.3 Méthodes d'extractions :

Selon la définition, les huiles essentielles sont obtenues par entraînement à la vapeur d'eau. Mais autour de cette technique de base, il existe actuellement plusieurs procédés technologiques ou plusieurs façons de faire différentes.

Parmi ces différentes méthodes d'extraction, nous citons principalement **(**Tableau (I-11)) :

Tableau (I-11) : Les différentes méthodes d'extraction [**2,89-91, 93-100]**:

Méthodes conventionnelles	Méthodes innovantes
- L'hydro-distillation . - Entrainement à la vapeur d'eau . - Distillation à la vapeur directe . - Distillation sèche - L'hydro-diffusion . - L'expression à froid . - Huiles essentielles produites par pyrogénation du bois . - Distillation par extraction simultanée (SDE) . - Extraction par solvants . - L'enfleurage . - Macération .	- Extraction par ultra-sons ou sonication . - Extraction assistée par micro-ondes . - Extraction au fluide supercritique . - Extraction par Induction magnétique - Extraction à l'eau surchauffée .

Les principales opérations industrielles ont été résumées dans la **Figure (I-12) :**

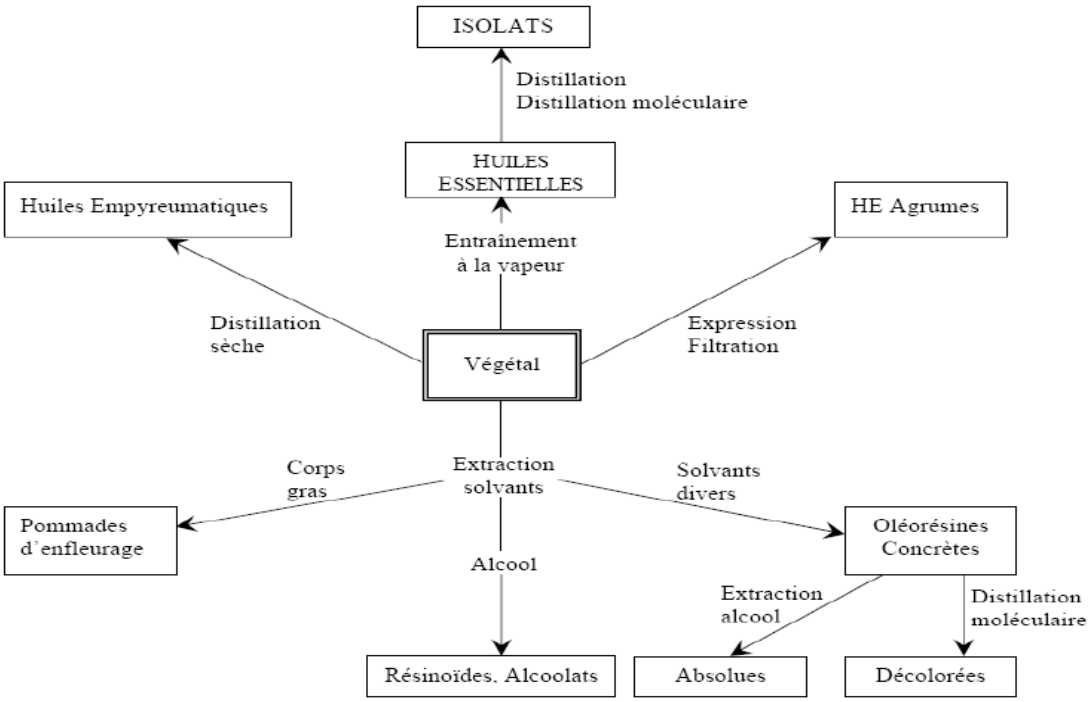


Figure (I-12): Principales opérations industrielles d'extraction **[101].**

A la diversité de ces méthodes, ils en découlent des différents avantages et inconvénients pour chacune de ces méthodes :

Tableau (I-12) : Avantages et inconvénients des différents procédés d'extraction.

Procédés d'extraction	Avantages	Inconvénients
Hydrodistillation	-Rendement en huile essentielle très élevé. - Essence de bonne qualité, très concentrée. - Contact direct entre matière végétale- eau	- Altération de certaines substances odorantes à la température d'ébullition de l'eau. - Perte d'une partie d'essence par évaporation, oxydation, dissolution et cyclisation. - Procédé violent.
Entraînement à la vapeur d'eau	- Réduire l'altération des constituants d'huile essentielle. - Economie énergie, de temps d'extraction. - Efficacité d'extraction	-Agglutination de la charge végétale sous l'effet de la vapeur d'eau. - Mauvaise qualité de l 'huile - Réaction secondaire hydrolyse et formation d'artéfacts.

Expression à froid	-Essence de très bonne qualité, non trop altérable	- Procédé non généralisé. - Rendement très faible en essence.
Enfleurage	Obtention d'absolues ou concentré de pommade qui garde toute la finesse et l'odeur de la fleur épuisée.	- Coût très élevé. - Diffusion lente et processus délicat.
Digestion (Macération à chaud)	- Rapidité - Réduction considérable du temps d'extraction, du rendement. - L'optimisation des conditions de l'extraction.	Toutes les fleurs ne peuvent être traitées par ce procédé, ça pourrait peut diminuer le rendement en huile essentielle.
Micro-ondes	- Rapidité - Réduction considérable du temps d'extraction - Amélioration du rendement. - L'optimisation des conditions de l'extraction	- Détérioration des constituants odorants par les micro-ondes qui possèdent une grande énergie de pénétration
Dioxyde de carbone à l'état supercritique	- Opérer à température basse d'où éviter la dégradation. - Non agressif vis à vis des substances fragiles.	- Exige une technologie sophistiquée. - Matériel et personnel spécialisé et important.
Solvants organiques volatils	- Universalité. - Procédé doux, non violent. - Principes actifs olfactivement proche du végétal lui-même.	- Danger sur l'homme et l'environnement en cas de manque de prévention. - Impossible de contrôler les paramètres de pression et de température.

Pour les plantes visées dans notre étude, différents modes d'extraction ont été entrepris :

- ✓ **I.V** : extraite par les deux méthodes HD et EVE.
- ✓ **PG**: extraite par les deux méthodse HD et EVE.
- ✓ **RF** : extraite par méthode d'HD, EVE et Macération aqueuse.

I.B.7 Toxicité des huiles essentielles :

Les HE contiennent des milliers de composants qui les rendent très efficaces, mais aussi dangereuses. Certains composants aromatiques peuvent être nocifs, allergisants, tératogènes ou cancérigènes. La toxicité des HE et les propriétés mutagènes ou cancérigènes de leurs composés restent encore mal connues. Pourtant, la neuro-toxicité des plantes aromatiques et médicinales à thujone (*Artemesia absinthum L*) et pinochaphène (*Hyssopusofficinalis L*) est assez bien connue.

En effet, ces substances cétoniques induisent des troubles psychiques et sensoriels. D'autres mono-terpènes sont toxiques à fortes doses : Camphre, menthol, cinéol, anéthol, etc.

En effet, la toxicité des plantes aromatiques et médicinales dépend de la nature des composés qu'elles renferment et aussi de la dose administrée. On cite, par exemple, HE à partir de là de différentes variétés d'origan qui ont montré une forte cyto-toxicité sur des cellules humaines cancéreuses **[102].**

I.B.8 Conservation des huiles essentielles :

Les huiles essentielles doivent être conservées, correctement pour préserver leur qualité. Avec le temps, elles s'oxydent, ce phénomène étant amplifié par la chaleur, l'air, la lumière... Il faut les conserver dans un endroit frais, à l'abri de la lumière, dans du verre brun ou de l'aluminium vitrifié. Une essence bien distillée se conserve trois ans au moins **[103].**

I.B.9 Conclusion :

D'une manière globale, nous avons constaté que les huiles essentielles sont des composés d'un grand nombre de constituants chimiques connus et possèdent une concentration rarement rencontrée dans les produits courants. Chaque huile apparaît comme un mélange indissociable doté de vertus thérapeutiques très intéressantes.

Nous avons pu aussi voir qu'il existe de nombreuses techniques d'extraction anciennes et d'autres récentes développées dans le but d'augmenter leur valorisation dans le domaine thérapeutique.

Chapitre II : Étude expérimentale

Partie A : Cinétique d'extraction.

II .A.1 Matériel et méthodes :

II .A.1 .1 Introduction :

L'extraction des huiles essentielles est certainement la phase la plus délicate et la plus importante. Elle a pour but de capter les produits les plus subtils et les plus fragiles élaborées par le végétal. De nombreux procédés sont utilisés pour l'extraction de ses substances **[104].**

II .A.1.2 Matériel :

Le matériel utilisé dans cette étude pour effectuer les différents essais expérimentaux est de deux types : matériel biologique et non biologique, ce matériel est présenté dans le tableau

(II-1) :

Tableau (II-1) : Présentation du matériel utilisé.

Matériel biologique		**Matériel non biologique**	
Matériel végétal	*Inula Viscosa* *Pelargonium graveolens* *Rubus fruticosus*	**Equipements et verreries**	Chauffe ballon Etuve Balance analytique Agitateur Ballon 1000 ml Réfrigèrent Ampoules à décanter Tubes en verre Pipettes
Micro-organismes	Staphylococcus aureus Kleibseila pneumonia Escherichia coli Pseudomonas Serratia sp	**Produits**	Eau distillée Diéthyle éther Ethanol

II .A.1 .3 Provenance du matériel végétal et identification :

Dans notre étude, nous avons utilisé deux méthodes d'extraction différentes l'hydro-distillation et l'entraînement à la vapeur d'eau pour extraire les HEs de nos plantes médicinales (*Inula Viscosa* , *Pelargonium graveolens* et *Rubus fruticosus*) qui ont été récoltées dans la période allant du mois d'Avril jusqu'au mois d'Août, 2016 à Médéa région interne montagneuse au Nord d'Algérie, puis une comparaison quantitative des huiles obtenues a été effectuée ainsi qu'une étude des cinétiques d'extraction.

L'identification botanique des espèces sélectionnées pour notre étude a été faite par monsieur Dahmani chef service au niveau de la direction de la conservation des forêts de Médéa.

Les plantes fraichement récoltées, sont lavées et devisées en deux parties l'une utilisée fraiche et l'autre laissée sécher à l'ombre dans un endroit sec et aéré pendant une semaine. Notant qu'avant le lavage, une certaine quantité est récupérée pour la mesure du taux d'humidité ; les feuilles sont les parties concernées.

II .A.1 .4 Détermination du taux d'humidité :

Le contenu en humidité des plantes à été déterminé par le procédé de séchage à l'étuve (à 60°C) et de peser chaque 60 minutes la plante jusqu'au l'obtention d'un poids constant (La différence entre deux pesées consécutives n'est pas significative) **[105].**

$$H(\%) = \frac{A-B}{B} \times 100 \qquad \text{(II-1)}$$

Avec :

A : Poids de la plante fraiche.

B : Poids de la plante sèche.

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

II .A.1 .5 Calcul du rendement :

Le rendement est calculé à partir du poids de l'huile essentielle par rapport au poids sec de la masse végétale utilisée, soit :

$$\mathbf{R = Mhe/Mvg \times 100} \qquad \text{(II-2)}$$

R : Rendement en HE (en%).

M_{he} : Masse de l'huile essentielle.

Mvg : Masse végétale sèche.

II .A.1 .6 Méthodes d'extraction :

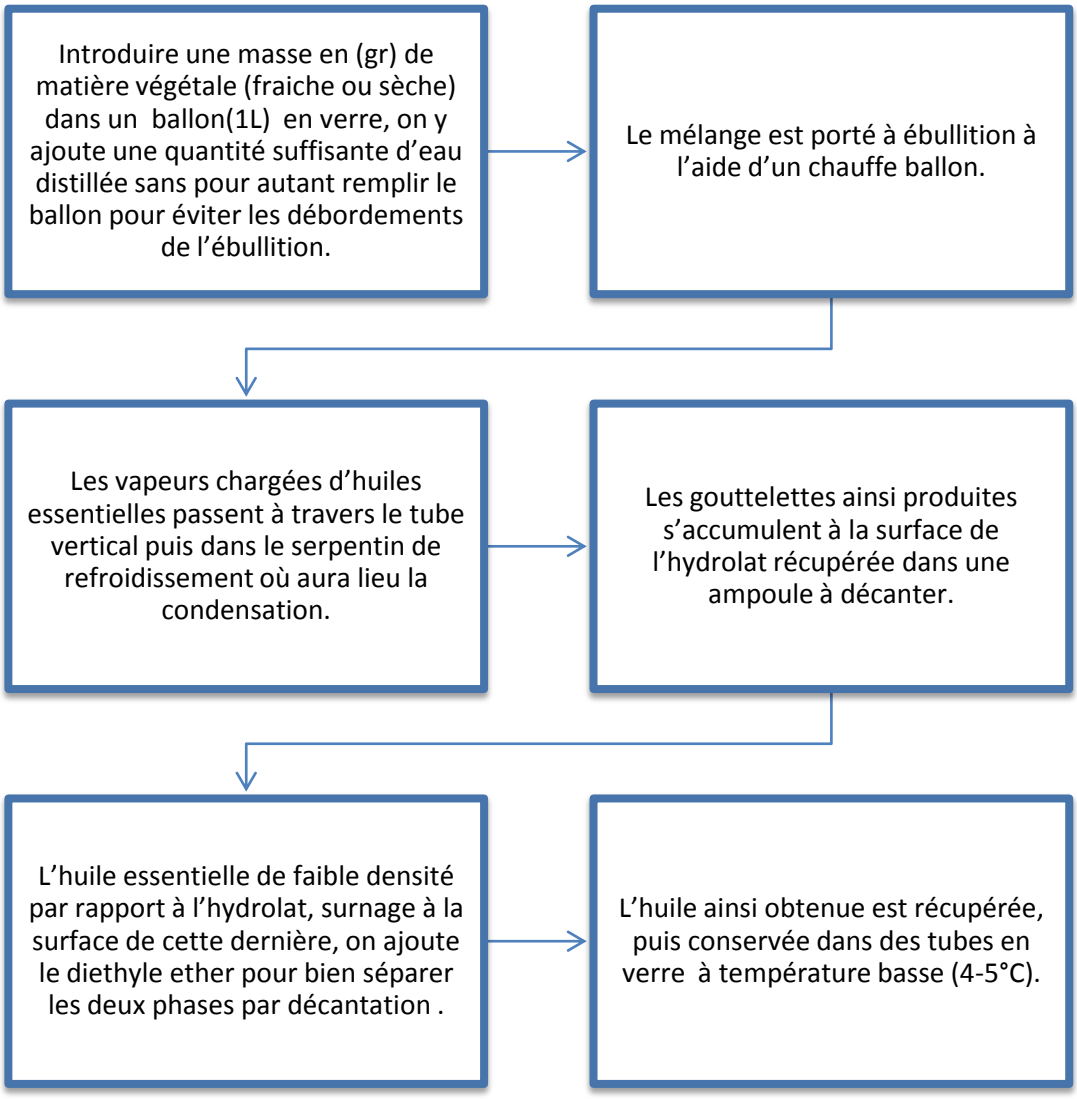
II .A.1 .6 .1 Extraction par Hydrodistillation :

Le matériel végétal constitué des feuilles d*'Inula viscosa ,ou de Pelargonium graveolens ou bien de Rubus fruticosus* a été soumis à l'hydrodistillation dans laquelle le végétal est en contact direct avec l'eau bouillante, en utilisant le montage de la figure (II-1).



Figure (II -1): Montage de l'HD.

L'organigramme suivant récapitule toutes les étapes suivies dans le protocole expérimental.



Notons qu'on a effectué des prélèvements après des intervalles de temps bien définis comptant de l'apparition de la première goutte.

Les conditions opératoires d'extraction par HD sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau (II-2) : Conditions opératoires d'extraction par HD de PG.

	PG frais	PG sec	PG sec broyé
Masse végétale(g)	120	60	60
Volume d'eau distillée (ml)	650	650	650
Pression (atm)	1	1	1
Durée d'extraction(h)	3	3	3
Taux d'humidité(%)	38	12	12

II .A.1 .6 .2 Entrainement à la vapeur d'eau :

Le matériel végétal (*Inula Viscosa* , *Pelargonium graveolens* et *Rubus fruticosus*) est soumis à une EVE dans laquelle le végétal n'est pas en contact direct avec l'eau bouillante, en utilisant le montage schématisé dans la figure (II -2).



Figure (II -2): Montage de l'EVE.

Tableau (II-3) : Conditions opératoires d'extraction par EVE de PG.

	PG frais
Masse végétale(g)	120
Volume d'eau distillée (ml)	900
Pression (atm)	1
Durée d'extraction(h)	3
Taux d'humidité(%)	58

Même étapes de mode opératoire de l'HD ont été suivies pour l'EVE, sauf que la plante est placée dans un ballon au dessus du ballon qui contient de l'eau bouillante.

II .A.2 Résultat et interprétation:

II .A.2 .1 Extraction du PG :

Le suivi des cinétiques d'extraction par HD est rapporté sur la figure (II-3):

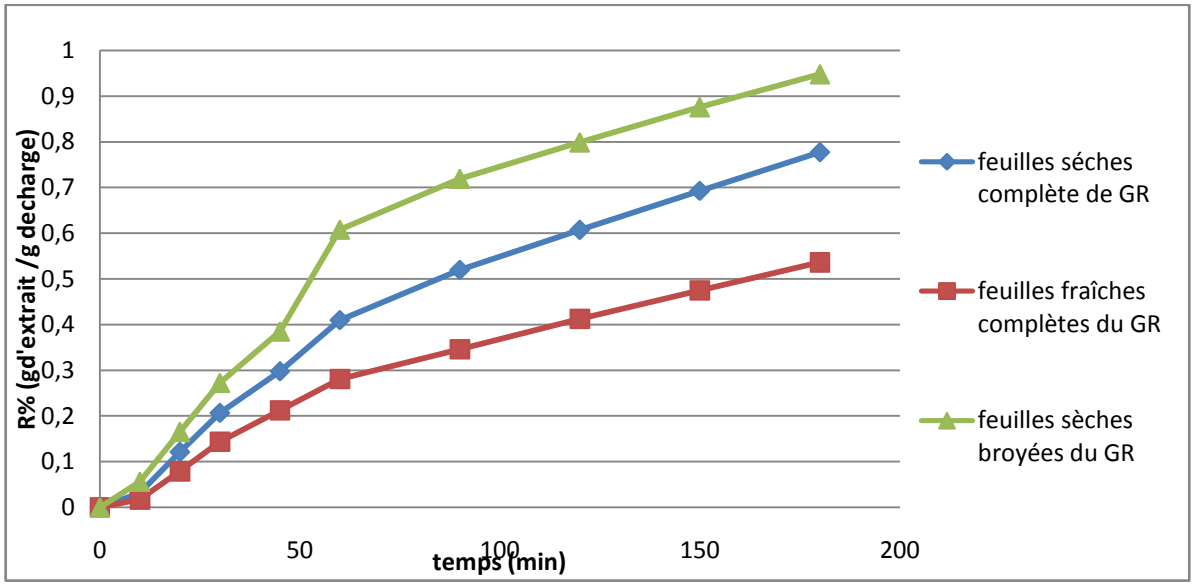


Figure (II-3): Suivi des cinétiques d'extraction par HD de PG.

Les allures des courbes cinétiques représentant les cinétiques d'extraction par HD des feuilles sèches, fraîches, complètes et broyées sont identiques pour les trois cas, indiquant qu'elles suivent les mêmes étapes d'extraction : un accroissement rapide suivi d'une diminution de la vitesse d'extraction dans la deuxième phase, en aboutissant à la fin à des rendements extraites à 180min différentes. L'eau présente dans les feuilles peut faire traîner la libération des HEs,

ce qui se traduit par une faible masse huileuse extraite à partir des feuilles fraîches complètes par rapport à celle extraite à partir des feuilles sèches complètes.

Il apparaît également que le broyage a manifesté son effet sur la cinétique d'extraction ainsi que sur le rendement en huile essentielle. Les feuilles broyées ont donné un rendement en HEs plus élevé que celui obtenu par les complètes. Les divergences de comportement apparaissent sur l'ensemble des périodes d'extraction et il devient plus net en dépassant 50mn d'extraction.

Sur la figure (II-4), on peut remarquer que par rapport à l'EVE, l'HD extrait beaucoup plus rapidement la substance huileuse des feuilles du *Pélargonium graveolens*, cette supériorité est d'autant plus prononcée à partir de 60 min. il faut noter qu'il est nécessaire de dépasser 180 min pour arriver à l'épuisement totale de la matière végétale.

La cinétique d'extraction peut dépendre de la nature du substrat végétal, la qualité de l'HE la nature des sites producteurs des HEs et leurs localisations. En effet un suivi de la composition en fonction du temps des fractions obtenues est jugé utile pour expliquer une partie de la réalité de ce déphasage qui existe entre les cinétiques d'extraction par l'HD et l'EVE.

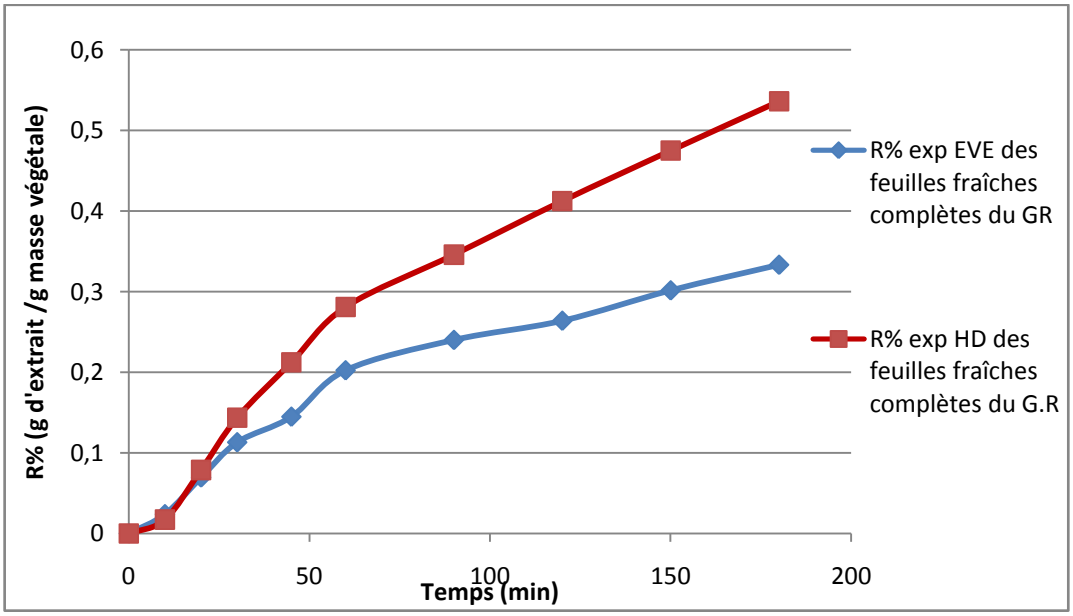


Figure (II-4): Cinétiques d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation de PG de Médéa (période de récolte : Juillet, feuilles fraiche complètes).

II .A.2 .2 Extraction d'HEs de l'Inule visqueuse :

Le tableau suivant montre différentes conditions opératoires de l'EVE et l'HD des feuilles sèches de l'Inule visqueuse.

Tableau (II-4) : Conditions opératoires.

Procédés d'extraction	Lieu de récolte de la plante	Période de récolte de la plante	Taux d'humidité	Durée d'extraction	Rendement
Hydrodistillation	Médéa	Décembre	13%	4h	0,83%
Entrainement à la vapeur d'eau	Médéa	Décembre	13%	4h	0,88%

Ces mesures ont été élaborées par Madani.L **[106],** les valeurs expérimentales ont été reproduites intégralement dans notre étude dans le but de les modéliser mathématiquement car à l'aide de notre installation on n'a pas aboutis à extraire les HEs. Les rendements trouvés par l'HD et par EVE dans cette étude **[106]** sont nettement supérieurs à ceux rapportés dans la littérature, (0,04%) **[107],** (0,20%) **[15]**respectivement **.** Cette supériorité est aussi manifesté par rapport à celle provenant d'Alger (0.16%-0.44%).

Le suivi de l'évolution des cinétiques d'extraction par HD et par EVE est rapporté sur la figure (II-5). Par rapport à l'EVE, l'HD extrait beaucoup plus lentement la substance huileuse de l'inule visqueuse, ce déphasage est plus prononcé surtout durant la période d'extraction à partir des sites exogènes .Après 60 mn d'extraction l'accroissement des rendements obtenus par entraînement à la vapeur d'eau atteint son seuil (57%) par rapport aux rendements issus de l'hydrodistillation, cette supériorité se réduit de plus en plus à 140 mn pour atteindre (9,6%). A 180mn l'accroissement décroit à 6%. Le temps de l'épuisement de la matière végétale par les deux méthodes d'extraction EVE, HD pourra aller au-delà de 180 mn.

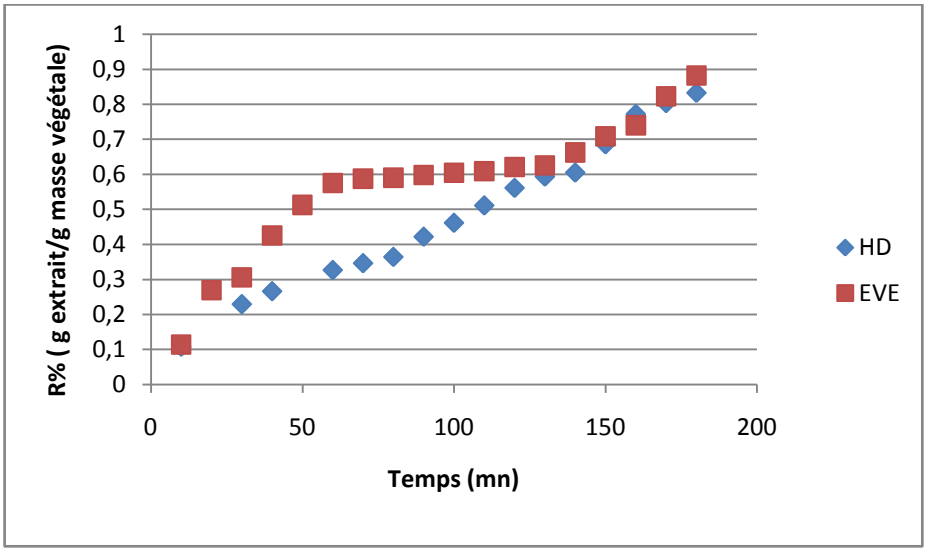


Figure (II-5): Cinétiques d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation de l'Inule visqueuse de Médéa (période de récolte : Décembre, feuilles sèches complètes)**[106].**

La différence de ces comportements cinétiques peut être aussi attribuée à la différence des composés obtenus des deux méthodes et du contact du soluté avec l'eau en ébullition entre l'HD et l'EVE.

II .B Modélisation mathématique :

II .B .1 Introduction :

Les cinétiques d'extraction peuvent être affectées par plusieurs phénomènes physiques comme les phénomènes de transfert de matière, solubilité du soluté dans le solvant.

La modélisation est la base de développer le passage de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle car elle offre la possibilité de généralisation et d'ajustement des données expérimentales. Elle est dans de nombreux cas, le meilleur moyen pour maîtriser les paramètres influençant une opération de génie chimique, ce qui permet d'éviter des expériences souvent coûteuses. La description de la plupart des espèces végétales n'est pas toujours accessible par les relations classiques utilisées en génie chimique pour les particules solides. Leur géométrie n'est généralement pas uniforme, et leur structure interne est loin d'être homogène.

Les modèles mathématiques doivent tenir en compte les différents paramètres influençant la vitesse d'un processus d'extraction pour mieux garantir la fiabilité de la représentation d'une partie bien définie de la réalité.

La vitesse d'extraction résultante est régie par trois processus élémentaires d'échange de matière:

- la dissolution du soluté au sein des particules de solvant, est généralement très rapide devant la durée du procédé entier de l'extraction. On peut, toutefois, rencontrer des cas où cette étape doit être prise en compte dans la détermination de la vitesse globale.

- la diffusion de la solution vers l'extérieur de la particule, le cheminement du soluté à travers les parois des cellules peut être très lent pour diverses raisons (tortuosité, faible diamètre des pores, ...). Le processus est régi par un phénomène de diffusion à travers une membrane ou dialyse.

- la diffusion du soluté contenu dans la solution au contact du solide vers la masse restante de solvant, peut être considérée comme une simple opération de mélange son influence sur la vitesse globale est très limitée.

Une partie de nombreuses tentatives qui ont été entreprises dans la littérature pour la mise en œuvre de ces modèles a été accentuée sur la description de la diffusion du soluté dans le solide vers la masse fluide en se basant sur des bilans de matière entre les deux phases et l'intégration des équations différentielles nécessitant des hypothèses simplificatrices . Celles ci marquent les succès divers de ces modèles.

Application des modèles mathématique et discussion :

On s'est penché dans cette partie de notre travail sur l'application de trois approches différentes pour décrire la vitesse d'extraction de deux procédés différents (HD, EVE) pour deux natures de substrat végétal différentes, le *Pélargonium graveolens* et l'Inule visqueuse :

1- Une première approche cinétique où seule la libération du soluté est considérée.

2- Une deuxième approche où la libération du soluté et la diffusion de l'espèce chimique sont tous deux pris en compte.

3-Dans la deuxième approche diffusionnelle, seule la diffusion est considérée.

Dans l'ensemble des modèles appliqués :

- L'HE est considérée comme un soluté unique ayant des propriétés physiques et diffusionnelle moyennes.
- Les particules ont la même forme, la même taille et le même contenu initial en HE.
- Le système se comporte comme un lit fluidisé en écoulement piston.
- La résistance au transfert de matière est négligeable dans l'eau bouillante et la phase vapeur.

La régression nécessaire dans tous les modèles se fait en minimisant la déviation absolue moyenne entre les rendements expérimentaux et ceux calculées par le modèle choisi.

$$\boldsymbol{AAD\ \%} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}} \sum_{\boldsymbol{i}=\mathbf{1}}^{\boldsymbol{n}} \left| \frac{\boldsymbol{Y_{nexp} - Y_{nmod}}}{\boldsymbol{Y_{nexp}}} \right| \mathbf{100} \qquad \text{(II-3)}$$

L'application des différents modèles servira à l'obtention des prédictions des courbes cumulatives d'extraction pour les comparer à celle expérimentales.

II .B .2 Application des différents modèles mathématiques :

On a envisagé de simuler par quatre modèles les cinétiques d'extraction par HD et par EVE des feuilles du *Pélargonium graveolens* dont les résultats expérimentaux sont issus de la première partie expérimentale de notre travail, et des feuilles de l'Inule visqueuse dont les données expérimentales des cinétiques d'extraction sont rapportées dans la bibliographie**[106].**

II .B .2 .1 Modèle 1 : [108].

Le taux spécifique du soluté (g d'extrait/g de charge sans soluté) est exprimé en fonction du temps suivant un comportement semblable à une isotherme d'adsorption de Langmuir

$$\boldsymbol{e} = \frac{\boldsymbol{e_\infty t}}{\boldsymbol{b+t}} \qquad \text{(II-4)}$$

e∞ :c'est le taux spécifique d'extraction à t∞.

b : coefficient qui englobe toutes les caractéristiques de la matière végétale.

e∞/b : la pente initiale de la courbe e=f(t).

II .B .2 .2Modèle 2 : [109,110]

Ce modèle décrit l'extraction d'HE comme étant deux cinétiques diffusionnelle parallèles des deux fractions d'HE contenues dans les cellules cassées et les cellules intactes de la matière végétale.

$$\mathbf{y(t)/y_\infty = (1 - fe^{-k_1 t} - (1 - f)e^{-k_2 t})} \quad \text{(II-5)}$$

f : fraction d'HE dans les cellules cassées.

(1-f) : fraction d'HE contenue dans les cellules intactes.

k : constante cinétique qui incluse la diffusion effective du soluté, elle exprimée en fonction d'une constante du temps t_i caractérisant le temps de diffusion interne.

La différence entre les deux temps de diffusion est attribuée à l'existence des cellules cassées qui libèrent d'HE plus rapidement que celles intactes.

II .B .2 .3 Modèle 3 :

L'HE dans ce modèle est considérée comme étant divisée en deux fractions une partie facilement extractible f ayant une localisation superficielle dans les trichomes glandulaires où dans les cellules cassées dont son extraction obéit à un simple équilibre thermodynamique. Par contre l'HE difficilement extractible située dans les cellules intactes à l'intérieur du solide est dominée par les lois diffusionnelles :

$$\frac{y(t)}{y_\infty} = \frac{f.t}{t+b} + (1 - f)(1 - e^{-kt}) \quad \text{(II-6)}$$

k : constante cinétique qui inclus la diffusivité effective du soluté, elle est exprimée en fonction d'une constante du temps t_i caractérisant le temps de transfert de matière interne.

II .B .2 .4 Modèle 4 : [111]

La vitesse d'extraction de l'ensemble d'HE est régit par la diffusion du soluté de l'intérieur des particules solides vers la surface. Il représente la solution analytique de l'équation intégrée du bilan de matière basée sur la deuxième loi de Fick.

$$\frac{masseextraite\ (t)}{masseextraite à t=\infty} = 1 - exp(-k' t) \qquad \text{(II-7)}$$

m(t) : la masse du soluté qui reste dans le solide après le temps t.

k' : représente le coefficient de transfert de matière globale proportionnel à la diffusivité dans le solide.

L'application des différents modèles servira à l'obtention des prédictions des courbes cumulatives d'extraction et par la suite les déviations par rapport aux résultats expérimentaux pourront être évaluées. La validité des modèles pourra être discutée en examinant l'évolution des paramètres ajustés des modèles choisis avec le mode d'extraction, et la nature du substrat végétal.

Les courbes cumulatives d'extraction par HD et par EVE des feuilles du *Pélargonium graveolens* calculées par les quatre modèles choisis et celles expérimentales sont représentées sur la figure (II-6), (II-7) , (II-8), (II-9) respectivement.

Le tableau (II- 5) rassemble les valeurs des paramètres des modèles donnant une erreur minimale entre la courbe mathématique et celle expérimentale.

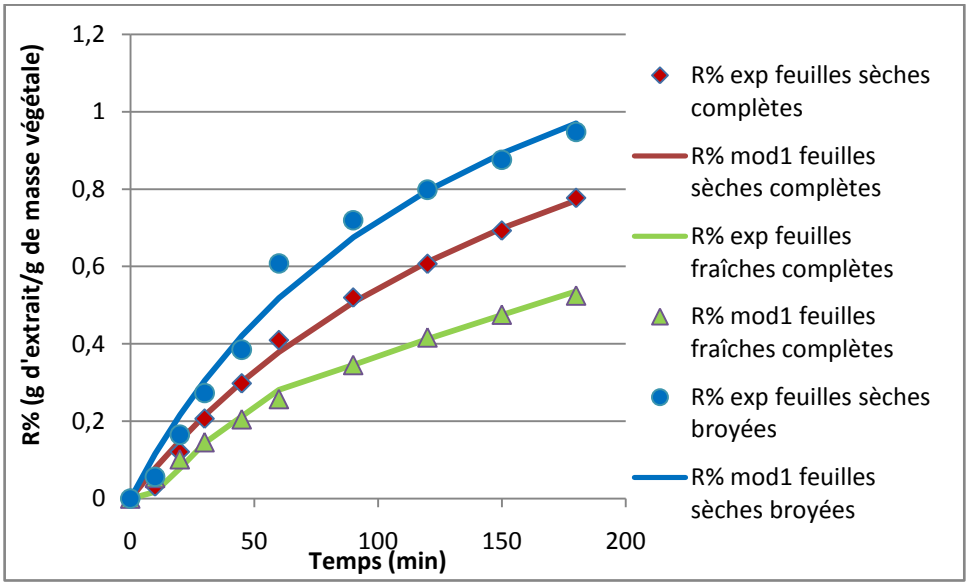


Figure (II -6): Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 1.

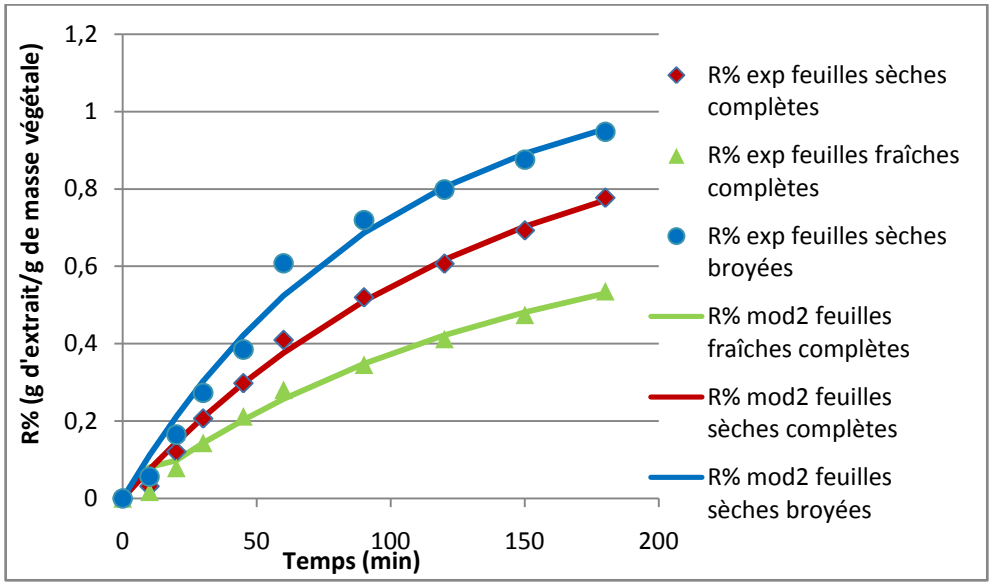


Figure (II -7): Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 2.

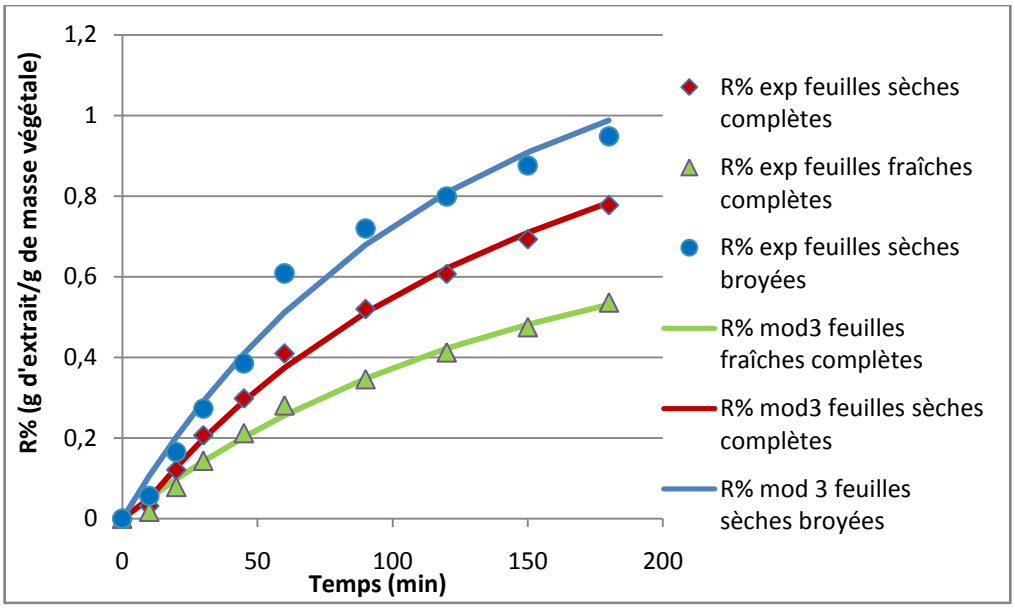


Figure (II -8): Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 3.

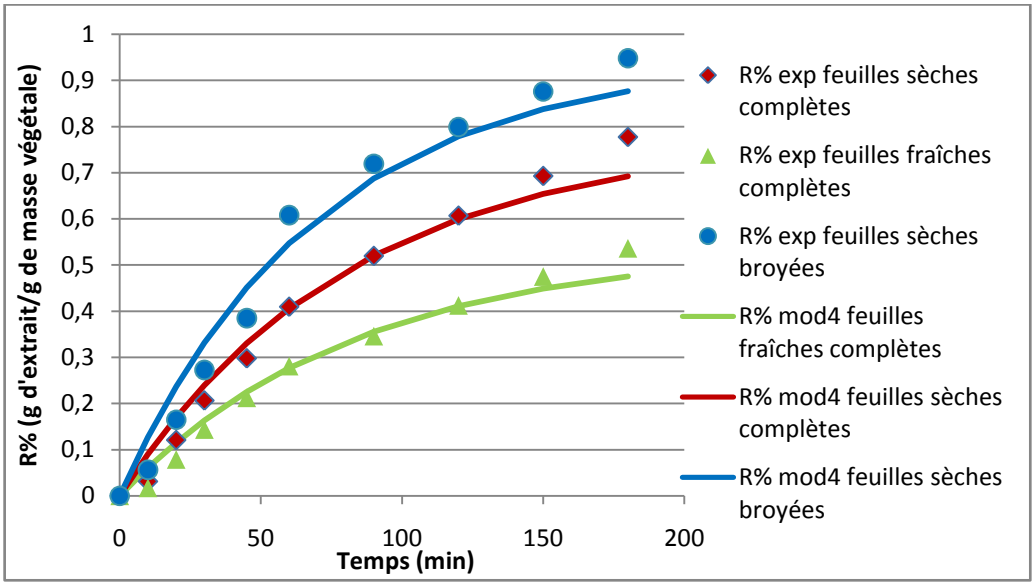


Figure (II -9): Cinétique d'extraction par HD des feuilles du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 4.

Tableau (II-5) : paramètres évalués des quatre modèles appliqués pour HD et EVE du *Pélargonium graveolens.*

Procédés modèles	EVE **Feuilles fraîches complètes**	HD **Feuilles fraîches complètes**	HD **Feuilles sèches complètes**	HD **Feuilles sèches broyées**
Modèle 1	**R%=0.338%** **e∞=0.005292** **b=101.1** **AAD%= 16.53%**	**R%=0.52%** **e∞=0.0111** **b=195.2** **AAD%=25.57%**	**R%=0.776%** **e∞=0.0161** **b=193.3** **AAD%=19.31%**	**R%=0.97%** **e∞=0.01733** **b=138.6** **AAD%=18.31%**
Modèle 2	**R%=0.32%** **k_1=0.01461** **k_2=0.002209** **f=0.4895** **AAD%=10.76%**	**R%=0.59%** **k_1=0.01461** **k_2=0.002209** **f=0.46** **AAD%=10.76%**	**R%=0.77%** **k_1=2.92x 10^{-7}** **k_2=0.007478** **f=0.347** **AAD%=10.49**	**R%=0.96%** **k_1=1.01x10^{-9}** **k_2=0.0104** **f=0.3426** **AAD%=9.80**

Modèle 3	**R%= 0.33%** **b=292.9** **k=0.01431** **f=0.5585** **AAD%=10.76%**	**R%= 0.47%** **b=0.9951** **k=0.01211** **f=2.04x10^{-4}** **AAD%=24.71%**	**R%=0.78%** **b=178.6** **k=0.01079** **f=1.023** **AAD%=8.70%**	**R%=0.99%** **b=388.3** **k=0.01211** **f=2.04x10^{-4}** **AAD%=15.64%**
Modèle 4	**R%=0.30%** **K'=0.01409** **AAD%=13.73%**	**R%=0.47%** **K'=0.01212** **AAD%=34.35%**	**R%=0.692%** **K'=0.01231** **AAD%=27.43%**	**R%=0.88%** **K'=0.01436** **AAD%=23.63%**

D'après les courbes représentées ci-dessus, il est clair que les quatre modèles appliquées permettent une description acceptable des cinétiques d'extraction des feuilles du *Pélargonium graveolens* par les deux procédés HD et EVE. Les plus faibles déviations se manifestent pour les feuilles sèches broyées par application des modèles 1,2,4.

Le modèle 3 décrit mieux l'évolution avec le temps du rendement en HE obtenue par HD des feuilles sèches complètes par rapport aux feuilles sèches broyées pour lesquelles les divergences sont plus prononcées dans les premiers temps [0-50min]. Ce ci peut être expliqué par le fait qu'en outre de la localisation superficielle de l'HE dans cette espèce **[112],** dans cette période la vitesse d'extraction est plus accélérée par le broyage ce qui la limite aux simples équilibres des phases, tandis que le modèle 3 suppose les deux limitations simultanément.

En examinant le tableau (II-5), les valeurs de e_∞ obtenues par le modèle 1 évoluent de la même manière que celles expérimentales, elles présentent des variations indiquant sa dépendance des conditions opératoires. L'évolution du taux spécifique à l'infini estimé par le modèle 1 en fonction de la taille des particules et le taux d'humidité est significatif car il atteint une valeur importante pour les feuilles sèches broyées, cependant expérimentalement on extrait plus d'HE avec des feuilles sèches surtout en les broyant. Ce taux spécifique est plus inférieur dans le cas d'EVE par rapport à l'HD ce qui concorde avec les valeurs trouvées expérimentalement. Ce modèle a l'avantage de sa simplicité et la possibilité de l'interpolation.

Il est capable d'estimer le temps nécessaire pour extraire la totalité de l'huile existante dans la plante. Par conséquent à 180min on est à 60% du rendement final estimé par ce modèle.

Il est clair que les valeurs de k1 et k2 estimés par le modèle2 ne dépendent pas du procédé d'extraction utilisé mais dépendent de la microstructure des particules solides. Les valeurs de k2 caractérisant la diffusion dans les cellules intactes sont très supérieures par rapport à celles décrivant la diffusion dans les cellules cassées k1, ce qui traduit une résistance au transfert de matière interne faible dans ces dernières, par conséquent une cohérence avec les phénomènes physiques réelles. Néanmoins cette cohérence n'existe pas en inspectant la variation avec la taille des particules de k2 qui suit le sens inverse que celle de k1, indiquant ainsi la fragilité du modèle.

Pour l'évolution des valeurs de la fraction d'HE f des cellules cassées dans le modèle 2 et superficielle dans le modèle 3 on peut noter qu'elle n'est pas significative.

D'après l'estimation des coefficients du transfert de matière globale par le modèle 4, on note que son évolution avec la taille est significative car elle augmente avec le broyage, ce dernier diminue les chemins de diffusion et par la suite affaiblit les résistances au transfert de matière du soluté. Sa dépendance avec le mode d'extraction est peut être due à la contribution du transfert de matière autour des particules solide en plus de celui de la diffusion interne dans le coefficient globale de transfert de matière.

A partir des figures (II-10), (II-11), (II-12) (II-13) ; Par rapport à l'HD, la concordance avec les résultats expérimentaux est améliorée pour la prédiction des courbes cumulatives d'extraction des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* par l'EVE avec une meilleure description en appliquant le modèle3.

y∞ qui est la valeur asymptotique du rendement était fixé à 180 min pour la simulation, ce temps là est loin d'être le temps réel pour arriver à la masse totale contenue dans les feuilles du *Pélargonium graveolens*, cependant il peut être une source d'erreur qui fait amplifier les déviations entre les valeurs calculées et celles expérimentales.

Tous ces résultats nous poussent à considérer ces quatre modèles comme un moyen de corrélation des rendements en HE du *Pélargonium graveolens* avec le temps, mais pas comme des modèles valides surtout qu'ils considèrent des lois diffusionnelles qui ne peuvent plus coïncider avec la réalité de la localisation superficielle d'huile essentielle dans cet espèce de plante prouvée antérieurement par plusieurs travaux **[112,53].**

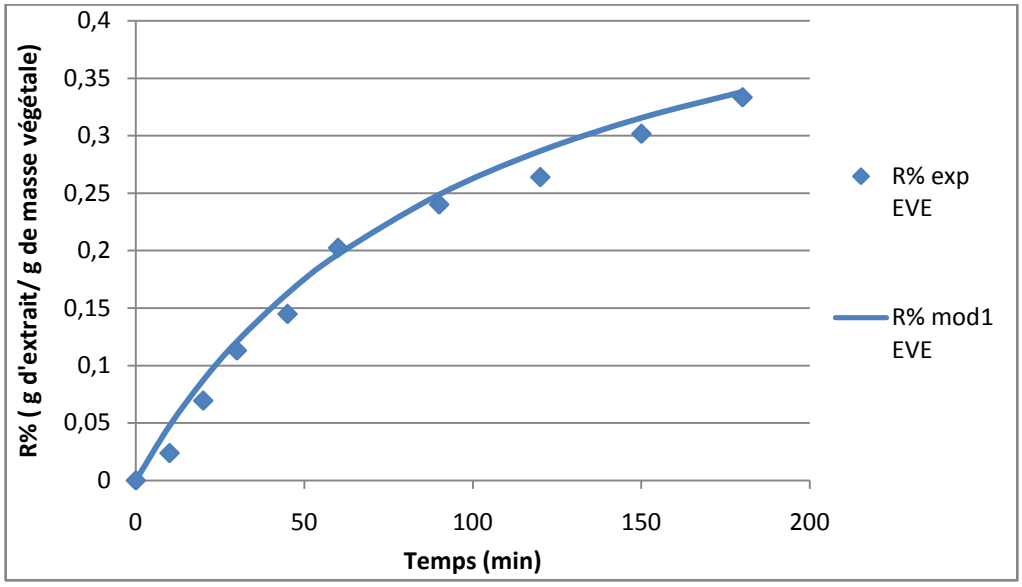


Figure (II -10): Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 1.

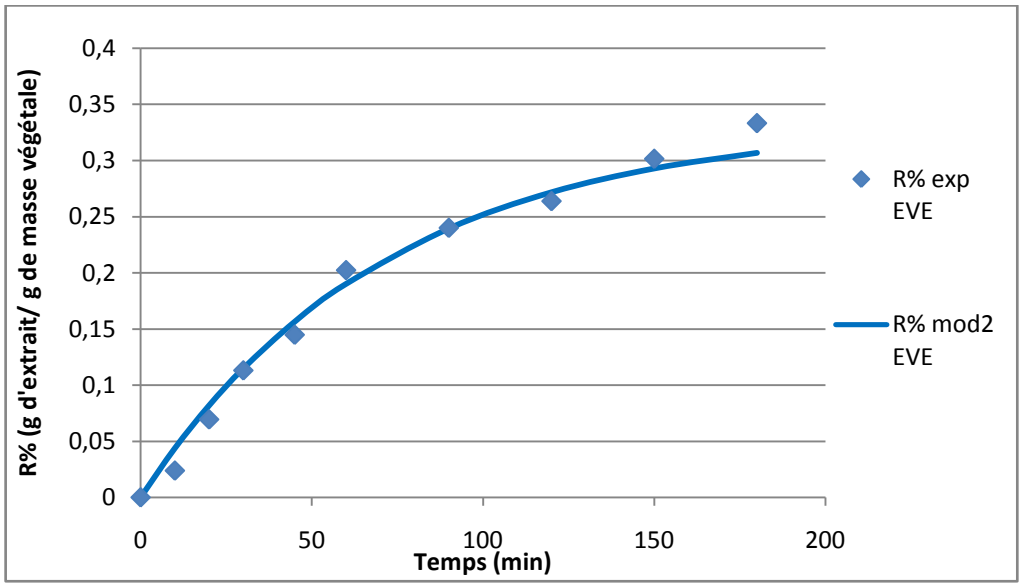


Figure (II -11): Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 2.

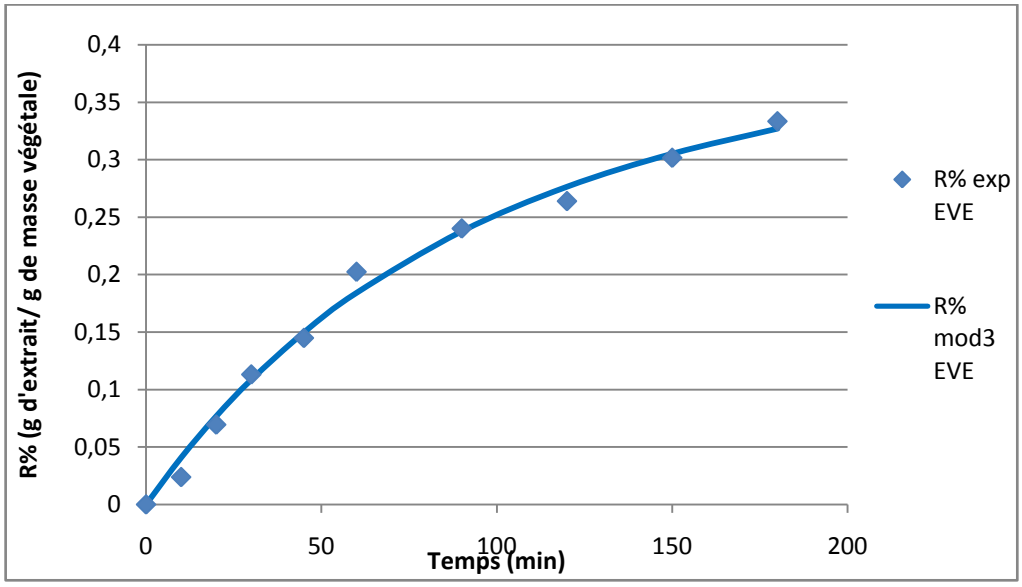


Figure (II -12): Cinétique d'extraction par EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 3.

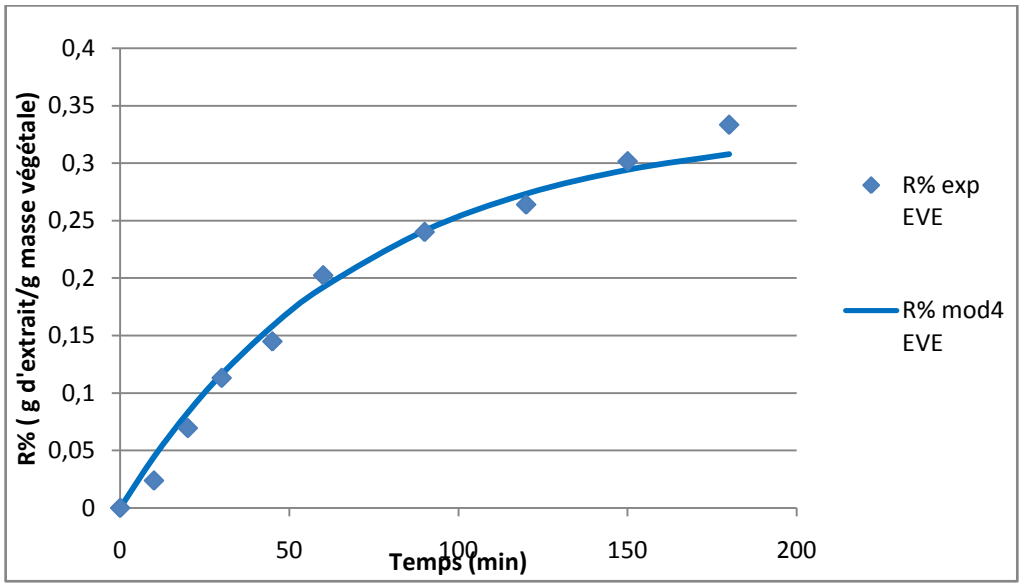


Figure (II -13): Cinétique d'extraction EVE des feuilles fraîches du *Pélargonium graveolens* expérimentales et simulées par l'application du modèle 4.

Nous avons tenté de prédire les cinétiques d'extraction par EVE et par HD en appliquant les quatre modèles choisis sur l'Inule visqueuse qui appartient à la famille des Astéracées différente que celle du *Pélargonium graveolens*; puis représenter Les courbes cumulatives d'extraction par HD et par EVE estimées par les quatre modèles choisis et celles expérimentales sur la figure (II-14), (II-15) , (II-16), (II-17) respectivement.

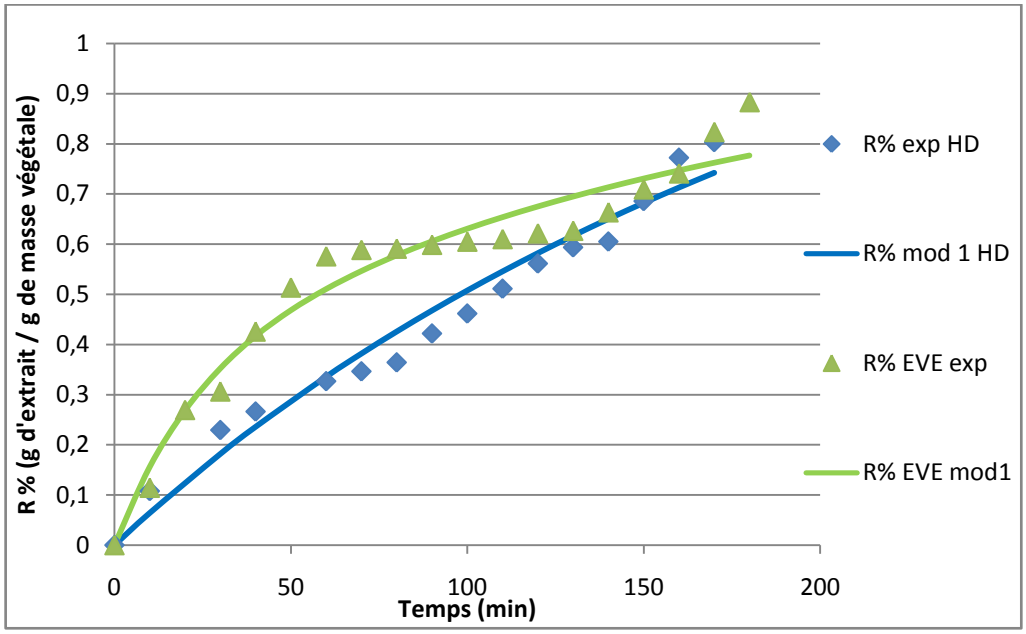


Figure (II-14): Cinétiques d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 1.

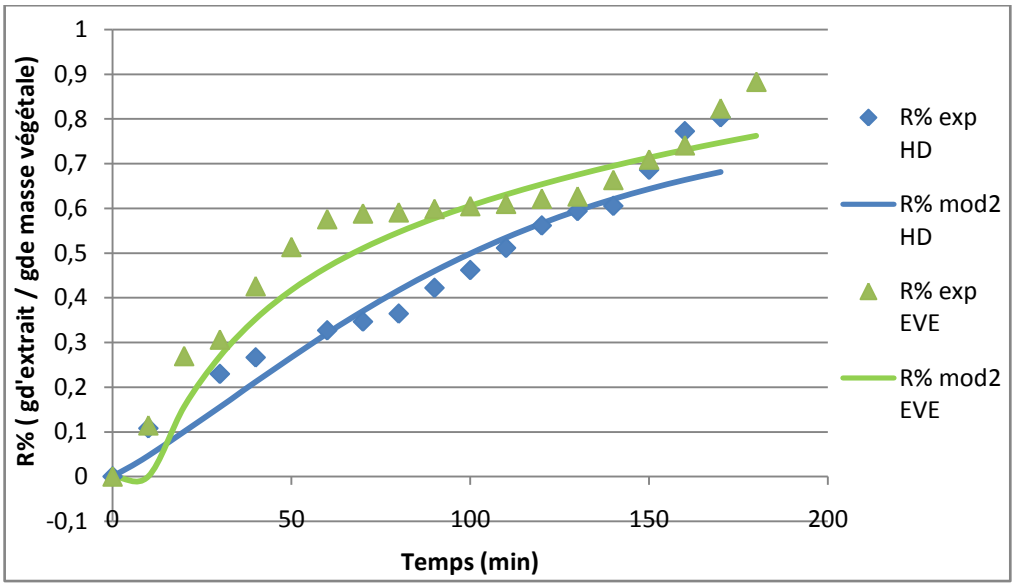


Figure (II -15): Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 2.

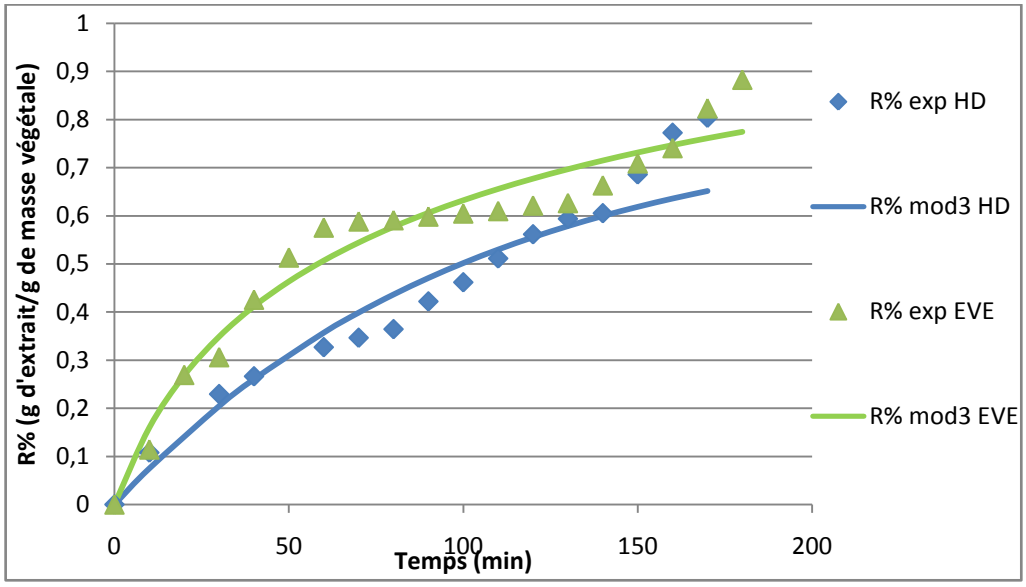


Figure (II -16): Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 3.

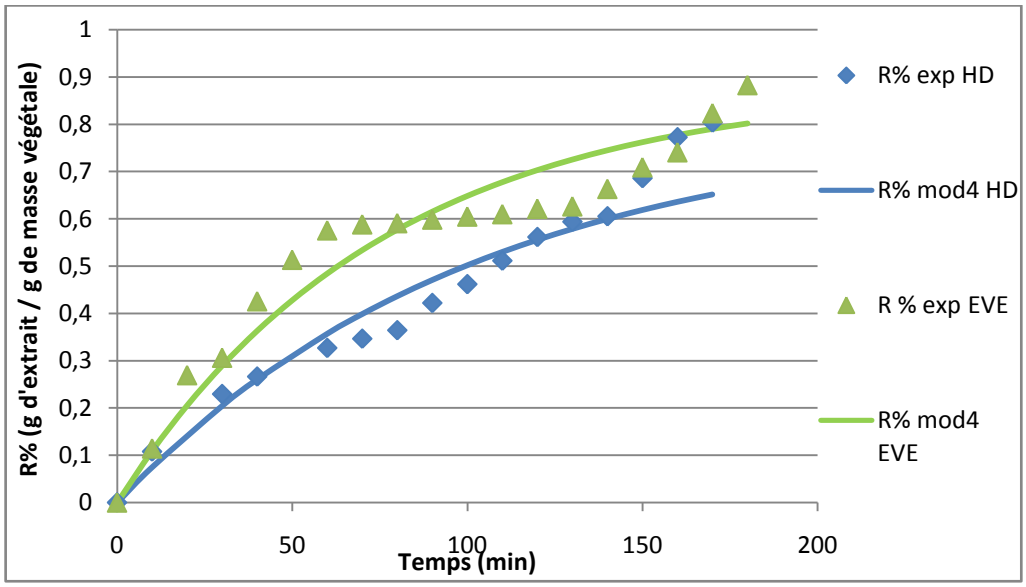


Figure (II-17): Cinétique d'extraction par HD des feuilles sèches complètes de l'Inule visqueuse expérimentales et simulées par l'application du modèle 4.

Il est facile à noter que l'ensemble des allures des courbes cumulatives simulées sont loin d'être proche de celles issues expérimentalement. Les cinétiques d'extraction par EVE et par HD révèlent l'existence de deux pseudo-paliers, tandis qu'un seul palier peut figurer par la simulation. En revanche les équations mathématiques utilisées sous-estiment le rendement total de l'extraction de l'inule visqueuse par HD et par EVE. Le rendement expérimental de l'extraction des feuilles de l'Inule visqueuse était de 0.882% par EVE et 0.8035% par HD.

Le tableau (II-6) rassemble les valeurs des paramètres des modèles pour l'Inule visqueuse donnant une erreur minimale entre la courbe mathématique et celle expérimentale. La lecture des paramètres estimés par les quatre modèles ; récapitulés dans le tableau (II-5); ne peut nulle part donner une explication significative des phénomènes mis en jeu lors de l'extraction par HD ou par EVE des feuilles de l'Inule visqueuse. Ces modèles ne peuvent en aucun cas décrire avec fiabilité les vitesses d'extraction des deux procédés cités ci-dessus de cette plante.

Tableau (II-6) : Paramètres évalués des quatre modèles appliqués pour HD et EVE de l'Inule visqueuse.

Procédés modèles	EVE Feuilles sèches complètes	HD Feuilles sèches complètes
Modèle 1	R%=0.77% e_∞=0.01028, b=59.34 AAD%= 7.7%	R%=0.74% e_∞=0.022058 ; b=331.1 AAD%=10.04%
Modèle 2	R%=0.78% k_1=0.04301 k_2=0.005745 , f=0.3305 AAD%=7.49%	R%=1.76% k_1=1.994 k_2=0.002209 ; f=0.76x10^{-9} AAD%=12.09%
Modèle 3	R%= 0.77% b=35.05 k=0.005675 ; f=0.6096 AAD%=8.10%	R%= 0.75% b=5.75x10-9 k=0.00239, f=0.01754 AAD%=10.15%
Modèle 4	R%=0.80% $K^{'}$=0.01326 AAD%=9.46%	R%=0.65% $K^{'}$=0.009794 AAD%=10.15%

En conclusion on peut dire que la nature et la localisation des sites sécréteurs d'HE totalement différents du *Pélargonium graveolens* et de l'Inule visqueuse manifestent un impact sur la divergence de la fiabilité des modèles choisis, ces derniers alors possèdent un déficit clair pour les généraliser sur tous type de plante.

II .C Evaluation de l'activité antibactérienne :

La recherche de l'activité antibactérienne consiste à estimer l'inhibition de la croissance des micro-organismes soumis aux HE de *Pélargonium graveolens* et à l'hydrolat de *Rubus* . Pour cela, une méthodes qualitatives dite aromatogramme a été utilisée.

II .C .1 Aromatogramme :

L'aromatogramme est une méthode de mesure in vitro du pouvoir antibactérien des huiles essentielles. Cet examen est donc l'équivalent d'un antibiogramme ou les antibiotiques sont remplaces par des huiles essentielles ou des extraits aromatiques **[113].**

II .C.2 Intérêt d'aromatogramme :

Lorsque les antibiotiques classiques n'agissent plus ou que la sensibilité de la personne aux infections devient chronique ou tout simplement par choix, on peut avoir recours à l'aromatogramme. L'aromatogramme permet un choix judicieux, en adaptant la prescription d'essences à chaque syndrome infectieux. Il permet une aromathérapie véritablement sur mesure et appropriée à chaque cas particulier **[114].**

II .C.3 Technique d'aromatogramme :

L'aromatogramme est basée sur la technique d'antibiogramme ou méthode par diffusion en milieu gélosé ou encore méthode des disques. Cette méthode a l'avantage d'être d'une grande souplesse dans le choix des antibiotiques testés, de s'appliquer à un très grand nombre d'espèces bactériennes, et d'avoir été largement évaluée par 50 ans d'utilisation mondiale .

La technique consiste à utiliser les disques de papier imprégnés des différents produits à tester (huile essentielle ou extrait aromatique). Les disques sont déposés à la surface d'une gélose uniformément ensemencée avec une suspension de la bactérie à étudier (Figure II-18). Chaque huile diffuse à partir du disque au sein de la gélose et y détermine un gradient de concentration. Les bactéries croissent sur toute la surface de la gélose sauf là où elles rencontrent une concentration d'antibiotique suffisante pour inhiber leur croissance. On

observe ainsi autour des disques une zone circulaire indemne de colonies, appelée zone d'inhibition. Plus le diamètre de cette zone est grand, plus la souche est sensible à l'huile essentielle. Plus il est petit, plus la bactérie est résistante **[115].**

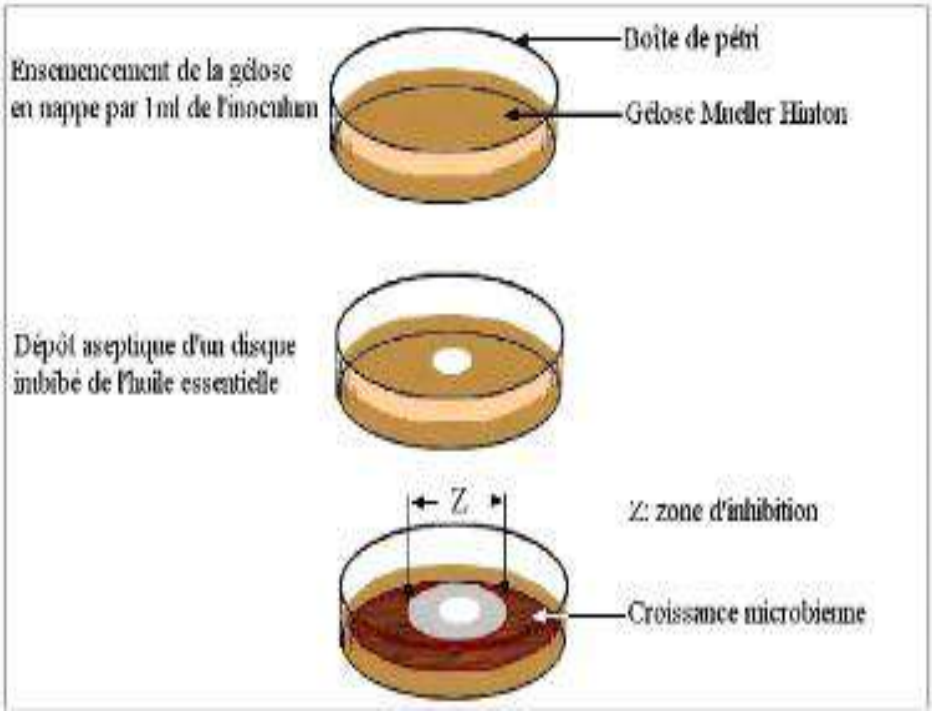


Figure (II -18): Illustration de la méthode des aromatogrammes sur boîte de Pétri **[116].**

Les résultats sont exprimés selon trois niveaux d'activité :

- ✓ D=0, l'activité inhibitrice est considérée nulle (-),
- ✓ résistant (D□ 6mm) ou l'activitéinhibitrice est considérée non probable (m).
- ✓ intermédiaire (6mm□ D□ 13mm) ou l'activité inhibitrice est très légère (+) quand 7mm□ D□ 10mm et peut être légère et probable (++) quand. 10mm□ D□ 13mm.
- ✓ sensible (D□ 13mm) dans ce cas l'activité est significative quand D□ 16 mm (+++).

II .C.4 Mode opératoire :

Cette étude bactériologique a été réalisée au sein du laboratoire d'analyses médicales de l'hôpital Mohamed Boudiaf de Médéa .

Dans cette expérience, nous utilisons des disques de 9 mm de diamètre imprégnés d'une certaine quantité d'HE de *Pélargonium graveolens* et de l'hydrolat de *Rubus*. Le disque sera

déposé au centre d'une boite Pétri contenant un milieu gélosé préalablement ensemencé par une souche microbienne (*Staphylococcus aureus*, *Serratia sp*, *Kleibseila pneumonia*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aerogenosa*).

II .C.4.1 Préparation des extraits :

Dans notre étude, nous avons testé l'activité antimicrobienne de l'HE en imprégnant le disque par 3 doses décroissantes de l'HE de *Pélargonium graveolens* séparément tel que la 1ère dose d'huile brute , la 2ème (2µl d'HE dilué dans 5 ml d'éthanol 96%) et la 3ème (2µl d'HE dilué dans 10 ml d'éthanol 96%) et ce pour apprécier l'action "dose-dépendante" de l'HE sur la croissance des germes.

Pour l'extrait de *Rubus* nous avons effectuées une macération aqueuse dont on a pris 20 grammes des feuilles de *Rubus* broyés , puis on l'a mis dans 150ml d'eau distillée à 20 C° dans différents intervalles de temps (120 min et 240min), puis nous avons filtrés a l'aide d'un papier filtre. Le volume obtenu a été dilué dans l'eau distillée 2.5mg/ml ,5mg/ml, 10mg/ml ces concentrations sont utilisés pour le test de l'effet antibactérien .

II .C.4.2 Préparation de l'inoculum :

- A partir d'une culture pure et jeune de germes à tester sur milieu d'isolement, on racle à l'aide d'une anse de platine, 2 à 3 colonies bien isolées et parfaitement identiques.

- On décharger la pipette pasteur dans 10 ml d'eau physiologique stérile à 0.9 %.

- On Agite la suspension microbienne pour bien homogénéiser.

II .C.4.3 Ensemencement :

-Les milieux de cultures utilisés sont : Muller-Hinton (MH) et GN.

-Dans des boîtes de Pétri, le milieu de culture gélosé en surfusion a été coulé aseptiquement à raison de 15ml par boite

- Apres la solidification, un écouvillon stérile a été trempé dans la suspension microbienne.

- On l'essore en le pressant fermement, en tournant sur la paroi interne du tube, afin de le décharger au maximum.

-On frotte l'écouvillon sur la totalité de la surface gélosée, sèche, de haut en bas, en stries serrées. L'opération est répété quatre fois, en tournant la boîte de Pétri de 45°à chaque fois, sans oublier de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même. Finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose.

-Les disques stériles imprégnés de différentes dilutions d'extraits ont été déposés à l'aide d'une pince sur la surface de la gélose.

II .C.4.4 Incubation et lecture :

L'incubation est faite dans une étuve à 37°C pendant 48 h. L'absence de la croissance bactérienne se traduit par un halo translucide autour du disque dont le diamètre est mesuré et exprimé en millimètre.

Des témoins (disques imprégnés d'eau distillée stérile et d'éthanol 96%) ont été réalisés selon la même procédure décrite auparavant.

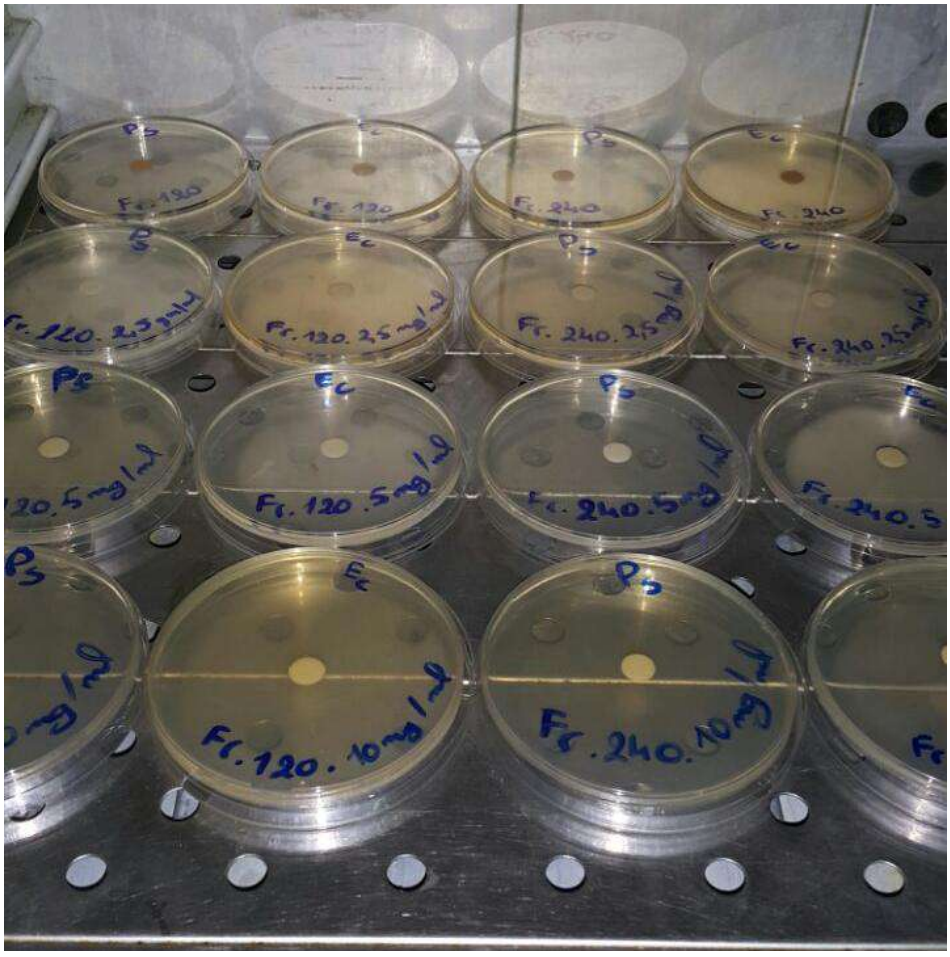


Figure (II -19): Incubation dans l'étuve.

II .C.4.5 Résultats :

Les résultats obtenus des diamètres des zones d'inhibition sont présentés dans le tableau et les figures ci-après : (diamètre d'inhibition de l'éthanol = 13mm dans *Pseudomonas* et 12mm dans Ec ;le diamètre d' inhibition de l'eau = 0)

Tableau (II-7) : Résultats des diamètres des zones d'inhibition des HE de PG.

Echantillons **Souches bactériennes**	**Diamètres des zones d'inhibitions (mm) pour PG**		
	brute	2 µl /5ml	2 µl /10ml
Escherichia coli ATCC (Gram-) (dansMH)	26(+++)	21(+++)	18(+++)
Pseudomonas aerogenosa ATCC (Gram-)(dansMH)	17(+++)	12(++)	11(++)
Serratia sp ATCC (Gram+) (dansMH)	24(+++)	/	/
Staphylococcus aureus ATCC (Gram+) (dansGN)	20(+++)	/	/
Kleibseila pneumonia ATCC (Gram-) (dansGN)	0(-)	/	/

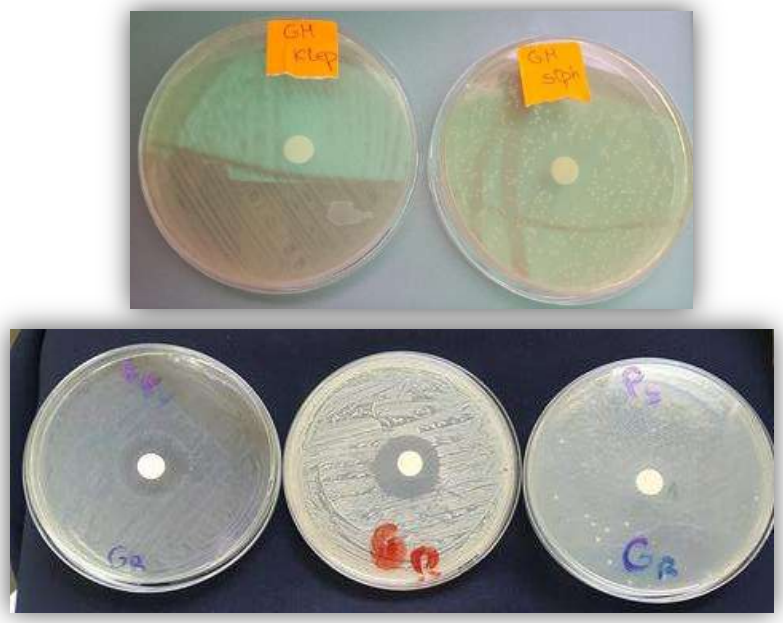


Figure (II -20): Aromatogramme d'huile essentielle par EVE de PG brute.

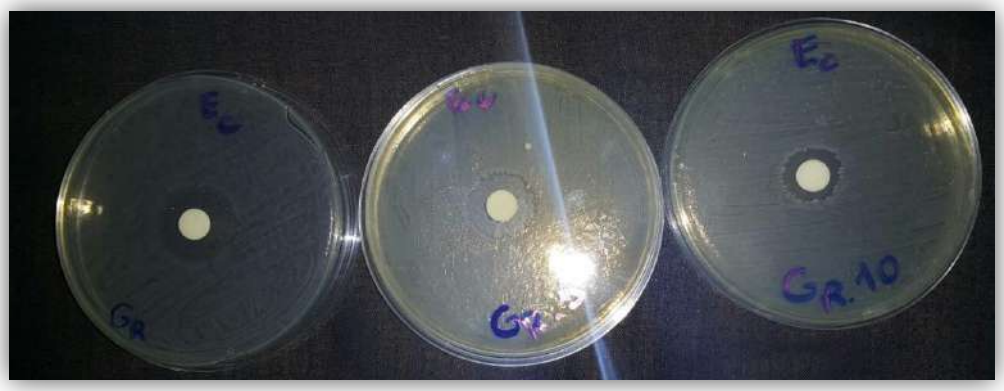


Figure (II -21): Aromatogramme d'huile essentielle par EVE de PG à différentes concentration dans *Escherichia coli*.



Figure (II -22): Aromatogramme d'huile essentielle par EVE de PG à différentes concentration dans *Pseudomonas aerogenosa*.



Figure (II -23): Aromatogramme de l'éthanol.

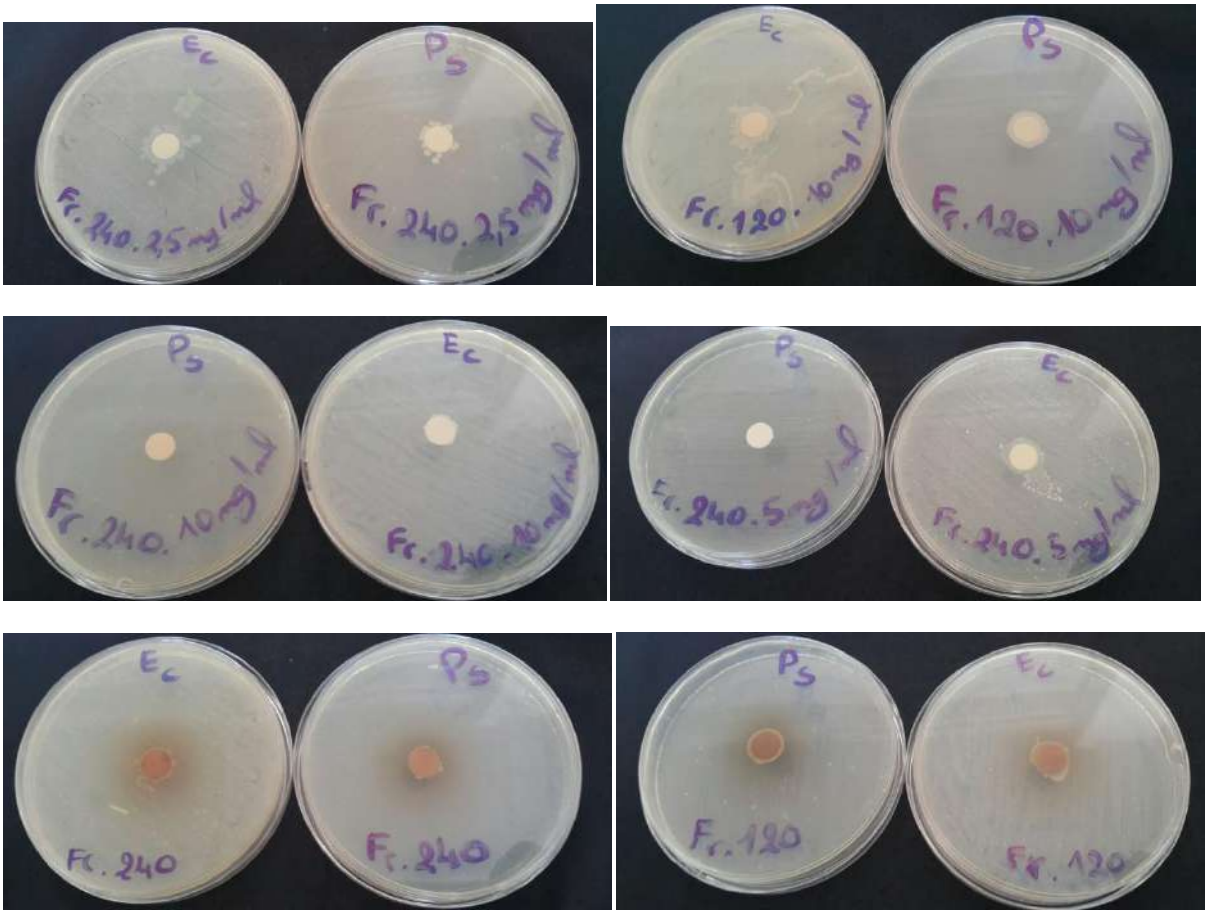


Figure (II -24): Aromatogramme des extraits diluées de *Rubus fructicosus*.

II .C.4.6 Discussion

D'après les résultats illustrés précédemment, l'extrait du *Pélargonium graveolens* a une activité inhibitrice des bactéries *Escherichia coli, Pseudomonas aerogenosa, Serratia sp, Staphylococcus aureus.* Toutes ces bactéries sont très sensibles aux agents bioactifs contenus dans l'HE du *Pélargonium graveolens* obtenu par EVE. L'activité inhibitrice de l'HE du *Pélargonium graveolens* contre *Escherichia coli* reste toujours significative même si elle est diluée. Tandis que la dilution de cette huile fait que l'activité inhibitrice devient légère et probable contre *Pseudomonas aerogenosa* et nulle contre *Serratia sp, Staphylococcus aureus.* Cette huile ne possède aucune activité inhibitrice de la bactérie *Kleibseila pneumonia.*

L'extrait des feuilles du *Rubus fructicosus* obtenu par macération aqueuse ne peut pas inhiber aucune des bactéries citées ci-dessus, il se peut qu'il ne contienne pas d'agents bioactifs inhibiteur ou bien la macération à 240min n'est pas suffisante pour extraire la substance huileuse du *Rubus fructicosus.*

On peut conclure que l'HE du *Pélargonium graveolens* est un antibiotique naturel très intéressant qu'on pourra se servir pour substituer l'utilisation des antibiotique synthétiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude consistait en une valorisation de trois espèces de matières végétales algériennes le *Pélargonium graveolens* , l'Inule visqueuse et le *Rubus fruticosus*; en effet sous cet aspect la réalisation de ce travail résidait en plusieurs intérêts :

•Une étude comparative portant tant sur le rendement des extraits obtenus par deux techniques extractives conventionnelles l'EVE et l'HD.

•Une étude des cinétiques de l'extraction de l'Inule visqueuse et du *Pélargonium graveolens* .

•Une représentation du processus de l'extraction par EVE et HD par quatre modèles mathématiques pour estimer une description du comportement cinétique des extractions et qui pourrait aider à une extrapolation à grande échelle.

•Dévoiler le potentiel antibactérien des huiles essentielles du *Pélargonium graveolens* et l'extrait aqueux du *Rubus*.

De notre recherche bibliographique on soulève l'importance des trois espèces choisies dans cette étude sur le plan médicinale de par leurs propriétés antimicrobienne, anti-inflammatoire, etc. Cette partie nous a permis également de discerner la variabilité de la qualité chimique des huiles essentielles issues de ces plantes avec les conditions climatiques et environnementales, le mode d'extraction.

A cet égard l'examen de nos résultats expérimentaux s'est avérée concluant au regard des comparaisons faites sur l'aspect quantitatif obtenus. Les feuilles de l'Inule visqueuse et du *Pélargonium graveolens* de la région de Médéa d'une nature du climat et d'altitude favorable pouvant engendrer une richesse en huiles essentielles. , l'extraction par EVE entreprise avec le *Pélargonium graveolens* de la région de Médéa a donné un rendement de 0.33% tandis que celle provenant de Chiffa peut fournir 0.15%. L'extraction par HD entreprise avec l'Inule visqueuse de la région de Médéa a donné un rendement de 0.834% tandis que celle provenant d'Alger peut fournir 0.16%-0.44%. Ces dernières s'accumulent pendant la période de croissance principale pendant l'été pour atteindre le maximum.

L'analyse des cinétiques d'extraction des deux espèces appartenant à deux familles différentes et ayant une divergence dans la nature et la localisation des sites sécréteurs des huiles essentielles a révélé des comportements extrêmement différents, la cause pour laquelle la validité des modèles choisis est distincte.

La distribution non uniforme des huiles essentielles dans les particules solides de la matière végétale et la microstructure de ces particules ainsi qu'une estimation précise du rendement final et la prise en compte de la composition des huiles essentielles peut servir comme une clé pour s'approcher d'une partie de la réalité des phénomènes mis en jeu lors de l'extraction.

L'extrait aqueux de la macération aqueuse des feuilles du *Rubus fruticosus* est inactif vis-à-vis les bactéries *Staphylococcus aureus, Kleibseila pneumonia, Escherichia coli, Pseudomonas et Serratia sp.*

Le *Pélargonium graveolens* provenant de Médéa révèle un pouvoir antibactérien très intéressant contre bactéries *Staphylococcus aureus, Serratia sp, Escherichia coli et Pseudomonas aerogenosa*. Cette efficacité présente une alternative prometteuse par rapport aux antibiotiques synthétiques peu biodégradables.

Ce travail pourrait être poursuivi sur un certain nombre de pistes d'investigations qui méritent d'être étudiées :

- Etendre le nombre d'espèces étudiées par famille de plantes pour pouvoir généraliser nos constatations.

- Modéliser les cinétiques d'extraction par des modèles mathématiques qui prennent en considération la microstructure des particules solides et les solubilités distinctes des composés extraits, l'équilibre multiconstituants.

- La valorisation des extraits obtenus par des tests sur d'autres activités pharmacologiques en vue de passer à l'utilisation pratique de ces extraits.

Références :

[1] World Flavours & Fragrances, Freedonia Group,(2001) Inc. Cleveland, Ohio.

[2] Brunetton J. (1999) « Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales ». Editions Tec & Doc, éditions médicales internationales, pp: 483-560 Paris.

[3] Benbouali M.(2006),valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de : « *mentha rotundifolia & thymus vulgaris* ». Thèse de magister en Génie des procédés, Université Hassiba Ben Bouali. Chlef.

[4] Hmamouchi M.(2001),les plantes médicinales et aromatiques Marocaines.2ème ed.

[5] Fauron.R- Moati.R- Doadieu.Y (1983) Guide pratique de phytothérapie.
Ed. Maloine. pp 811.

[6]Fournier.P. (1947) Livre des plantes médicinales et vénéneuses de France. Ed. Lechevalier. Tome 1 pp 176-178.

[7] Pelser, P.B., A.H. Kennedy, E.J. Tepe, J.B. Shidler, B. Nordenstam, J.W. Kadereit & L.E. Watson (2010). Patterns and causes of incongruence between plastid and nuclear Senecioneae (Asteraceae) phylogenies. American Journal of Botany 97: 856-873.

[8] Yu, S., Nai-Shen, B., Bing-Nan, Z. (1996). Kaurane glycosides from Inula Brittanica. Phytochemistry. 42 :783-786.

[9] Quezel P, Santa S. (1963) ,Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.Editions du Centre National de la recherche scientifique .Tome II. Paris.

[10] Benayache, S., Benayache, F., Dendougui, H., & Jay, M. (1991). Les flavonoïdes *d'Inula viscosa L.* Plantes médicinales et phytothérapie.25 (4) : 170-176.

[11] Nikolakaki, A., Christodoulakis, N.S. (2004). Leaf structure and cytochemical investigation of secretory tissues in *Inula viscosa*. Botanical Journal of the Linnean society. 144 (4): 437-448.

[12] Stavrianakou, S., Liakopoulos, G., Karabourniotis, G.(2006). Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa (Asteraceae)*. Environmental and Experimental Botany. 56 : 293–300.

[13] Abraham Fahn. (1988). Secretory tissues in vascular plants. New Phytol journal. 108: 229-257.

[14] Blanc, M.C., Bradessi, P., Gonçalves, M.J., Salguiero, L., Casanova, J. (2006). Essential oil of *Dittrichia Viscosa* ssp.*viscosa*: analysis by ^{13}C-NMR and antimicrobial activity. Flavor Fragra. J. 21: 324-332.

[15] Mc Hugh, M.A. Krukonis V.J. (1994). Supercritical fluids extraction : Principales and practice, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Boston.

[16] Omezzine, F., Rinez, A., A. Ladhari, M. Farooq & R. Haouala (2011). Allelopathic potential of Inula viscosa against crops and weeds. International Journal of Agriculture and Biology. 13: 841–849.

[17] Miguel, G., Faleiro, L., Cavaleiro, C., Salgueiro, L., & Casanova, J. (2008). Susceptibility of Helicobacter pylori to essential oil of Dittrichia viscosa subsp. revoluta. Phytotherapy Research, 22(2), 259-263.

[18] Cohen, Y., Wang, W., Ben-Daniel, B. H., & Ben-Daniel, Y. (2006).Extracts of *Inula viscosa* control downy mildew of grapes caused by Plasmopara viticola. phytopathology. 96(4): 417-424.

[19]Cafarchia.C, Delaurentis.N, Millilio.M.A, Losacco V, Puccini.V. (2001). Fungistatic activity of a sesquiterpene lactone (Tomentosin) isolated from fresh *Inula viscosa (Asteraceae)* flowers from the pulgia region. Parasitologia. 43(3): 117-121

[20] Karamenderes, C., Zeybek, U. (2000). Composition of the Essential Oils of *Inula viscosa, I.* graveolens and I. helenium subsp. turcoracemosa. Journal of Faculty of Pharmacy of Istanbul University. 33: 1-5.

[21]Gianfranco, F., Salvatore, L.R., Salvatore, P., Maria P.P. (2007). Sesquiterpene compounds from *Inula viscosa.* Natural Product Research. 21: 824- 827

[22]Danino, O., Gottlieb, H. E., Grossman, S., Bergman, M. (2009). Antioxidant activity of 1,3-dicaffeoylquinic acid isolated from *Inula viscosa*. Food research international. 42(9): 1273-1280.

[23]Seca, A., Grigore, A., Pinto, D., silva, A.(2014). The genus *Inula* and their metabolites; from ethnopharmacological to medecinal uses. Journal of ethnopharmacology.154: 286-310.

[24]Rozenblat,S.,Grossman,S.,Bergman,M.,Gottlieb,H.,Cohen,Y.,Dovrat,S. (2008). Induction of G(2)/M arrestand apoptosis by sesquiterpene lactones in human melanoma cell lines. Biochemical Pharmacology.75:369–382.

[25] Al-Qudah, M.A., Al-Jaber, H.I., Mayyas, A.S, Abu-Orabi, S.T., Abuzarga, M.H. (2010). Chemical compositions of essential oil from the Jordanian Medicinal plant *Dittrichia Viscosa.* Jordan Journal of Chemistry. 5: 343-348.

[26] Grande, M., Torres, P., Piera, F., & Bellido, I. S. (1992). Triterpenoids from *Dittrichia viscosa.* Phytochemistry. 31(5):1826-1828.

[27]Cum, G ;Spadaro, A ; Gallo,R . (2001*). Inula Viscosa (L.*) Aiton. Parte I: Un secolo di ricerche chimiche. Essenze e derivati agrumari.71(3):151-169.

[28] Grande M., Piera F., Cuenca A., Torres P. & Bellido S. (1985). Flavonoids from *Inula viscos*a. Planta Medica.5 : 414-419.

[29]Zhang, W.Y., Lee,J.-J., Kim,I.S., Kim,Y., Park,J.S., Myung,C.-S. (2010).7-O-Methylaromadendrin stimulates glucose uptake and improves insulin resistance in vitro. Biological & Pharmaceutical Bulletin. 33: 1494–1499.

[30]Talib,W.H., Zarga,M.H.A., Mahasneh, A.M. (2012). Antiproliferative, antimicrobial and apoptosis inducing effect of compounds isolated from *Inula viscosa*. Molecules journal.17: 3291–3303.

[31]Fournier, P. (1947-1948). Plantes Médicinales et Vénéneuses de France. 3 vols. Ed Paul Lechevalier. Paris.

[32] Ulubelen, A., Öksüz, S., Gören, N. (1987). Sesquiterpene acids from *Inula viscosa* . Phytochemistry journal. 26: 1223–1224.

[33] Chiarlo, B. (1968). Sui costituenti dell'*inula viscosa* Ait. Contenuto in azuleni dell'olio essenziale. Boll. Chim. Farm. 107(6): 370-382.

[34] Perez-Alonso, M.J., Velasco-Neguereula, A., Emin Duru, M., Harmandar, M., Garcia Vallejo, M.C. (1996). Composition of the Volatile Oil from the Aerial Parts of *Inula viscosa* (*L*.) Aiton. Flavor Fragra. J. 11: 349-351.

[35] Camacho, A., Fernandez, A., Fernandez, C., Altarejos, J. (2000).Compositions of essential oil of *Dittrichia Viscosa*. Eppos. 29 : 3-8.

[36] Cafarchia.C, Delaurentis.N, Millilio.M.A, Losacco V, Puccini.V. (2002). Antifungal activity of essential oils from the leaves and flowers of *Inula viscosa* (Asteraceae) by Apulian region. Parasitologia.J.44:153-156

[37] Bellakhdar J., (1997). La pharmacopée marocaine traditionnelle .Médecine arabe ancienne et savoirs populaires.Ed Ibis press.

[38] Barbetti.P,Chiappini.I, Fardella.G etMenghini.A, (1985),A new eudesmane acid from *Inulaviscosa*,PlantaMedicaPP: 51- 471

[39]Lauro.L et Rolih.C(1990), Observations and research on an extract of *Inula viscosa* ,*BollettinoSocietaItaliana Biological Sperimentable,66*. PP: 829-834

[40] Hermandez V., Recio M.C.,Manez S., Giner R.M., Rios JL.(2007).Effects of naturally occuring dihydroflavonols from *Inula viscova* on inflammation and enzynes involved in the arachidonic acid metabolism Life Sci 81,480-488.

[41] Moaz M., Neeman L,(1998) Antimicrobial effects of aqueous plant axtracts on the fungi Microsporum canis and Trichophyton rubrum and on three bacterial species. Lett Appl Microbiol 26,61-63.

[42] Bardeau F. (2009). Les huiles essentielles. Ed. Lanore. Paris. 333p.

[43]Demarne FE.(1985). « Le géranium rosat ». Parfums, Cosmétiques et Arômes, n°62

[44] Demarne FE. (1989). « l'amélioration variétale de Géranium rosat : contribution systémique, caryologique et biochimique, ORSAY (France) ; université de Paris-sud, 250; p180.

[45] Seidemann J. (2005). « World spice plants: economic, usage, botany, taxonomy ». Springer, London, pp: 275-277.

[46] Demarne F., Guerere M., Duriiion M.(1986). la selection des *Pelargonium* a parfum(IRAT-Reunion, 97487 Saint-Denis Cedex, France) AGRON. TROP., vol. 39, no. 4.

[47] Lis-Balchin M.(2002)a. Géranium and *pelargonium*: the genera Geranium and *Pelargonium*. CRC Press. Taylor & Francis. London.318p.

[48] Lis-Balchin M. (2002)b. Essential oils from different *Pelargonium* species and cultivars: their chemical composition (using GC, GC/MS) and appearance of trichomes (under EM). In: Lis-Balchin, M. (Ed). Geranium and *Pelargonium*. Taylor and Francis. London.318p.

[49] Gustave H. 1800. Les plantes industrielles. Haruard university, paris, pp:382-384.

[50] Sperenza A, calzoni GL. (2005). Atlas de la structure des plantes : Guide de l'anatomie microscopique des plantes vasculaires en 285 photos". Edition Belin,Paris (France), pp: 57-62.

[51] Lis-balchin M. (2005). « Aromatherapy science: A guide for healthcare professionals ». Pharmaceutical Press, London, pp : 195-201

[52] Afnor. (2000). Recueil de normes : les huiles essentielles. Tome 2. Monographies relatives aux huiles essentielles. AFNOR, Paris, 661-663.

[53] Atailia I., Djahoudi A. (2015) Composition chimique et activité antibactérienne de l'huile essentielle de géranium rosat (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) cultivé en Algérie © Lavoisier SAS . Article in Phytotherapie .

[54] Rodolfo J., koroch A., simon J., hitimana N. (2006). Quality of geranium oils: case studies in southern and eastern Africa. Journal of essential oil research (JEOR), 12p.

[55] Juliani HR, Koroch A, Simon JE, et al. (2006) Quality of Geranium oils (*Pelargonium* Species): Case Studies in Southern and Eastern Africa. J Essent Oil Res 18:116–21 .

[56] Zhiri.A, huiles essentielles chémotypées et leurs synergies,pdfEdition Inspir Development Luxembourg,ISBN : 2-919905-27-9.

[57] Couplan F, (2012), Les plantes et leurs noms, Editions Quae, p. 108

[58] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ronce_commune.

[59] Becker M., Picard J.F., Timbal J. (1982), — Larousse des arbres, des arbustes et des arbrisseaux de l'Europe Occidentale. — Paris: Librairie Larousse, pp. 272-275.

[60] Sellappan S, Akoh CC, (2002) composés Krewer G. phénoliques et la capacité antioxydante de bleuets et les mûres Georgia-cultivées. J Agric Food Chem; 50: 2432-8.

[61] Conde Nast; (2012). «faits sur la nutrition pour les mûres premières". Nutritiondata.com.

[62] Jakobsdottir G, Blanco N, Xu J, Ahrne S, Molin G, Sterner O, (2013). et al. La formation d'acides gras à chaîne courte, l'excrétion des anthocyanes et la diversité microbienne dans les rats nourris cassis, mûres et framboises. J Nutr Metab 202534.

[63] Aduragbenro DA, Yeside OO, Adeolu AA, Olanrewaju MJ, Ayotunde SA, Olumayokun AO, et al. (2009). La pression artérielle effet d'abaissement Adenanthera extrait de semences pavonina sur des rats normotendus. Rec Nat Prod. 3: 282-9.

[64] Harborne JB. London: Chapman and Hall;(1973). méthodes phytochimiques; p. 117.

[65] Kokate CK, Purohit AP, Gokhale SB. (1997). 4e éd. New Delhi: Vallabh Prakashan; pharmacognosie pratique; pp. 106-11.

[66] Wada L,(2002). activité et phénolique Ou B. Antioxydant contenu de framboisiers Oregon. J Agr Food Chem. 50 (Suppl 12): 3495-500.

[67]CloverleafFarm ,C(2014).cloverleaffarmherbs.com
" http://www.cloverleaffarmherbs.com/blackberry/#sthash ".

[68]Vivre et sentir, C(2014). liveandfeel.com : "http://www.liveandfeel.com/vegetables/blackberry.htm".

[69] Bailey CJ, Day C. (1989) plantes médicinales traditionnelles comme traitements pour le diabète. Diabetes Care. 12: 553-64.

[70] Buřičova L., Andjelkovic M., Čermakova A., Reblova Z., Jurček O., Kolehmainen E., Verhe R.,Kvasnička F. (2011): Antioxidant capacity and antioxidants of strawberry, blackberry, and raspberry leaves. Czech J. Food Sci., 29: 181–189.

[71] Fluck H.,(1977). « Herbes médicinales » petit guide panoramique, éd. Delachaux et Nestlé SA, Paris.

[72] Brunetton J., (1993). « Pharmacognosie photochimie, plantes médicinales », 2ème éd., Lavoisier, Paris.

[73] Bernard T. et Col, (1988). « Extraction des huiles essentielles : chimie et technologie», Information chimie, N°298.

[74] Luttge U., Rluge M., Bauer G., (2002). « Botanique : Traité fondamental » ; éd. Lavoisier, Paris,

[75] Guignard J. L, (1985). « Phytochimie », éd. Masson, Paris.

[76] Berigaud B., (2002). « Aromathérapie », éd. Parades.

[77] Judd W., Campbell E. A. , Kellogg P., (2002). « Botanique et systématique : une perspective phylogénétique », 1ere éd. de Boeck.

[78] Paris M., Hurabielle M., (1981). « Abrégé de Matière Médicale pharmacognosie », tome 1, éd, Masson.

[79] Robert S.,(1994). Notes de cours. Chimie organiques 1, département de chimie–biologie, université de Québec.

[80] Seguin. E., Axel. G., Michel. P et Orecchioni. A.(2001), Le préparateur en pharmacie dossier 2, p : 108 ,143-206.

[81] Les huiles essentielles de A à Z http:/www.SOLUTQUE.com

[82] Gaucher I., Lusson J.,(2001). « projet génie agro – alimentaire, industries alimentaires et biologiques », http : // www. Perso. Wanadoo. Fr / JI / GIA / index. Html.

[83]Salle J-L.(2004) : Les huiles essentielles, synthèse d'aromathérapie. Editions Frison-Roche,2ème édition. 220 p.

[84]Möller K.(2008) : La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous. Editorial UNICO.152 P.

[85] Leybros J. et Fremeaux P.(1990): Extraction solide-liqude, aspect théorique. Techniques de l'ingénieur J 2780 pp 7-8.

[86] Cicile J.-C.(2002) : Distillation. Absorption Etude pratique. Techniques de l'ingénieur J 2610 pp 1-20.

[87] Khelfane. F et Yousfi. A ; (1987). Extraction et analyse chromatographique de l'huile essentielle d'Eucalyptus globus. Thèse d'Ingéniorat ; E.N.P ; Alger.

[88]Benjilali. B ; (2004). Extraction des plantes aromatiques et médicinales : cas particulier de l'entrainement à la vapeur d'eau et ses équipements. Institut agronomique et vétérinaire, Maroc.

[89] Hernandez Ochoa. L. R; (2005). Substitution de solvants et matières actives de synthèse par une combine « solvant/actif » d'origine végétale. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse.

[90] Meyer-Warnod. B;(1984).Natural essential oils. Extraction processes and application to some major oils. Perfumer et Flavorist, 9, 93-103.

[91] Kapetanovic. S, Djugumovic. S., et Ramic. R ; (1984). Isolement de l'huile essentielle de rose par distillation sèche. Parfums, Cosmétiques et Arômes(56).

[92] Lemberg. S., (1982). Perfumer and flavorist; 7: 58-63.

[93] Martini. M. C et Seiller. M ; (1999). Actifs et additifs en cosmétologie, 2ème éditions, TEC et DOC. Lavoisier, Paris.

[94]Basil. A, Jimenez-Carmona. M.M et Clifford. A.A; (1998).Extraction of Rosemary by super heated water.Journal of foodchemistry, Vol. 46, n°12, p : 5205-5209.

[95]Vernin. G ; (1982). Arômes alimentaires et développements récents. Ed. APRIA

[96] Hesse et Zeitscel. J. PraktChemie ; 1901 et 1902, cité par Guenther ; (1) vol 1, page 198, édition 1972.

[97]Chemat. F, Tomao. V et Virot. M; (2005).Ultrasound-assisted extraction in food analysis.In handbook of food analysis instruments by semihotles (pp. 85-103).Boca Raton, Florida, USA : CRC press.

[98] Scheffer. J.J.C ; (1996). Various methods for the isolation of essential oils.Phytother. Res., 10:S6-S7.

[99] Wichtel. M. et Anton. R ; (1999). Plantes thérapeutiques: tradition, pratiques officinales, science et thérapeutiques. Ed. Tec et Doc.

[100] Rivera. L.L ; (2006). Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffée par induction thermomagnétique directe, thèse dedoctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, spécialité : Sciences des Agro-ressources.

[101] Peyron L.(1992) : Techniques classiques actuelles de fabrication des matières premièresnaturelles aromatiques. Chapitre 10, pp 217 – 238. Cité In : Les arômes alimentaires.Coordinateurs RICHARD H. et MULTON J.-L. Ed. Tec & Doc-Lavoisier et Apria.438 p

[102]Bhar. Lt et Balouk. C.A ; (2011). Les plantes aromatiques et médicinales. L'espace marocain N°68, 2ème trimestre.

[103] http://www.labogravier.com/huile/page2.htm.

[104] Fernandez X., Cabrol-bass D. (Sept. 2007), Analyse des arômes, Techniques-Ingénieur. pp. 3233-5, 10.

[105] Simpson W.T.,(1999), Drying and control of moisture content and dimensional changes, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, Forest Products laboratory. 463 p.

[106]Madani.L.(2015). Récupération et valorisation des extraits de l'Inule visqueuse].thèse de Doctorat en sciences.ENP.Alger.

[107] Mamoci, E., Cavoski, I., Simeone, V., Mondelli, D., Al-Bitar, L., & Caboni, P. (2011). Chemical composition and in vitro activity of plant extracts from Ferula communis and Dittrichia viscosa against postharvest fungi. Molecules. 16(3) : 2609-2625.

[108] Naik, S. N., Lentz, H., Maheshwari, R. C. (1989). Extraction of perfumes and flavours from plant materials with liquid carbon dioxide under liquid—vapor equilibrium conditions. Fluid Phase Equilibria. 49: 115-126.

[109] Sovová, H. Aleksoveski. A.S. (2006). Mathematical Model for hydrodistillation of essential oil. Flavor.frag.J. 21: 881-889.

[110] Benyoussef, E.H., Hasni, S., Belabbes, R., Bessiere, J.M. (2013). Modeling of mass transfer during coriander essential oil extraction. Chemical Engineering Journal .85 :1-5.

[111] Hong, I. K., Rho, S. W., Lee, K. S., Lee, W. H., Yoo, K. P. (1990). Modeling of soybean oil bed extraction with supercritical carbon dioxide. Korean Journal of Chemical Engineering. 7(1): 40-46.

[112] Boukhatem M N , Hamaidi M S , Saidi F , Yahia Hakim, (2010). Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens L*.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie).

[113] Benjilali B ., Tantaoui-Elaraki A ., Ismaïli-Alaoui M., Ayadi A. 1986. Méthode d'études des propriétés antiseptiques des huiles essentiellespar contact direct en milieu gélosé. Plant Médicinal Phytotherapy .20:155-167.

[114] Belaiche P., 1979, L'aromatogramme. Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. M. S. A. Editeur, Paris. Tome 1, 204.

[115] Fauchère J.L et Avril J.L. (2002), Bactériologie générale et médicale: Ellipses Editions Paris, 365.

[116] Zaika. L. (1988). Spices and Herbs-Their antimicrobial activity and its dermination. Journal of food safety.