

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALE

N°/SNV/2024

THESE

Présentée par

BENLEMBAREK Khaoula

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3^{ÈME} CYCLE

Filière : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Spécialité : BIODIVERSITÉ ET ENVIRONNEMENT

THÈME

**Valorisation du *Rhus tripartita* en Algérie «Caractérisation
Phytochimique et activités Biologiques»**

Soutenue publiquement le 31/01/2024

DEVANT LE JURY

Président	Sahraoui Rachid	Pr.	UFA Sétif 1
Directeur de thèse	Lograda Takia	Pr.	UFA Sétif 1
Co-directeur de thèse	Ramdani Messaoud	Pr.	UFA Sétif 1
Examineur	Sarri Madani	Pr.	Univ. de M'sila
Examineur	Zellagui Amar	Pr.	Univ. D'Oum El Bouaghi
Examineur	Gharaf Nour Eddine	Pr.	Univ. D'Oum El Bouaghi

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles (VRBN).

الملخص

Rhus tripartita (Ucria) grande أو ما يعرف باسم السماق الأفريقي هو شجيرة تنمو في البيئات الجافة وشبه الجافة في الجزائر. في إطار تطوير وتثمين النباتات الطبيعية، أجرينا دراسة على التركيب الكيميائي والأنشطة البيولوجية لأربعة عشر مجموعة من نبات *R. tripartita*. تم إخضاع الأجزاء الهوائية للنبات لعملية التقطير المائي متبوعاً بعملية تحليل التركيب الكيميائي بواسطة CPG/SM. يتميز الزيت العطري المتحصل عليه بلون أصفر باهت، رائحة قوية ومردود منخفض قدر ب (0.16 ± 0.01) (% (w/w). تم تحديد ثلاثة وسبعين مكوناً بمتوسط خمسة وأربعون مكوناً لكل مجموعة. α -pinène بنسبة 58.40 ± 10.73 %، يعتبر المكون الرئيسي الموجود في جميع عينات *R. tripartita* متبوعاً ب caryophyllène-Z, Δ 3-carene, β -pinene, myrcène, limonène, terpinolène, Δ -cadinène. تم تحديد أربعة أنماط كيميائية حيث تحصلنا على النمط الكيميائي Δ 3-carene - α -pinene - limonene / النمط الكيميائي α -pinene - Δ 3-carene - caryophyllene-Z / النمط الكيميائي α -pinene - Δ 3-carene - Δ -cadinene / النمط الكيميائي α -pinene - Δ 3-carene - caryophyllene-Z. تم اختبار سبع سلالات بكتيرية. أظهر الزيت العطري الغير مخفف ل *R. tripartita* نشاطاً كبيراً ضد البكتيريا *B. Cereus* بينما كانت البكتيريا *E. coli* أكثر مقاومة. أظهرت *C. albicans* حساسية جد عالية لزيت *R. tripartita* على عكس الفطريات الأخرى: *Alternaria alternata*, *Fusarium solani graminum* و *Phytophthora infestans* التي كانت مقاومة. أظهر نشاط أسر الجذور أن الزيوت الأساسية لـ *R. tripartita* تتميز بنشاط متوسط فقد تم تسجيل أعلى نشاط أسر للجذور في المجموعة المؤنثة في بوسعادة مع IC₅₀ تقدر ب 1,77±0,88 مغ/مل.

الكلمات المفتاحية: *Rhus tripartita*، تحليل كيميائي GC/MS، نشاط مضاد للبكتيريا، نشاط مضاد للفطريات، نشاط أسر للجذور.

Résumé

Rhus tripartita (Ucria) Grande ou sumac africain est un arbuste des régions arides et semi-arides de l'Algérie. Dans le cadre de valorisation des plantes naturelles, nous avons mené une étude phytochimique et des activités biologiques de quatorze populations du *R. tripartita*. Les huiles essentielles des parties aériennes du *R. tripartita* ont été obtenues par hydrodistillation et soumis à l'analyse GC/MS. L'huile essentielle obtenue est de couleur jaune pâle, d'odeur forte et un rendement faible de $(0,16 \pm 0,01\%)$ (w/w). Soixante-treize composants avec une moyenne de 45 composants pour chaque population ont été déterminés. L' α -pinène ($58,40 \pm 10,73\%$) est le composant majoritaire, suivi par le caryophyllène-Z, le Δ^3 -carène, le β -pinène, le myrcène, le limonène, le terpinolène et le Δ -cadinène. Quatre chémotypes ont été déterminé (chémotype Δ^3 -carène- α -pinène-limonène ; chémotype α -pinène- Δ^3 -carène-caryophyllène-Z ; chémotype α -pinène- Δ^3 -carène- Δ -cadinène et chémotype α -pinène- β -pinène-caryophyllène-Z). Sept souches bactériennes ont été testées. L'huile essentielle pure de *R. tripartita* montre une activité importante contre *Bacillus cereus* ; *Escherichia coli* est plus résistante à l'huile. *Candida Albicans* est très sensible à l'huile essentielle du *R. tripartita*. Les champignons *Alternaria alternata*, *Fusarium gramineum*, *Fusarium solani* et *Phytophthora infestans* sont tolérants. Les huiles essentielles montrent une activité anti radicalaire moyenne. L'activité la plus élevé est enregistré chez la population femelle de Boussaâda avec une IC 50 de $1,77 \pm 0,81$ (mg/ml).

Mots clés : *Rhus tripartita*, Huiles essentielles, Activité antibactérienne, Activité antifongique, Activité anti-radicalaire, Algérie.

Abstract

Rhus tripartita (Ucria) Grande or African sumac is a shrub of the arid and semi-arid regions of Algeria. As part of the valorization of natural plants, we conducted a study on the phytochemical and the biological activities of fourteen populations of *R. tripartita*. The essential oils of the aerial parts of *R. tripartita* were obtained by hydrodistillation and subjected to GC/MS analysis. The essential oil obtained is characterized by pale yellow color, strong odor and a low yield of $(0.16 \pm 0.01\%)$ (w/w). Seventy-three compounds with an average of 45 compounds for each population were determined. α -pinene ($58.40 \pm 10.73\%$) is the major compound, followed by caryophyllene-Z, Δ^3 -carene, β -pinene, myrcene, limonene, terpinolene and Δ -cadinene. Four chemotypes were determined (Δ^3 -carene - α -pinene - limonene; chemotype α -pinene - Δ^3 -carene - caryophyllene-Z; chemotype α -pinene - Δ^3 -carene - Δ -cadinene and chemotype α -pinene - β -pinene - caryophyllene-Z). Seven bacterial strains were tested. Pure essential oil of *R. tripartita* shows significant activity against *Bacillus cereus* while *Escherichia coli* showed lower activity. *Candida albicans* is very sensitive to the essential oil of *R. tripartita*. However, the other fungi *Alternaria alternata*, *Fusarium gramineum*, *Fusarium solani* and *Phytophthora infestans* are tolerant. Antiradical activity showed that essential oils have medium activity. The highest Antiradical activity is recorded in the female population of Boussaâda with an IC_{50} of 1.77 ± 0.81 (mg/ml).

Keywords: *Rhus tripartita*, Essential oils, Antibacterial activity, Antifungal activity, Antiradical activity, Algeria.

Remerciement

*Tout d'abord, je voudrais remercier mon directeur de thèse, Professeur **Lograda Takia**, pour sa guidance et ses conseils précieux tout au long de ce processus. Sa vision éclairée et son expertise ont été essentielles pour orienter mes recherches et m'encourager à repousser mes limites.*

*Je suis également reconnaissant envers mon co-encadreur Professeur **Ramdani Messaoud** pour avoir consacré son temps et ses compétences à évaluer mon travail et à formuler des commentaires constructifs. Ses observations et suggestions ont grandement contribué à l'amélioration de ma thèse.*

*Je voudrais remercier Monsieur le professeur **Sahraoui Rachid** qui m'a honoré en acceptant d'être président de ce jury et pour ses précieux conseils.*

*Je tiens à remercier les examinateurs : les professeurs **Zellagui Ammar**, **Gharaf Nour Eddine** et **Sarri Madani** pour avoir accepté de faire partie du jury à fin d'évaluer et d'examiner notre travail.*

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers mes collègues de laboratoire. Leurs idées inspirantes et leur soutien moral ont été une source inestimable d'inspiration tout au long de ce parcours.

Dédicace

À mes parents

Je tiens à vous exprimer ma gratitude infinie pour votre soutien indéfectible tout au long de cette aventure académique. Votre amour, vos encouragements et vos sacrifices ont été les piliers qui m'ont permis d'atteindre ce moment si précieux de ma vie.

À mes très chères sœurs et frère

Cette dédicace est un témoignage de mon amour et de ma gratitude éternelle envers vous. Votre soutien inconditionnel et votre présence réconfortante ont été une source de force et d'inspiration tout au long de mon parcours.

À mes amis

Je vous remercie pour votre précieuse présence, votre soutien indéfectible et votre camaraderie

PUBLICATIONS

Khaoula Benlembarek, Takia Lograda, Messaoud Ramdani, Gilles Figueredo, Pierre Chalard. 2021. Chemical composition and antibacterial activities of *Rhus tripartita* essential oils from Algeria. Biodiversitas, 22(1) : 480-490. Doi: [10.13057/biodiv/d220158](https://doi.org/10.13057/biodiv/d220158)

Khaoula Benlembarek, Takia Lograda, Messaoud Ramdani, Gilles Figueredo, Pierre Chalard. 2021. Chemical composition, antibacterial, antifungal and antioxidant activities of *Taxus baccata* essential oil from Algeria. Biodiversitas, 22(12): 5474-5483. Doi: [10.13057/biodiv/d221231](https://doi.org/10.13057/biodiv/d221231)

Khaoula Benlembarek, Takia Lograda, Messaoud Ramdani, Gilles Figueredo, Pierre Chalard. 2022. Chemical Composition and Biological Activities of *Anethum graveolens* L. Essential Oil from Algeria. Journal of essential oil-bearing plants JEOP 25(7):1-13. DOI: [10.1080/0972060X.2022.2113149](https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2113149)

COMMUNICATIONS

Benlembarek Khaoula, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2020. Chemical composition of essential oils of *Rhus tripartita* in Algeria. International Conference on Environmental, Agriculture and Rural Development (EARD-2020). www.irhcp.org.

Belguidoum Amina, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, **Benlembarek Khaoula**. 2020. Biomonitoring of metal trace elements by epiphytic lichen *Xanthoria parietina* in Bejaia area (East Algeria). International Conference on Environmental, Agriculture and Rural Development (EARD-2020). www.irhcp.org.

Benlembarek Khaoula, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2020. Chémotype de *Rhus tripartita* en Algérie. 1st conference on biology and agronomy online. International Organization for Higher Education and Scientific Research.

Belguidoum Amina, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, **Benlembarek Khaoula**. 2020. évaluation de la qualité de l'air par la diversité lichénique des lichens et les indices de pureté atmosphérique en milieu urbain (Sétif, Algérie). 1st conference on biology and agronomy online. International Organization for Higher Education and Scientific Research.

Belguidoum Amina, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, **Benlembarek Khaoula**. 2020. Pollution atmosphérique métallique, risque de cancer et mortalité par COVID-19 dans la wilaya de Setif. First international seminar "Impact of Covid 19 on the environment". University of Saad Dahlab Blida 1.

Benlembarek Khaoula, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2021. Chemical Variability and antibacterial activity of *Rhus tripartita* essential oils in Algeria. The National Day on the SARS-CoV-2: Bioinformatics & Biotechnology (JNSARSCoV2BB). Université M'Hamed Bougara-Boumerdes. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.

Belguidoum Amina, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, **Benlembarek Khaoula**. 2021. Pollution atmosphérique métallique, risque de cancer et la mortalité. The National Day on the SARS-CoV-2 : Bioinformatics & Biotechnology (JNSARSCoV2BB). Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.

Benlembarek Khaoula, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2021. Chemotypes et activité biologique des huiles essentielles de *Rhus tripartita* en Algérie. International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and

Forest Ecosystems: (In support of sustainable development). Université Mohamed Boudiaf de M'sila

- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2021. Chemical composition and biological activity of *Taxus baccata* essential oil in Algeria. 1er Séminaire National sur les Ressources Naturelles face aux Contraintes d'Usage et du Changement Climatique. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila (Algérie)
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2021. Potentialité de l'huile essentielle de *Taxus baccata* dans la lutte biologique. Séminaire International sur la Biodiversité, Environnement et Santé. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.
- Belguidoum Amina, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, **Benlembarek Khaoula**. 2021. Phytoremediation Technology: White Poplar (*Populus Alba*) As a Biomonitor Of Trace Elements In Contaminated Riparian Forests, SÉTIF ALGERIA. Université M'Hamed Bougara de Boumerdès
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2021. Chemical composition and antifungal activity of *Taxus baccata* essential oil in Algeria. 1 St International Webinar on Biological and Chemical Engineering. Saad Dahlab University, Blida-1 Faculty of Natural and life sciences
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2022. Chemical composition and antimicrobial activity of *Anethum graveolens* essential oil in Algeria. 1ere journée Nationale sur L'agroalimentaire Et Microbiologie De L'environnement (AAME 2022). Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre.
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2022. Antioxidant activity and chemical profile of *Taxus baccata* essential oil in Algeria. Premier séminaire national sur les huiles essentielles et l'aromathérapie (SNHEA 2022) (Hybride). Université Abbes Laghrour Khenchela, faculté des sciences de la nature et de la vie, laboratoire de biotechnologie, eau, environnement et santé.
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2023. Phytochemistry, antifungal and antioxidant activity of *Anethum graveolens* essential oil. National seminar on phytotherapy and pharmacognosy. Laboratory of phytotherapy applied to chronic diseases (LPACS). Faculty of nature and life sciences. Ferhat Abbes University Setif-1-.
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Belguidoum Amina. 2023. Composting organic wastes (case of household wastes). Journée d'étude sur la gestion des déchets (environnement et attentes socioéconomiques. Département de biologie et écologie végétale, faculté de science de la nature et de la vie, université Ferhat Abbes Sétif-1-.

JOURNÉES DOCTORALES

- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2022. Valorisation des espèces du genre *Rhus* d'Algérie « Phytochimie, caractérisation génétique et activités biologiques. 3rd doctoral scientific days. Faculty of nature and life sciences, university Ferhat Abbes -1- Setif.
- Benlembarek Khaoula**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2022. Chemical composition and biological activities of *Anethum graveolens* essential oil from Algeria. 4th doctoral scientific days. Faculty of nature and life sciences, university Ferhat Abbes -1- Setif.

Liste de tableaux

Tableau 1: Usages ethnobotaniques des Anacardiaceae	6
Tableau 2: Métabolite secondaire du genre <i>Rhus</i>	9
Tableau 3: Classification du <i>Rhus tripartita</i> L.	12
Tableau 4: Composition chimique de l'huile essentielle du <i>Rhus</i>	25
Tableau 5: Activités biologiques du <i>R. tripartita</i>	28
Tableau 6: Cordonnées géographiques des stations échantillonnées	36
Tableau 7: Espèces bactériennes utilisées dans le teste de l'activité antibactérienne	40
Tableau 8: Rendement en huile essentielle des populations du <i>R. tripartita</i>	47
Tableau 9: Composition chimique des huiles essentielles des populations de <i>R. tripartita</i> L.	50
Tableau 10: Composants de l'huile essentielle utilisés dans l'analyse statistique	55
Tableau 11: Matrice des corrélations des composants des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	57
Tableau 12: Chémotypes du <i>R tripartita</i>	63
Tableau 13: Zones d'inhibition des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	66
Tableau 14: Effets et interactions des huiles essentielles de <i>R. tripartita</i>	70
Tableau 15: Efficacité des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i> sur les bactéries testées.	70
Tableau 16: Classe de sensibilité des bactéries aux huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	71
Tableau 17: Effet des dilutions et des antibiotiques sur les bactéries	72
Tableau 18: Pourcentage d'inhibition de l'activité antifongique de l'huile essentielle du <i>R. tripartita</i>	75
Tableau 19: Effets et interactions de l'activité antifongique des HEs du <i>R. tripartita</i>	76
Tableau 20: Effet des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i> sur les souches fongiques testées	76
Tableau 21: Sensibilité des souches fongiques testés aux HEs du <i>R. tripartita</i>	77
Tableau 22: Efficacité des concentrations des HEs utilisées	77
Tableau 23: Pourcentage d'inhibition des HEs du <i>R. tripartita</i>	80
Tableau 24: Valeurs IC ₅₀ des HEs du <i>R. tripartita</i>	84
Tableau 25: Efficacité et interactions des huiles essentielle du <i>R. tripartita</i>	84
Tableau 26: Capacité moyenne des HEs du <i>R. tripartita</i> à réduire les radicaux libres du DPPH	85
Tableau 27: Variation de pourcentage d'inhibition en fonction des dilutions des HEs utilisés	86

Liste de Figures

Figure 1: Distribution géographique de la famille Anacardiaceae dans le monde	5
Figure 2: <i>Rhus tripartita</i> (A: feuille, B: fleurs, C: fruits).....	10
Figure 3: Répartition du <i>Rhus tripartita</i> dans le monde.....	11
Figure 4: Unité isoprénique responsable de la formation des isoprénoïdes	15
Figure 5: Unité isoprénique responsable de la formation des isoprénoïdes	16
Figure 6: Structures chimiques des composés aromatiques	16
Figure 7: Structures chimiques des composés aromatiques	21
Figure 8: Arbre mâle (M) et femelle (F) de <i>R. tripartita</i> de M'sila	35
Figure 9: <i>R. tripartita</i> de M'sila (F= Arbre femelle, M= Arbre Mâle).....	36
Figure 10: Extraction des huiles essentielles par hydrodistillation (dispositif de type clevenger)..	37
Figure 11: Principe de la méthode d'aromatogramme	40
Figure 12: Mécanisme de réduction du radical libre DPPH par un antioxydant..	43
Figure 13: Protocole de l'évaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de <i>R. tripartita</i> par le test au DPPH.....	44
Figure 14: Variation du rendement en huiles essentielles en fonction de l'Altitude	48
Figure 15: Chromatogramme GC/MS (Fid et Mass) de l'huile essentielle du <i>R. tripartita</i> « population M'sila femelle »	49
Figure 16: Répartition des classes chimiques des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	54
Figure 17: Variabilité des composants chimique des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	56
Figure 18: Cercle de corrélation, projection des variables sur le plan (1x2).....	58
Figure 19: Cercle de corrélation, projection des variables sur le plan (1x3).....	59
Figure 20: Projection des populations du <i>R. tripartita</i> sur le plan (1x2)	60
Figure 21: Projection des populations du <i>R. tripartita</i> sur le plan (1x3)	61
Figure 22: Projection spatiale des populations du <i>R. tripartita</i>	61
Figure 23: UPGMA cluster des populations du <i>R. tripartita</i>	62T
Figure 24: Activité antibactérienne de l'huile essentielle du <i>R. tripartita</i> contre <i>B. cereus</i>	65
Figure 25: Pourcentages d'inhibition de la souche <i>Bacillus cereus</i>	69
Figure 26: Diamètres des zones d'inhibition des populations du <i>R. tripartita</i>	71

Figure 27: Test de désirabilité de l'huile essentielle des populations du <i>R. tripartita</i>	72
Figure 28: Profile des valeurs prédites et désirabilités de l'activité antifongique des HEs essentielles du <i>R. tripartita</i>	78
Figure 29: Variation des pourcentages d'inhibition des HEs du <i>R. tripartita</i> en fonction des concentrations utilisés.	83
Figure 30: Désirabilité des HEs du <i>R. tripartita</i> dans l'activité antioxydante	86

Liste des abréviations

PDA : Potato dextrose agar

ACP : Analyse en Composantes Principales.

ANOVA : Analyse de la variance.

APG III: The Angiosperm Phylogeny Group

ATCC : American Type Culture Collection.

BHT : 2,6-di-tert-butyl-4-méthylphénol.

F : Femelle

M : Mâle

CPG/MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrophotométrie de masse.

DPPH : 2,2-diphenyl picrylhydrazil.

FID : détecteur à ionisation de flamme.

GN : gentamicine

HE : Huile essentielle.

IC₅₀ : Concentration inhibitrice médiane.

IR : Indice de rétention.

KI : Indice de Kovats.

MHA : Mueller–Hinton.

MRSA : *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline

NIST: National Institute of Standards and Technology.

SM: Spectrométrie de Masse.

UPGMA: Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means

SOMMAIRE

ملخص

Résumé

Abstract

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	1
I-Synthèse bibliographique	4
1-Partie botanique	4
1-1-Famille des Anacardiacees	4
1-1-2-Répartition géographique et intérêt de la famille	4
1-1-3 Utilisation ethnobotanique.....	5
1-1-3 Composition chimique.....	5
1-2 Genre <i>Rhus</i> L.	6
1-2-1 Intérêt du genre <i>Rhus</i>	7
1-2-3 Principaux métabolites secondaire du genre <i>Rhus</i>	9
1-3 <i>Rhus tripartita</i> L.	10
1-3-1 Répartition et habitat	11
1-3-2 Taxonomie	11
1-4 Utilisation du <i>Rhus tripartita</i>	12
1-4-1 Utilisation traditionnelle	12
2- Huile essentielle	13
2-1 Origine et propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	13
2-2 Composition chimique des huiles essentielles	14
2-2-1 Les terpènes et terpénoïdes	15
2-2-2 Les composés aromatiques	16
2-3 Activités thérapeutiques des huiles essentielles.....	17

2-4 Application des huiles essentielles dans l'industrie.....	18
2-4-1 bioinsecticide	18
2-4-2 Utilisation dans la parfumerie et la cosmétologie.....	18
2-4-3 Industrie agroalimentaire	19
2-4-4 Pharmacologie et aromathérapie	19
2-5 Techniques d'extraction des huiles essentielles.....	19
2-5-1- Distillation-Evaporation	20
2-5-1-1- Entraînement à la vapeur.....	20
2-5-1-2- Hydrodistillation	20
2-6-Analyse des huiles essentielles	21
2-6-1- Chromatographie en phase gazeuse (CPG).....	21
2-6-2 L'indices de rétention	22
2-6-3 Chromatographie phase gazeuse (CPG) couplé à la spectrométrie de masse (CPG/MS)	23
2-7- Composition chimique des huiles essentielles du <i>Rhus</i>	23
2-8- Activités biologique du <i>Rhus tripartita</i>	28
2-9 Activité Antimicrobienne.....	28
2-10 Activité antioxydante de <i>Rhus tripartita</i>	29
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	
Matériel et méthodes	35
1-Matériel végétal	35
1-2- Zone d'étude	35
2-Méthodes.....	37
2-1 Extraction des huiles essentielles	37
2-1-1- Rendement en huile essentielle	37
2-2 Analyse physico-chimique de l'huile essentielle.....	38
2-3 Evaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles.....	39
2-3-1-Méthode de diffusion sur disque (l'aromatogramme).....	39
2-3-2 Espèces bactériennes utilisées	39
2-3-3 Préparation des milieux de culture	40

2-3-4 Préparation de l'inoculum	40
2-3-5 Ensemencement	41
2-3-6 Préparation et dépôts des disques	41
2-4 Evaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles	42
2-5 Evaluation de l'activité antioxydant des huiles essentielles	42
2-5-1 Mode opératoire.....	43
2-6 Techniques statistiques d'analyse des données	44
2-6-1 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	44
2-6-2 Analyses UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means)	45
CHAPITRE III : MRESULTATS ET DISCUSSION.....	47
1. Résultats phytochimique	47
1-1- Rendement en huiles essentielles.....	47
1-2- Profil chimique des huiles essentielles	48
1-3- Analyses statistiques.....	55
1-3-1- Analyse en Composantes Principales (ACP)	55
1-3-1-1 Etude des variables.....	55
a- Variabilité des composants chimiques	55
b- Matrice de corrélation	56
c- Cercle des corrélations	58
1-3-1-2 Etude des populations.....	59
1-3-2 Analyse des clusters (UPGMA)	62
1-4 Discussion	63
2- Résultats antimicrobiennes	65
2-1 Activité antibactérienne des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	65
2-1-1 Analyse statistique (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>Rhus tripartita</i>	69
2-1-2 Test de désirabilité.....	72
2-1-3 Discussion.....	73
2-2 Activité antifongique des huiles essentielles du <i>R. tripartita</i>	74
2-2-1 Analyse statistique (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>Rhus tripartita</i>	74

2-2-2 Test de désirabilité.....	77
2-2-3 Discussion.....	78
3- Activité antioxydante	79
3-1- Pourcentage d'inhibition et IC 50 des huiles essentielles.....	79
3-2 Analyse statistique ANOVA de l'activité antioxydante du <i>R. tripartita</i>	84
3-3 Test de désirabilité	86
3-4 Discussion :.....	87
Conclusion.....	91
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	91
ANNEXE	

Introduction

INTRODUCTION

La biodiversité est l'unité fondamentale de la terre, elle assure sa continuité et elle représente l'évolution et la dynamique du monde vivant. Les écosystèmes d'Afrique du Nord, constituent un patrimoine écologique exceptionnel. En raison de sa position géographique, l'Algérie présente une variété considérable de biotopes et une diversité floristique étendue riche en espèces végétales avec des propriétés biologiques diverses. Ces espèces offrent des molécules avec une possibilité d'application dans divers domaines tels que la pharmacie, la parfumerie, la cosmétologie et l'agroalimentaire.

Depuis l'antiquité, l'homme s'est appuyé sur les ressources naturelles pour répondre à ses besoins fondamentaux tels que la nourriture, le logement, les vêtements, ainsi que pour ses besoins en matière de santé. Chaque communauté humaine relève le défi du maintien de la santé et du traitement des maladies en développant un système médical basé sur des théories, des croyances et des expériences indigènes transmises de génération en génération. La médecine traditionnelle a été utilisée pour combler cette lacune et les plantes ont été toujours une source riche de médicaments efficaces (Awulachew, 2021).

Les huiles essentielles sont des extraits volatils obtenus à partir de plantes, riches en composés aromatiques et reconnues pour leur valeur médicinale. Ils continuent d'être d'une importance primordiale jusqu'à nos jours. Les huiles essentielles sont utilisées comme parfums, arômes pour les aliments et les boissons, ou pour soigner le corps et l'esprit. Les découvertes en Mésopotamie, en Chine, en Inde, en Perse et en Égypte ancienne montrent leurs utilisations pour de nombreux traitements sous diverses formes. Récemment, la recherche de nouvelles molécules naturelles, plus efficaces, présentant moins d'effets indésirables, s'est accrue, en raison de la baisse d'efficacité des produits de synthèse, l'augmentation des contre-indications des médicaments et des effets secondaires qu'elles peuvent entraîner.

L'Anacardiaceae, une famille écologiquement et économiquement importante. Elle regroupe des espèces fournissant des produits tels que les fruits et les noix, le bois et les tanins. Elle présente également des plantes utiles et intéressantes d'un point de vue médicinal.

Le genre *Rhus* occupe une position importante dans la famille des Anacardiaceae. Les espèces du *Rhus* sont largement utilisées dans l'héritage des pratiques de guérison traditionnelles pour le traitement des infections fongiques, bactériennes et protozoaires chez l'homme et les animaux. Des études ont montré que les espèces du genre *Rhus* sont riches en composants biologiques tels que les terpénoïdes, les alcaloïdes, les stéroïdes, les flavonoïdes et les quinones (Oppiyo et al., 2022).

INTRODUCTION

Notre étude s'est portée sur l'espèce *R. tripartita* (Ucria) Grande, également connu sous le nom du sumac africain, c'est une plante a plusieurs applications thérapeutiques traditionnelles et modernes. Le *Rhus tripartita* est une espèce saharo-méditerranéenne adaptée à des habitats caractérisés par des conditions climatiques chaudes et sèches. Elle est souvent présente dans les régions désertiques, les plaines semi-arides, les savanes arides et les collines rocheuses. Cette plante est connue pour sa résistance à la sécheresse et peut survivre dans des environnements où les ressources en eau sont limitées (Benaissa et *al.*, 2018).

Notre thèse se transcrit dans le cadre des travaux de recherche du laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles (Université Ferhat Abbas Sétif 1). Cette recherche porte sur l'étude phytochimique et les activités biologiques des populations du *Rhus tripartita* en l'Algérie.

Ce travail a pour principaux objectifs :

- Identifier la composition chimique des huiles essentielles de sept populations du *R. tripartita* prélevées de différentes localités en utilisant la technique d'analyse chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM).
- Évaluer les activités biologiques de l'huile essentielle des populations du *R. tripartita* notamment l'activité antibactérienne, antifongique et anti radicalaire.

Notre travail est organisé en trois chapitres bien distingués :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse des travaux bibliographique qui abordent les sujets suivants : description des Anacardiaceae, le genre *Rhus* et particulièrement l'espèce *Rhus tripartita*. Les métabolites secondaires et spécifiquement les huiles essentielles et enfin les activités biologiques (les activités antibactériennes, antifongique et anti radicalaire).
- Le deuxième chapitre décrit le matériel (la provenance du matériel végétal utilisé) et les méthodes utilisées ; CPG/MS, l'évaluation des activités biologiques (l'activité antibactériennes, antifongique et anti radicalaire).
- Troisième chapitre sont exposés les résultats avec une discussion, suivi d'une conclusion générale.

CHAPITRE I :
SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1-Partie botanique

1-1-Famille des Anacardiacees

Les Anacardiaceae est une famille de plantes appartient à l'ordre des Sapindales, à la sous-classe des Rosidae dialypétales, à la classe des Magnoliopsida, au sous-embranchement des Magnoliophyta ou Angiospermes et à l'embranchement des Spermaphytes.

Cette famille se compose d'arbres, d'arbustes résineux et de lianes à feuilles stipulées. L'inflorescence est composée de panicules avec des fleurs actinomorphes, hétérochlamydiées, parfois apétales, pentamères, hétérosexuelles et/ou unisexuées, généralement hypogynes à ovule apotrope. Le fruit est en général une drupe souvent avec des mésocarpes résineux. La graine est exalbuminée ou presque à embryon courbé. Le pollen est souvent par 2 à 3 colportés ou par 3 à 8 ouvertures circulaires ou non (Souza et Lorenzi, 2005).

La famille des Anacardiacees est subdivisée en cinq tribus avec 75 genres et de plus de 700 espèces (Wannan et Quinn, 1991; Neves et al., 2021). Les genres *Rhus*, *Pistacia*, *schinopsis* et *schinus* sont considérés parmi les genres les plus importants dans la famille (Spichiger et al., 2004). La subdivision des Anacardiaceae en genres et espèces diffèrent selon les auteurs :

Kokwaro (1986) et Guyot (1992) : 60 genres et 600 espèces.

Mabberley (1987) : 73 genres et 850 espèces (avec 100 espèces en genre *Rhus*)

Pell (2004) : 82 genres et plus de 700 espèces.

1-1-2-Répartition géographique de la famille

La famille des Anacardiaceae a une répartition géographique étendue, couvrant la région méditerranéenne, les régions tropicales et subtropicales, ainsi que dans les zones tempérées de l'hémisphère Nord, l'Est de l'Asie et l'Amérique (**Figure 1**) (Kokwaro et al., 1986 ; Mabberley et al., 1987).

1-1-3 Utilisation ethnobotanique

Les Anacardiaceae présentent diverses caractéristiques intéressantes. Certaines d'entre elles produisent des résines ou des vernis précieux, tels que la laque de Chine. D'autres sont riches en tannins, comme le genre *Rhus*. Certaines de ces plantes sont également comestibles, les fruits de *Mangifera indica* et de *Spondias*, ainsi que les graines grillées d'*Anacardium occidentale* et de *Pistacia vera*. Quelques espèces sont prisées pour leur aspect ornemental, tel que le *Rhus* et le *Schinus*. (Walter et al., 2002).

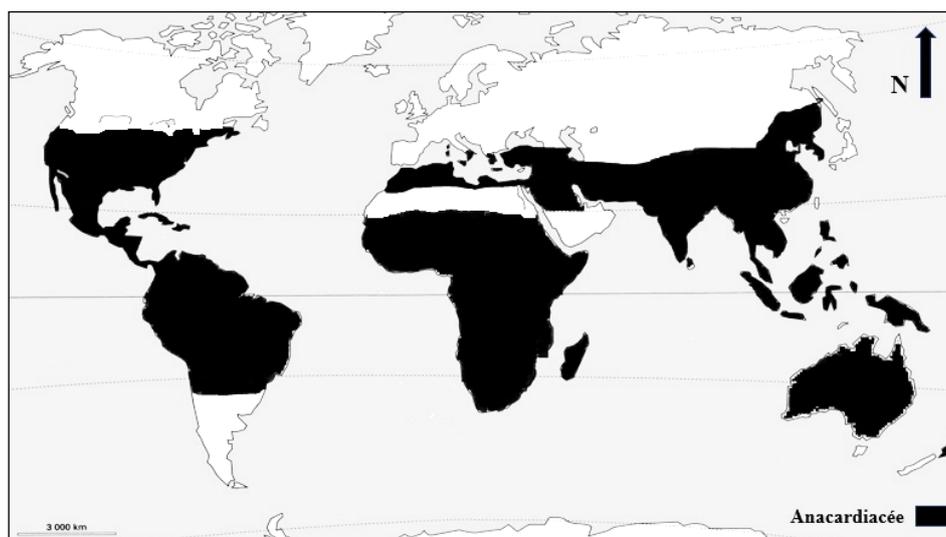


Figure 1 : Distribution géographique des Anacardiaceae (Achili, 2021)

La famille des Anacardiaceae présente des valeurs alimentaires, médicinales et ornementales (Rauf et *al.*, 2017). En tant que trésor de composés phénoliques, de terpénoïdes, de monoterpènes, de flavonoïdes, d'alcaloïdes, de saponines, d'acides gras et de stérols, les Anacardiaceae ont été utilisées dans une grande variété d'études ethno médicinales (Tableau 1).

Tableau 1 : Usages ethno médicinales des Anacardiaceae

Genre	Partie	Utilisation	Auteur
<i>Pistacia</i>	Feuille, racine, écorce	Toux, maux de gorge, eczéma, maux d'estomac, calculs rénaux et jaunisse, troubles hépatiques, inflammations urinaires, Infections cutanées et ulcères duodénaux	Rauf et <i>al.</i> , 2017
	Graine et fruit	Affections abdominales, abcès, aménorrhée, ecchymoses, affections pulmonaires, dysenterie, gynécopathie, prurit, rhumatisme, sclérose du foie, plaies et traumatismes...	
<i>Anacardium</i>	Partie aérienne	Dysenterie, diarrhée, hémorroïdes, et une infusion, soulager les maux de dents et les gencives douloureuses, traitement de rhumatismes et l'hypertension, amélioration de la circulation sanguine.	Akinpelu, 2001 ; Nugroho et <i>al.</i> , 2013
<i>Mangifera</i>	Racine et écorce	Antisiphilitique, vulnéraire, antiémétique, anti-inflammatoire et constipant. Traitement de métrorragie, de calonorragie, de pneumorragie, de leucorrhée, de syphilis, d'utérus, de plaies, d'ulcères.	Masud Parvez, 2016
	Feuille	Traitement de toux, sensation de brûlure, hémorragies, hémoptysie, plaies, ulcères, diarrhée, dysenterie, pharyngopathie, estomacopathie.	
	Fleur	Traitement de pitta, hémorragies, hémoptysies, anorexie, dyspepsie, œdème urinaire, catarrhe de la vessie et anémie.	

Les représentants de la famille sont largement utilisés en médecine traditionnelle comme anti-inflammatoire, antioxydant, antimicrobiennes et même antidiabétiques (Khalilpour et *al.*, 2018 ; Dos Santos et *al.*, 2018).

1-1-4 Composition chimique

Les Anacardiaceae sont réputés pour leur richesse en polyphénols, flavonoïdes, tanins, gallotanin, acides gras et terpènes (Schulze-Kaysers et *al.*, 2015). Les espèces *Pistacia vera*, *Pistacia lentiscus* et *Pistacia chinensis*, sont riche en métabolites secondaires tel que les huiles essentielles.

Ces huiles essentielles sont dominées par les monoterpènes et les sesquiterpènes. Parmi les constituants fréquemment trouvés, le myrcène, le limonène, le β -gurjunène, le germacrène, l' α -pinène, le β -pinène, (Rand et *al.*, 2014 ; Aouinti et *al.*, 2014). Les huiles essentielles de *P. atlantica* et *P. lentiscus* sont riche en α -pinène, β -myrcène, β -pinène, carvacrol, camphène, limonène et le β -caryophyllène (Haghdoost et *al.*, 2018 ; Koutsoudaki et *al.*, 2005). L'étude de 10 populations de *P. lentiscus* révèle la dominance du myrcène puis l' α -pinène et le limonène (Ramdani et *al.*, 2015). Selon Sifi et *al.* (2015), l'analyse physico-chimique des huiles essentielles de *P. atlantica* ont révélé la dominance du sabinène, myrcène, p-cymène, terpinène-4-ol, α -pinène et β -pinène. L'huile essentielle de *Pistacia atlantica* sont riches en monoterpènes et sesquiterpènes oxygénés (Gourine et *al.*, 2010).

1-2 Genre *Rhus* L.

Le genre *Rhus* ou Sumac (qui signifie la couleur rouge) a été décrit par Linné en 1753 (Brizicky, 1963). Le nom sumac dérive de « Summaq » qui fait référence en arabe à la couleur rouge foncé. Le sumac est le nom répandu du genre *Rhus* qui compte 91 espèces acceptés dans la famille des Anacardiaceae (Hosseinzadeh et *al.*, 2015).

Les espèces du genre *Rhus* sont des arbustes ou des arbres à caractère polygame et/ou dioïque formant souvent des fourrés à feuilles caduques composées 1-pennées et des drupes rouges flasques (Burrows et Tyrl, 2013). Ils sont répartis dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées du monde (Sylvia et *al.*, 2021).

Les sumacs sont utilisés pour l'ornementation des jardins grâce à la couleur orange/rouge écarlate du feuillage de certaines espèces (Sell et *al.*, 2002). Les espèces les plus communes du *Rhus* sont : *R. javanica*, *R. glabra*, *R. vernicifera*, *R. typhina*, *R. succedanea*, *R.*

coriaria, *R. toxicodendron*, *R. aromatica*, *R. chinensis*, *R. retinorrhoea* et *R. taitensis* (Yuruker et al., 1998). En Algérie, le genre *Rhus* est représenté par trois espèces : *R. coriaria*, *R. tripartitum* et *R. pentaphylla* (Quezel et Santa, 1962).

1-2-1 Intérêt du genre *Rhus*

Le Sumac a été largement utilisé comme herbe médicinale dans la médecine traditionnelle pour son effet athéro-protecteur et sa capacité à traiter les maladies oculaires, les plaies, les troubles intestinaux, les vers annulaires et les troubles cutanés (Asgarpanah et Saati, 2014). D'autres espèces du *Rhus* sont utilisées en médecine traditionnelle pour le traitement de l'indigestion, de l'anorexie, des hémorragies et de l'hyperglycémie (Wetherilt et Pala, 1994; Nasar-Abbas Halkman, 2004). Les fruits acidulés et savoureux de certaines espèces du *Rhus* sont utilisés comme condiment et épice pour préparer les boissons acidulées dans la cuisine du Moyen-Orient (Abu-Shanab et al., 2005).

Les espèces du genre *Rhus* présentent diverses activités biologiques. Ces activités comprennent des effets positifs contre le diabète induit par la streptozotocine, des effets hypolipémiants, des effets cardioprotecteurs chez les patients atteints d'hyperlipidémie, des effets préventifs contre l'entérocolite nécrosante, ainsi que des effets neuroprotecteurs (Nozza et al., 2020).

- ***Rhus coriaria***

La majorité des études biologiques sur *R. coriaria* sont concentrées spécifiquement sur les fruits en raison de leur utilisation répandue en Méditerranée et au Moyen-Orient comme épice séchée (Rayane et Mazza, 2007). Les fruits du *R. coriaria* ont des propriétés toniques et diurétiques, et sont réputés pour leurs bienfaits dans le traitement de dysenterie et de la diarrhée. Une infusion à base de ces fruits est utilisée en gargarisme pour soigner les infections catarrhales du pharynx, tandis que l'application topique de la pâte extraite permet de soulager les symptômes des ulcères et des hémorroïdes (Mossa et al., 1995).

Les extraits éthanoliques des fruits de la plante ont montré une large gamme d'activité antimicrobienne en inhibant la croissance des souches bactériennes *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* (Nimri et al., 1999). Les résultats des études récentes ont clairement indiqué que l'extrait de méthanol des fruits du *R. coriaria* présente une activité hypoglycémiant potentielle (Giancario et al., 2006). Il a été suggéré que les extraits méthanoliques des fruits présentent également une activité antioxydante significative (Candan et al., 2004).

- ***Rhus chinensis***

Rhus chinensis a une longue histoire d'utilisation médicinale et culinaire traditionnelle par les peuples autochtones du nord-Est de l'Inde. Il est considéré comme un médicament pour le traitement des problèmes des troubles urinaires et de nombreux autres problèmes de santé (Heirangkhongjam et Ngaseppam, 2018).

Traditionnellement, différentes parties de la plante telles que les feuilles, la tige, la fleur, le fruit, la racine, la galle, la graine ont été signalées pour leur utilisation en médecine populaire, dans le traitement et la prévention de la diarrhée, de la dysenterie, des coliques, de l'hépatite, de la jaunisse, des troubles rénaux et urinaires, paludisme, diabète, antiseptique, astringent, hémostatique, toux persistante avec sang, sueurs spontanées et infections cutanées (Singh et Singh, 2009). Les feuilles du *R. chinensis* sont riches en protéines, oligo-éléments, vitamines, calcium, fer et zinc. Le fruit riche en fibres brutes est fréquemment utilisé en médecines traditionnelles (Shengming et Maoting, 2013). Différents extraits du *R. chinensis* ont montré des capacités significatives pour les activités antioxydantes, antibactériennes et antifongiques (Tian et al., 2009).

- ***Rhus verniciflua* (Toxicodendron)**

Rhus verniciflua est connue par sa capacité à produire une résine végétale spéciale, appelée laque brute, utilisée dans la fabrication de la laque (Li et al., 2021). En Corée, *R. verniciflua* est utilisée comme plante médicinale traditionnelle pour le traitement des troubles abdominaux, la dyspepsie, les infections, les brûlures d'estomac et les maladies inflammatoires, notamment l'arthrite, la névralgie et la bronchite (Yan et Feng, 2002). Selon Lee et al. (2010), *R. verniciflua* peut être utilisé comme additif alimentaire lors de la cuisson du poulet ou du canard afin de réduire sa toxicité et de bénéficier de ses effets positifs. Plusieurs études in vitro et in vivo confirment que les extraits du *R. verniciflua* possèdent une activité anti-inflammatoire (Kim et al., 2015), antioxydante (Saravanakumar et al., 2019), anticancéreuse (Chae et al., 2018), antimicrobienne (Jang et al., 2018), Hépatoprotecteur (Lee et al., 2018).

1-2-2 Principaux métabolites secondaire du genre *Rhus*

Plusieurs études ont été portées sur les composés chimiques des métabolites secondaires des espèces du genre *Rhus*. Ces investigations ont révélé l'abondance des substances volatiles, des flavonoïdes, des tanins, des xanthones (Singh et al., 2011); terpénoïdes (sesquiterpènes et triterpènes, stéroïdes, acides phénoliques, urushiols (Li et al., 2021); des Acide gras et acide organique (**Tableau 2**) (Kossah et al., 2009).

Tableau 2 : Métabolite primaire et secondaire du genre *Rhus*

Composés isolés	Partie	Espèce	Auteurs
α pinène, β -caryophyllène, cembrène; α -terpineol, carvacrol and β -caryophyllène alcool de β -caryophyllène) Myricétine quercétine et kaempféro	Partie aérienne	<i>R. coriaria</i>	Mehrdad et al., 2009 Singh et al., 2011
2,3-dihydroxy-7- méthyl xanthone, 2,3,6-trihydroxy-7 hydroxyméthylène xanthone - 1-acide carboxylique et l'acide 2-méthoxy-4-hydroxy-7-méthyl-3-O-bêtaD-glucopyranosyl xanthone-1,8-dicarboxylique, bêta-sitostérol-bêta-D-glucoside	Graine		Singh et al., 2011
Glutamate, leucine, arginine, lysine, aspartate, acide linoléique et acide oléique.	Fruit et graine	<i>R. chinensis</i>	Shi et al., 2019
Gallotanins, composés phénoliques, acide gallique et gallate de méthyle	Feuille		Wu-Yuan et al., 1988
Taraxérol, acide ellagique-4-O- β -D-glucopyranoside, acide 4-(3,4,5-trihydroxybenzoxy) benzoïque, - isolaricirésinol-3 α -O- β -D-glucopyranoside	Tige		Tan et al., 2015
Fisétine, glycoside de quercétine et quercétine, déhydrokaempférol, kaempférol-3-O-rhamnoside	Feuille	<i>R. verniciflua</i> (<i>Toxicodendron</i>)	Cho et al., 2012 Jang et al., 2018
Kaempférol et kaempférol-3-O-glucoside. Kumatakenine B, chrysine, myricétine, 3,4'-dihydroxyflavone, rhoifoline, robinine et agathisflavone	Écorce		Jung et al., 2005 Yang et al., 2018.
Rhoifoline, robinine, agathisflavone, myricétine, 3,4'-dihydroxyflavone, 3',4',7 - trihydroxyflavone	Partie aérienne		Kim et al., 2014

1-3 *Rhus tripartita*

Synonyme : *Rhamnus tripartitus* Ucria (1793)

Rhus oxyacantha Schousb (1801)

Rhus ziziphina Tineo (1817)

Rhus oxyacanthoides Dum. Cours.

Searsia tripartita (Ucria) Moffett (2007)

Non vernaculaire :

En tamahaq (Touaregs) : « Tahouneq »,

En arabe : « Jedari ou Djedari » et « Hainech »

En français : « Ebène », « Aubépine » ou « sumac africain »

Et en anglais : « sumac ».

Rhus tripartita est un arbuste dioïque de 1,5 à 5 m d'hauteur, caractérisé par ses écorces minces, ses courts rameaux épineux de couleur brun rougeâtre. Les feuilles alternes sont petites caduques, découpées en 3 folioles de couleur vert foncé avec des bords dentés (**figure 2A**). Cette espèce est caractérisée par des fleurs blanches jaunâtre, regroupées en petites grappes (**figure 2B**) (Schmidt et *al.*, 1998 ; Attioui, 2016). Le fruit est une petite drupe (6-9 mm de diamètre) avec une seule graine à l'intérieur ayant une forme sphérique et une couleur rouge à noire (**figure 2C**) (Attia, 2020). Le système racinaire du *R. tripartita* est caractérisé par la présence de racines d'une couleur rouge foncé, très développées latéralement et en profondeur (Benaissa et Djebbar, 2018).



Figure 2 : *Rhus tripartita* (A- feuille, B- fleurs, C- fruits) (Peltie, 2006)

1-3-1 Répartition et habitat

Le *Rhus tripartita* est largement répandu dans les zones arides et semi arides d'Afrique du nord (Libye, Tunisie, Algérie, Maroc, Sahara, Mauritanie, Mali, Chad et Soudan) ainsi que dans les steppes de l'Asie occidentale et en Sicile (Pottier-Alapetite, 1979 ; Mahjoub et *al.*, 2010) (**Figure 3**).

En Algérie, il est très fréquent dans les hauts plateaux d'Oran, d'Alger et de Constantine ainsi que dans l'Atlas occidental et central. Par contre il est assez rare dans le Sahara (Quézel et Santa, 1962).



Figure 3 : Répartition du *Rhus tripartita* dans le monde (Abcha, 2020)

Deux populations du *R. tripartita* sont identifiées, en se basant sur le type d'environnement. Les populations qui vivent dans un environnement désertique, dans des conditions xériques difficiles à travers le Sahara nord-africain jusqu'au Moyen déserts de l'Est. Ces populations sont généralement assez petites et très isolées, et les populations qui se trouvent dans un environnement méditerranéen généralement près des côtes (Maroc, Algérie, Canaries Îles, Sicile, Égypte, Palestine et Liban) (Furth, 1985).

Le *R. tripartita* est connu pour sa tolérance à la sécheresse grâce à son système racinaire très développé, mais il ne supporte pas le froid et il se raréfie à partir de 1200 m d'altitude (Neffati, 2000). Bien que *R. tripartita* nécessite un sol calcaire, il peut pousser dans une variété de situations édaphiques et s'adapter à certaines conditions environnementales difficiles telles qu'une forte salinité (Idm'hand et al., 2019).

1-3-2 Taxonomie

La classification du *Rhus tripartita* n'a pas subi de grands changements dans la classification APG III et dans la classification de Cronquist (1981) (**Tableau 3**).

1-4 Utilisation du *Rhus tripartita*

1-4-1 Utilisation traditionnelle

Le *Rhus tripartita* est connu par sa richesse en tanins condensés (procyanidine et en prodelphinidine), les écorces de ses racines sont triturées en poudre, immergées dans l'eau, bouilli, tamisé et utilisées pour teindre la peau, la laine et la soie (Ben Mahmoud et al., 2015 ; Miled et al., 2017).

Tableau 3 : Classification du *Rhus tripartita* L.

	Classification Cronquist, 1981	Classification APG III Mark et al., 2009	
Règne	Plantae	Regne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta	Clade	Angiospermes
Division	Spermaphytes	Clade	Rosidea
Classe	<i>Magnoliopsida</i>	Clade	Malvidea
Sous classe	<i>Rosidae</i>		
Ordre	Sapindales		
Famille	Anacardiaceae		
Genre	<i>Rhus</i>		
Espèce	<i>Rhus tripartita</i>		

Les fruits du *Rhus tripartita* sont consommés frais ou mélangés avec de l'eau, du miel ou du lait ; les feuilles sont également utilisées comme aliments pour le bétail surtout pendant l'été (Floch, 1983 ; Ben Mahmoud et al., 2015). Au sud Algérien, les Touaregs utilisent les feuilles, les fruits et les jeunes bourgeons du *Rhus* pour éteindre la soif et aromatiser le goût de l'eau (Sahki et Sahki, 2004). En Lybie, le tronc, les branches et les racines du Sumac sont utilisées comme bois de chauffage ou transformées en charbon pour l'usage domestique (Martinez et al., 2010). Dans la médecine traditionnelle tunisienne les feuilles et les écorces des racines de la plante sont utilisées pour traiter l'ulcère gastrique, la diarrhée et faciliter la cicatrisation des plaies (Le Floch et Boulous, 2008 ; Rejeb, 2006).

2- Les huiles essentielles

Selon Hay et Waterman (1993), le terme "huile essentielle" est une contraction de mot original "huile quintessentielle". Les huiles essentielles sont des mélanges naturels complexes de métabolites secondaires volatils, isolées par hydrodistillation ou par expression mécanique (Kalemba, 2003). Sur la base de leur action sur les sens humains, les huiles essentielles d'origine végétale ont fonctionné comme sources de nourriture, des conservateurs, des médicaments, des articles symboliques dans les cérémonies religieuses et sociales et des remèdes pour modifier le comportement. Elles ont accompagné la civilisation humaine depuis ses premières genèses, les premières preuves de fabrication et d'utilisation des huiles essentielles datent de l'an 3000 avant J.C. où les égyptiens, les grecs et les romains ont employé diverses matières premières végétales ainsi les huiles essentielles dans leurs activités quotidiennes (Baser et Demirci, 2007).

La production des huiles essentielles s'est industrialisée dans la première moitié du XIX^e siècle, à cause de la demande accrue pour ces matières comme ingrédients de parfum et d'arôme (Rowe, 2005). En 1908, Parry a répertorié dans sa monographie environ 90 huiles essentielles sans décrire leur composition, et à la fin des années 1980, plusieurs recherches ont été réalisées sur les huiles essentielles avec une progression remarquable dans l'analyse et l'identification de leurs compositions chimiques (Trovato et *al.*, 2020). Dans de nombreux cas, les huiles essentielles et les extraits ont été largement acceptés en tant qu'agents multifonctionnels en raison de leur forte stimulation des sens humains gustatifs et olfactifs (Besombes, 2008).

2-1 Origine et propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Les plantes dites « aromatiques » ont potentiellement la capacité de produire des essences en quantité relativement importante (Lawrence, 2008). Ces plantes se répartissent sur un grand nombre de familles botaniques, tels que les Lamiaceae, les Astéraceae, les Apiaceae, les Cupressaceae, les Rutaceae, les Lauraceae, les Myrtaceae (Baser et Buchbauer, 2009). Les huiles essentielles sont formées à partir de molécules spécifiques issues de métabolisme secondaire, possédant des activités biologiques particulières (Faucon, 2012). La synthèse des huiles essentielles se fait au sein de différents tissus sécréteurs présents dans tous les organes de la plante : les fleurs, les feuilles, les écorces, les bois, les racines, les rhizomes, les fruits, ou encore les graines. Ces tissus peuvent également produire des résines, de composition chimique proche aux huiles essentielles et également insoluble dans l'eau, mais non volatiles (Svoboda et *al.*, 2000).

Le rôle exact de l'huile essentielle pour la plante est encore mal connu mais elle semble jouer une fonction importante dans son adaptation à l'environnement (De Sousa, 2012). Les

composés volatiles produits par la plante et que l'on retrouve dans les huiles essentielles vont modifier le comportement des microorganismes. Ainsi, elles pourraient être un outil de défense contre les prédateurs et les pathogènes. Elles permettraient également d'attirer les insectes pollinisateurs ou les disséminateurs de graines. Les huiles essentielles jouent également un rôle pour la plante elle-même, certains composants seraient des messagers internes ou encore des intermédiaires du métabolisme de la plante. Enfin, les huiles essentielles pourraient être des sources d'énergie lorsque l'activité de photosynthèse n'est plus suffisante (Figueredo, 2007)

Les propriétés physico-chimiques des huiles essentielles peuvent varier en fonction de leur composition chimique (Franchomme et Péroël, 2001). À température ambiante, les huiles essentielles sont généralement liquides, mais il existe certaines exceptions chez certaines espèces où l'huile essentielle est pâteuse, solide ou parfois un mélange solide-liquide (Fernandez et Chemat, 2012).

Les huiles essentielles sont volatiles. C'est ce qui les rend entraînaibles à la vapeur et particulièrement odorantes. La volatilité des huiles est très liée à leur composition chimique, les monoterpènes sont par exemple beaucoup plus volatiles que les sesquiterpènes (Kaloustian et Hadji-Minaglou, 2012). Les huiles essentielles sont ainsi lipophiles et très peu solubles dans l'eau en général. Par contre, leur solubilité est totale dans les huiles grasses qui représentent leurs meilleurs solvants et elle est très grande dans les alcools à titres élevés et dans les solvants organiques (Franchomme et Péroël, 2001).

La plupart des huiles essentielles ont une couleur jaune presque imperceptible. Elle fonce par oxydation au cours de leur vieillissement. Dans certains cas, les huiles essentielles vieilles et oxydées présentent un risque toxique important (Faucon, 2012).

2-2 Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de molécules chimiques pouvant contenir plus de 300 composés différents. La composition chimique d'une huile essentielle peut varier au sein d'un même genre botanique ou au sein d'une même espèce. Elle dépend de différents paramètres extrinsèques (le sol, l'environnement, le climat), intrinsèques (le degré de maturité, les facteurs génétiques, la localisation), technologiques (le type de culture, le mode de récolte), ainsi que les modes d'extraction (Sell, 2006).

Les huiles essentielles sont issues du métabolisme secondaire de la plante qui peut être stockés dans diverses structures telles que les cellules épidermiques, les cellules sécrétrices internes, les poils sécréteurs ou les trichomes (Caissard et Baudino, 2012). Ils sont des mélanges complexes de substances volatiles constituées d'environ de 20 à 60 composés à des

concentrations différentes. Les terpènes et les terpénoïdes ainsi que les phénylpropanoïdes (composés aromatiques) constituent les composés majeurs des huiles essentielles (Bakkali et *al.*, 2008).

2-2-1 Les terpènes et terpénoïdes

Les composés terpéniques représentent une grande partie des huiles essentielles (Baser et Buchbauer, 2010). Ils sont caractérisés par la présence des structures très diverses, formés par la réunion d'unités isopréniques à 5 atomes de carbone (C_5H_8) (**Figure 4**). Les terpènes sont divisés en plusieurs groupes selon le nombre de carbone constituant les molécules : les hémiterpènes (1 unité : C_5), les monoterpènes (2 unités : C_{10}), les sesquiterpènes (3 unités : C_{15}), les diterpènes (4 unités : C_{20}), les sesterpènes (5 unités : C_{25}), les triterpènes (6 unités : C_{30}), les tétraterpènes (8 unités : C_{40}) et les polyisoprènes (n unités : C_{5n}). Les terpènes les plus volatils sont les plus rencontrés dans les huiles essentielles dont la masse moléculaire n'est pas trop élevée tels que les mono (C_{10}) et les sesquiterpènes (C_{15}) (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

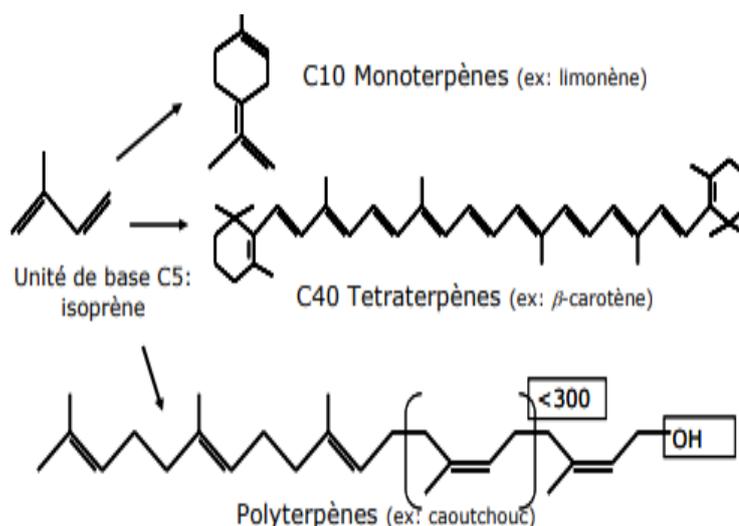


Figure 4 : Unité isoprénique responsable de la formation des isoprénoïdes

Les terpénoïdes sont des dérivés oxygénés des terpènes. Ils sont caractérisés par une grande variété structurale selon le nombre des carbones présents, le caractère saturé ou insaturé des liaisons, la configuration spatiale (forme de chaise, bateau...) et la nature du groupe fonctionnel. Ils sont constitués de différentes fonctions (Bakkali et *al.*, 2008).

- Phénol: C_6H_5-OH (thymol)
- Alcool: $R-OH$ (menthol)
- Aldéhyde: $R-COH$ (citronellal)

- Cétone: R1-CO-R2 (carvone)
- Ester : R1-COO-R2 (acetate de linalyle)
- Ether: R1-O-R2 (eucalyptol)
- Peroxide : R1-O-O-R2 (ascaridol)

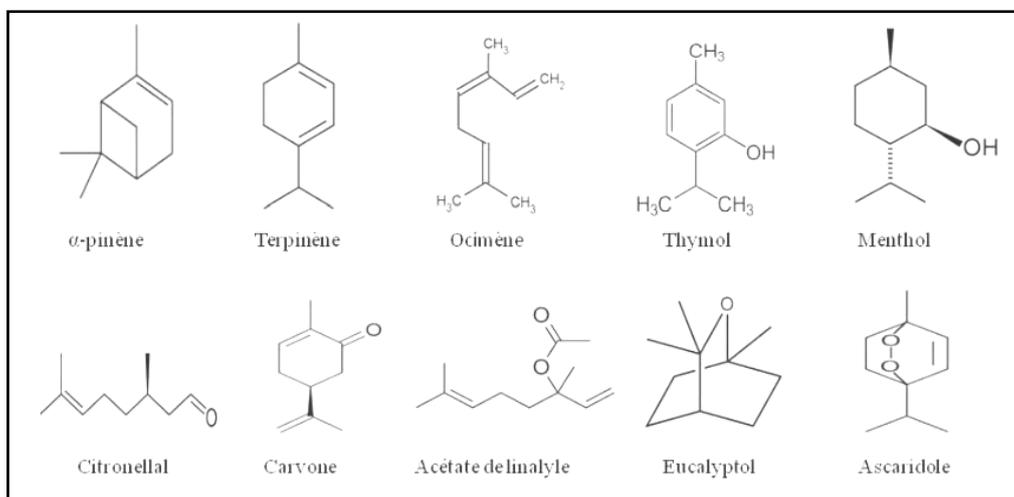


Figure 5 : Structures chimiques des terpènes et des terpénoïdes (Fillatre, 2011)

2-2-2 Les composés aromatiques

Les composés aromatiques des huiles essentielles sont principalement des dérivés du phénylpropane C6-C3 (**Figure 6**). Ils sont beaucoup moins fréquents que les terpènes. Ils peuvent comprendre des phénols (chavicol, eugénol), des aldéhydes (cinnamaldéhyde), des alcools (alcool cinnamique), des dérivés méthoxy (anéthol, estragol) ou méthylène dioxy (myristicine, safrole) (Bruneton, 1999). Ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des huiles essentielles (Kunle *et al.*, 2003).

Les composants azotés ou soufrés tels que les glucosinolates ou les dérivés d'isothiocyanate sont également caractéristiques des métabolites secondaires des diverses plantes (Iranshahi, 2012).

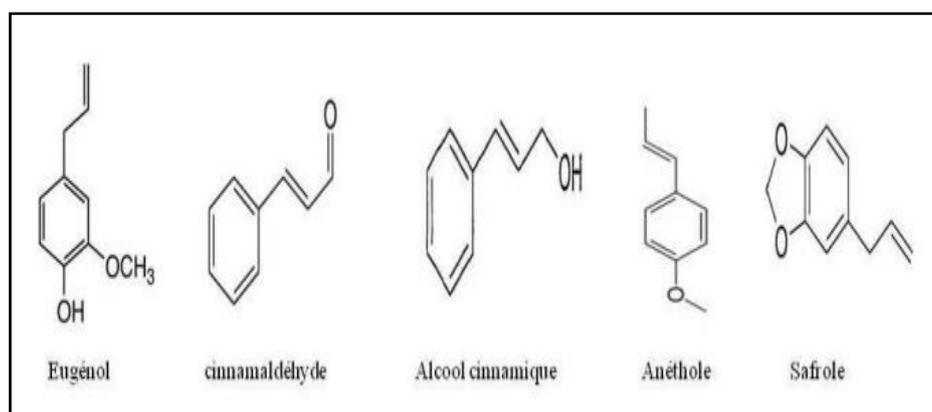


Figure 6 : Structures chimiques des composés aromatiques (Fillatre, 2011)

2-3 Activités thérapeutiques des huiles essentielles

Les plantes aromatiques sont utilisées depuis longtemps par les anciennes civilisations dans les préparations alimentaires non seulement pour la saveur qu'elles apportent mais également pour leurs propriétés antibactériennes et antifongiques (Pauli, 2001).

Les huiles essentielles constituent un groupe de métabolites secondaires identifiés dans plusieurs familles de plantes aromatiques. Ces produits naturels sont distingués par leurs caractéristiques chimiques et par leurs activités biologiques intéressantes (antioxydants, antibactériennes, antifongiques, insecticides, etc). L'activité thérapeutique des huiles essentielles est liée à leurs compositions chimiques et les possibles interactions entre leurs composants majoritaires et minoritaires (Lahlou et *al.*, 2004).

Les alcools, les aldéhydes, les cétones monoterpéniques (géraniol, linalol, menthol, terpinéol, thujanol, myrcénol, citronellal, néral, thujone, camphre, carvone, etc.), les phénylpropanes (cinnamaldéhyde) et les monoterpènes (terpinène, p-cymène) sont des familles de composés présentent des propriétés antimicrobiennes intéressantes. Le carvacrol, le thymol et l'eugénol sont ainsi des produits utilisés dans la fabrication des produits cosmétiques, alimentaires et dentaires qu'ont un effet antimicrobien contre un large spectre de bactéries (Fabian et *al.*, 2006).

Les propriétés antioxydants des huiles essentielles sont depuis peu massivement étudiées. Le déséquilibre entre la production de radicaux libres et d'enzymes antioxydants est en relation avec l'apparition de maladies telles que l'Alzheimer, l'artériosclérose et le cancer (Butterfield, 2002). Pour prévenir le stress oxydatif qui endommage et détruit les cellules des études ont été élaboré pour trouver un apport supplémentaire de composés antioxydants dans l'alimentation. Le thymol et le carvacrol sont encore une fois les composés les plus actifs. Leur activité est en relation avec leur structure phénolique et leurs propriétés oxydo-réductrices qui jouent ainsi un rôle important en neutralisant des radicaux libres et en décomposant des peroxydes (Braga et *al.*, 2006).

L'activité antioxydant des huiles essentielles est également attribuables à certains alcools, éthers, cétones, et aldéhydes monoterpéniques : le linalool, le 1,8-cinéole, le géraniol, le citronellal, l'isomenthone, la menthone et quelques monoterpènes : α -terpinène, γ -terpinène et α -terpinolène (Edris, 2007)

Le potentiel thérapeutique des huiles essentielles et leurs constituants volatiles est reconsidéré et les études qui leurs sont consacrées abondent dans la littérature scientifique (Piochon, 2008).

2-4 Application des huiles essentielles dans l'industrie

Grâce à leurs compositions chimiques, les huiles essentielles constituent une matière première destinée à divers secteurs d'activités. Les huiles essentielles possèdent des propriétés intéressantes autres que leurs activités antioxydant et antimicrobiennes. Leurs utilisations sont en expansion dans de nombreux domaines industriels, que ce soit dans les industries cosmétiques et pharmaceutiques, les secteurs de la santé, ou bien comme insecticides naturels.

2-4-1 bioinsecticides

Les huiles essentielles sont utilisées comme remplace des insecticides synthétiques qui peuvent entraîner des résidus toxiques dans les plantes (Kordali et al., 2008). Les propriétés phytosanitaires des diverses huiles essentielles et extraits des plantes sont rapportées dans plusieurs études. Parmi les différents axes étudiés, la famille des Lamiacées s'est montrée avoir des huiles essentielles ayant des effets répulsifs sur les diptères et les coléoptères. L'huile essentielle de la menthe a été également rapporté efficace sur une large gamme d'insectes (*Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, *Acanthoscelides obtectus*, etc.) (Kumar et al., 2011). L'huile essentielle du basilic et d'orange (Rutacées) ont été révélés toxiques sur les deux coléoptères fréquemment trouvés dans les graines stockées, le *Sitophilus zeamais* et le *Tribolium castaneum* (Kim et Lee, 2014).

Les activités répulsives des huiles essentielles sont liées généralement à la présence des monoterpènes et sesquiterpènes et dans certains cas, les composés peuvent agir en synergie pour améliorer leur efficacité (Nerio et al., 2010).

2-4-2 Utilisation dans la parfumerie et la cosmétologie

Les huiles essentielles sont des ingrédients appréciés dans le domaine des parfums et des cosmétiques. Elles sont utilisées comme agent conservateur grâce à leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes qui augmentent la durée de vie du produit. En outre, les huiles essentielles possèdent des caractéristiques odorantes significatives qui leur font des ingrédients très utilisés dans la formulation des produits cosmétiques. Les huiles essentielles de citronnelle, bois de cèdre, lavandin, patchouli, thym, origan sont les plus utilisées comme ingrédients en parfumerie ainsi que dans les produits cosmétiques (Fernandez et al., 2012).

Cependant, l'utilisation des huiles essentielles peut connaître des contre-indications car des concentrations plus élevées du pourcentage recommandé peut provoquer la génération des

odeurs très prononcées ou bien peuvent causer des réactions cutanées comme les allergies (André et Bettenfeld, 2012).

2-4-3 Industrie agroalimentaire

Les huiles essentielles sont très utilisées comme arômes alimentaires, aussi bien dans le secteur salé que sucré. Elles sont utilisées dans les préparations aromatisantes naturelles pour conférer une odeur et un goût aux denrées alimentaires (Mnayer, 2014). Bien que certaines substances chimiques trouvées dans les huiles essentielles ne puissent pas être ajoutées directement aux aliments, elles sont cependant autorisées lorsqu'elles sont apportées par le biais d'une huile essentielle en raison de leur occurrence naturelle dans ces composés aromatiques. Les huiles essentielles et leurs composants sont également utilisés comme arôme alimentaire et classées comme GRAS « généralement reconnu comme sains » (Mascret, 2010).

2-4-4 Pharmacologie et aromathérapie

L'aromathérapie signifie l'utilisation des huiles essentielles et des extraits aromatiques des plantes pour le traitement des maladies (Salvador, 2010). Les propriétés thérapeutiques des huiles essentielles sont connues depuis très longtemps, constituant la base de la médecine traditionnelle.

Dans les médicaments, le rôle des huiles essentielles dépasse l'aromatisation et la production d'antiseptique. Le potentiel thérapeutique de ces composés montre leurs bienfaits dans le traitement des différentes maladies (cancer, problèmes cardiovasculaires, infections bactériennes, virales, diabète et dans la lutte contre le stress oxydatif). De même, les propriétés lipophiles des composés aromatiques permettent aux huiles essentielles de pénétrer dans la peau, pour faciliter l'administration des médicaments par voie transdermique (Edris, 2007). Dans l'aromathérapie, les huiles essentielles et les autres extraits aromatiques, sont utilisés pour soigner, atténuer ou prévenir les infections par inhalation ou bien par application sur la peau à travers des massages pour le traitement du stress, des crampes, du rhumatisme, de la douleur, de la circulation sanguine, de la cellulite, etc. (Gérault et Mary, 2008).

2-5 Techniques d'extraction des huiles essentielles

Une fois la matière première végétale est identifiée, il convient d'utiliser une méthode d'extraction adaptée pour son obtention. Les huiles essentielles sont obtenues le plus souvent par distillation (Guenther, 1949).

2-5-1- Distillation-Evaporation

La distillation est un processus ancien connue depuis l'antiquité. Elle a été transmise par les Arabes. Elle permet la séparation de différentes substances liquides à partir d'un mélange en engendrant des réactions d'isomérisation, de saponification ou de polymérisation (Crouzet, 1998). La différence entre la distillation et l'évaporation, est l'intérêt porté aux produits séparés. Dans la distillation, c'est la phase vapeur qui a de la valeur car elle contient le ou les constituants à séparer, alors que dans l'évaporation, c'est le résidu solide ou liquide obtenu par vaporisation du solvant, qui est le produit intéressant (Peyron, 1992). La distillation avec vapeur d'eau est la principale technique de production des huiles essentielles. Deux groupes de techniques sont utilisés :

2-5-1-1- Entraînement à la vapeur

L'entraînement à la vapeur d'eau est une méthode de distillation récente dans laquelle la matière végétale n'est pas en contact direct avec l'eau. Dans cette technique, la vapeur d'eau surchauffée à des pressions supérieures à l'atmosphérique est produite dans une chaudière séparée, puis injectée à la base de l'alambic dans lequel se trouve la matière végétale. La vapeur remonte dans l'alambic et traverse la plante. De la même façon que dans l'hydro distillation, on assiste à un éclatement des cellules et à la formation d'un mélange azéotrope, récupéré en haut de la cuve et condensé (Lucchesi, 2005).

2-5-1-2- Hydro distillation

La distillation à la vapeur, ou hydro distillation (**Figure 7**) est la méthode d'extraction la plus simple, dans laquelle le végétal est en contact direct avec l'eau bouillante, ce qui évite d'agglutiner les charges végétales. Elle se produit dans un appareil de type Clevenger. Son principe consiste à chauffer la matière première végétale dans l'eau dans un alambic jusqu'à ébullition, l'eau bouillante pénètre dans les cellules végétales et solubiliser une partie de l'huile essentielle contenue dans les cellules de la plante, ensuite la vapeur d'eau chargé des substances volatiles de la plante diffuse à travers le tissu de l'organe végétal vers la surface extérieure. Cette vapeur est récupérée et condensée. L'huile essentielle constituée de ces différentes substances volatiles de densité plus faible que l'eau se sépare de l'eau à laquelle n'est pas miscible (Bousbia, 2011).

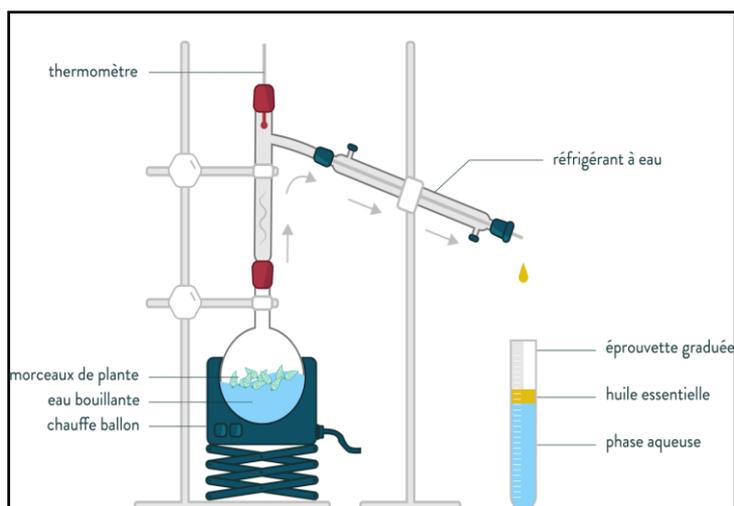


Figure 7 : Principe de l'hydro distillation (Mnayer, 2014)

L'application de la chaleur sur la matière végétale primaire permet l'éclatement des cellules et la libération des molécules volatiles. Un mélange azéotrope comprenant l'eau et les molécules volatiles est formé dont la température d'ébullition est proche des 100°C, alors que la température d'ébullition des molécules aromatiques seules est souvent très supérieure. La durée d'extraction de l'huile essentielle est variable d'une plante à une autre et peut atteindre plusieurs heures. Elle a une influence sur le rendement et la composition chimique finale de l'huile essentielle où l'hydro diffusion des composés volatils présents dans les tissus végétaux à travers les parois cellulaires constitue l'étape limitante du processus (Crouzet, 1998). En effet, certains composés lourds nécessitent un temps de chauffage plus long pour permettre une extraction satisfaisante. (Lucchesi, 2005).

2-6-Analyse des huiles essentielles

L'analyse des huiles essentielles consiste à identifier et quantifier la composition chimique par différentes méthodes analytiques spectroscopique et/ou chromatographiques. Ces méthodes ont permis d'avoir une connaissance plus approfondie sur les moléculaires présentes dans les huiles essentielles. De manière conventionnelle, l'étude de la composition chimique d'un mélange naturel complexe peut être réalisée selon différentes méthodes.

2-6-1- Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) a été développée en 1941 par Archer MARTIN et Richard SYNGE. La CPG est une méthode de séparation et d'analyse des composés gazeux volatiles susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans subir une décomposition. Elle permet la séparation comme les autres techniques chromatographiques par une suite d'équilibre entre une phase volatile (phase mobile qui entraîne les échantillons à

analyser) et une phase liquide (chromatographie de partage) ou solide (chromatographie d'adsorption) (Laforet, 2012). Dans la CPG, les temps de rétention peuvent donner une information sur la nature des molécules alors que, les aires des pics fournissent une quantification relative. Grâce aux progrès de l'instrumentation et la facilité d'emploi, cette technique d'analyse est la plus utile et la mieux adaptée dans le domaine des huiles essentielles aujourd'hui (Fernandez et Chemat, 2012).

Le principe de la chromatographie en phase gazeuse se base sur l'équilibre de partage des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. La séparation des analytes repose sur la différence d'affinité entre les composés pour la phase mobile et la phase stationnaire. Le mélange à analyser est ensuite vaporisé puis transporté à travers une colonne renfermant une substance liquide ou solide qui constitue la phase stationnaire. Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte, appelé « gaz vecteur », qui constitue la phase mobile (Teissier et Madet, 2004).

2-6-2 L'indices de rétention

L'identification d'une substance dans la chromatographie en phase gazeuse se base sur la connaissance de son temps de rétention qui est une valeur caractéristique pour une phase stationnaire donnée. Le temps de rétention de chaque composé varie en fonction des conditions expérimentales (nature et épaisseur de la phase stationnaire, programmation de la température, état de la colonne, etc.) ce qui provoque un manque de reproductibilité de temps de rétention d'un appareil à un autre ou d'une colonne à l'autre (Bicchi et *al.*, 2008).

Pour obtenir une meilleure information, Il a été suggérer d'utiliser des indices de rétention, mesurés sur les colonnes apolaire et polaire qui sont plus fiables que les temps de rétention. Wehrli et Kováts. (1959) ont proposé avec succès l'utilisation d'un indice de rétention (IK) qui dépend de la structure du composé. Cet indice est une donnée facilement accessible et mesurable avec précision, qui est indépendante des caractéristiques de l'appareil (paramètres de colonne) et n'est fonction que du soluté, de la température et de la phase stationnaire. L'indice de rétention d'un composé correspond au nombre d'atomes de carbone multiplié par 100 de la n – paraffine réelle ou hypothétique (un nombre d'atomes de carbone entier ou fractionnaire).

L'Indice de rétention (Kovats) est calculé par comparaison entre le temps de rétention (Tr) du composé étudié et celui d'une série d'alcane linéaires permettant un « étalonnage » du chromatogramme.

$$IK = 100 \times \frac{Tr(A) - Tr(Cn)}{Tr(C(n+1)) - Tr(Cn)}$$

IK : indice de rétention

TR (A) : temps de rétention du composé inconnu A.

TR (Cn) : temps de rétention de l'hydrocarbure à n atomes de carbone.

TR (Cn+1) : temps de rétention de l'hydrocarbure à n +1 atomes de carbones

2-6-3 Chromatographie phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse (CPG/MS)

Le couplage de la CPG/MS permet la séparation et l'analyse de différents constituants d'un mélange complexe en se basant sur deux types d'ionisation : ionisation par impact électronique (IE) et ionisation chimique (IC) (Constantin, 1996). En effet, le couplage CPG-SM en mode impact électronique (IE), dit CPG-SM(IE), est la technique d'analyse la plus utilisée dans le domaine des huiles essentielles. Le principe de la spectrométrie de masse consiste à bombarder à l'aide d'électrons une molécule qui sera fragmentée. Ces différents fragments chargés positivement constituent le spectre de masse de la molécule. Dans cette technique, l'identification d'un composé se fait en comparant son spectre à ceux contenus dans des bibliothèques de spectres informatisées ou sous format papier construites au laboratoire ou commerciales (Adams, 2001) En général, l'utilisation conjointe de la spectrométrie de masse et des indices de rétention calculés sur deux colonnes de polarité différente en CPG, a permis l'identification d'un grand nombre de constituants dans les huiles essentielles (Liang et al., 2004 ; Maia et al., 2004).

2-7- Composition chimique des huiles essentielles du *Rhus*

En général, le rendement en huile essentielle du *Rhus* est relativement faible, souvent inférieur à 1% (Morshedloo et al., 2018). L'étude de la composition chimique des huiles essentielles du *R. tripartita* a révélé que les feuilles renferment des quantités significatives d'huile essentielle, atteignant $1,1 \pm 0,03\%$. En revanche, une quantité beaucoup plus faible, soit seulement $0,04 \pm 0,002\%$, est présente dans les fruits (Jallali et al., 2022).

La composition chimique des huiles essentielles du genre *Rhus* est très variable (Tableau 4). L'enquête sur la composition chimique de l'huile essentielle du *Rhus tripartita* en Tunisie a montré que l'huile essentielle des feuilles est dominée par les monoterpènes (77,72 %) et les sesquiterpéniques (16,99 %) hydrocarbonés ; avec la présence de l' α -pinène, le (δ)-3-carène, l' α -terpinolène et le bicyclogermacrène comme composants majoritaires.

Alors que, dans l'huile essentielle obtenue à partir des fruits la proportion des sesquiterpènes oxygénés est importante (13,56%), avec viridiflorol comme composant majoritaire de cette classe. L' α -pinène reste le composant majoritaire dans les huiles essentielles des feuilles et des fruits (Jallali et al., 2022).

Une étude menée en Sicile sur les huiles essentielles de fruit du *Rhus coriaria* isolée à partir des échantillons collectés de quatre sites différents a révélé que les monoterpènes hydrocarbonés (avec 42,1 à 59,9 %) représentés principalement par l' α -pinène, le β -caryophyllène et le δ -cadinène sont identifiés comme les principaux constituants volatils dans Cinisi et Castronovo di Sicilia.

Alors que dans les populations de Chiaramonte Gulfi et Monterosso Almo, les composés non terpéniques ont été prédominés avec un taux de 27,5 % et 55,1 % respectivement. Les aldéhydes représentés principalement par le nonanal (7-10,7%), (E)-2-décénale (8,5-11%), (Z)-2-heptanale (7,3-9,7%), para-anisaldéhyde (20,8%) sont les composants majoritaires de cette huile essentielle. Cette variation de la composition chimique est probablement due à l'influence des conditions climatiques. En effet, la région de Chiaramonte Gulfi est caractérisée par un bioclimat thermo méditerranéen sec. Tandis que, les autres régions présentent un climat thermo méditerranéen subhumide (Giovanelli et al., 2017). Les analyses des huiles essentielles de fruit du *Rhus coriaria* d'Iran, ont permis l'identification du (E)-Caryophyllène (5,9–50,3%), le n-nonanal (1,8-23,3%), le cembrène (1,9-21,7%), l' α -pinène (0,0-19,7%), le (2E,4E)-décadiénal (2,4-16,5%) et l'acide nonanoïque (0-15,8%) comme les principaux constituants des huiles essentielles (Morshedloo et al., 2018). Les populations étudiées ont été regroupées en cinq chémotypes différents :

Chémotype I ((E)-caryophyllène), populations de (Tehran, Tovrivar, Pagelan).

Chémotype II ((E)-caryophyllène/ α -pinène), populations de (Kharw, Kashmar, Maragheh,).

Chémotype III ((E)-caryophyllène/cembrène), populations de (Arasbaran, Gonabad, Golbaf).

Chémotype IV (acide nonanoïque/cembrène), population de (Yazd).

Chémotype V (n-nonanal/(2E,4E) -décadiénal), population de (Torbat jam)

En Chine l'huile essentielle du *R. chinensis* est riche en acide hexadécanoïque (42,39%), acide myristique (7,08%) n-heptacosane (6,33%) phytol (5,43 %) (Zhu et al., 2007)

Tableau 4 : Composition chimique de l'huile essentielle du *Rhus*

Constituants	<i>R. tripartita</i>		<i>R. coriaria</i>														<i>R. chinensis</i>	
	Tunisie (Jallali et al., 2022)		Sicile (Giovannelli et al., 2017)				Iran (Morshedloo et al., 2018)										Chine (Zhu et al., 2007)	
	Feuille (%)	Fruit (%)	Fruit (%)															Feuille (%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
α -pinène	21.78	6,7	26	7,9	0,7	4,8	7	6,2	3,8	13,7	19,7	7,8	2,5	5,4	0,2	2	2,3	0
β -pinène	3.89	1.11	2	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Myrcène	1.59	1.04	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α -phellandrène	0.46	0	0	0	0	0	0,3	0,1	0	0,1	0	0	0	0,1	1,7	1,5	0	0
Δ^3 -carène	18.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α -terpinène	1.79	17.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limonène	7.23	0.78	3,4	1,2	0,4	2,8	1,2	1,1	0,8	2,2	3,6	1,1	0,7	1,5	0	0,3	0	0
β -ocimène-Z	1.75	7.72	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
β -ocimène-E	0.35	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
δ -terpinène	3.93	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terpinolène	14.39	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Linalool	0	11.71	0,6	0,3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nonanal-n	0	0	17,7	11,7	25,1	9,8	11,7	2,5	2,7	4,2	4,4	5,2	3,5	1,8	5,3	3,3	23,3	0
Caryophyllène(Z)	0.61	0.39	0,7	6,8	0	0	39,8	50,3	45,7	28,2	22,1	32	20,7	30	17,3	5,9	6,1	0
α -humulène	0	0.71		0,8	0	0	2,8	3,5	3,9	2,6	2	2,4	2,2	2,9	1,9	0,5	0,4	0
δ -muuroène	0	0	0,4	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
δ -cadinène	0.58	1.44	0,5	4,2	0	0	0,1	0,2	0,4	1,8	0,3	0,5	1,5	0,6	0,6	1,2	0	0
Caryophyllène oxide	0	0	0	2,8	0	0	1,4	2,1	4,1	2,2	2,7	5,3	0,6	2,2	6,6	0,6	0,9	0
Muurolool epi	0	1.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thymol methyl ether	1.55	1.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geranio	1.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Citronellyl formate	0.34	1.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
β -Maaliène	0	2.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viridiflorène	0.49	4.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicyclgermacrène	9.82	9.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
β -Bisabolène	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ -Badinène	0	4.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
δ -Guaiène	0.49	2.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Palustrol	0	2.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spathulenol	0	1.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eudesm-5-en-11-ol	0	5.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
τ -Cadinol	0	2.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isospathulenol	0	1.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hexanal	0	0.46	1,5	0,3	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Z)-2-Heptenal	0	0	0	0	0,3	5,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6-methyl-5-Hepten-2-one	0	0	0,9	2,2	0,7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Octanal	0	0	0,9	1,1	1,3	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,8-Cineole	0	0	0	0,4	0,3	5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenchone	0	0	1,2	1	0,4	20,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camphor	0	0	0,9	0,7	0,3	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(E)-2-Nonenal	0	0	1,8	1,4	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isomenthone	0	0	0,8	0,6	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Decanal	0	0	3,3	4,6	1,4	11,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulegone	0	0	0,3	0,2	0	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Anisaldehyde	0	0	0	0	28,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(E)-2-Decenal	0	0	0,3	0	0,4	0,2	0	0,5	0	0,7	0	1,1	0,9	0,9	5,2	0	7,6	0
Nonanoic acid	0	0	0,5	0	0,8	0	2,8	1,1	1,7	1,7	1,4	2,9	6,4	1,4	7	15,8	0	0
Isobornyl acetate	0	0	0,9	0,5	0,3	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cis-2,3-Pinenediol	0	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α -copaène	0	0	1,7	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n-Tetradecane	0	0	1,7	0,4	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(E)-Geranylacetone	0	0	0,9	3	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
β Selinène	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valencène	0	0	2,4	0	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α Muuroène	0	0	0	0	6,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
trans-Cadinène	0	0	1,4	0,3	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n-Octadecane	0	0	0	0,2	0,3	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Anisaldehyde	0	0	0	28,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2E,4E)-decadienal	0	0	0	0	0	0	5,4	8,1	6,1	3,7	6,8	7,9	8,7	3,7	8,8	2,4	16,5	0
Cembrène	0	0	0	0	0	0	1,9	6,6	8,6	5,7	4,9	5,8	19	20	12,1	15,8	4,9	0
(3E)-Cembrène A	0	0	0	0	0	0	0,7	0,5	1,6	0,7	0,5	0,8	1,8	1,3	1,4	7	2,5	0
(5E,9E)-Farnesyl acetone	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,6	0,7	0,8	3,9	1,3	0
trans-Pinocamphone	0	0	0	0	0	0	1,9	0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	0,9	0,4	0,9	4,5	3,5	0
α -Terpinyl acetate	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2,5	0,7	0
(2E)-undecenal	0	0	0	0	0	0	1,1	0,8	1,3	0,5	1,1	1,6	1,1	2,2	6,4	2,7	2,7	0
1-epi-Cubanol	0	0	0	0	0	0	0,6	0,4	0,1	1,7	0,7	0,6	1,3	0,6	0,8	1,9	0,4	0
(2E,4Z)-decadienal	0	0	0	0	0	0	2,3	3,6	2,5	2	3,1	3	3,5	2	2,6	0,8	6,5	0
(3Z)-Cembrène A	0	0	0	0	0	0	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,7	1,3	1,3	1	1,3	0,6	0
n-Decanal	0	0	0	0	0	0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	1,6	1,1	0,6	0
2-Pentenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73
2-Hexenal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
3-Hexenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,56
2-Hexenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,87
Hexanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
Octen-3-ol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16
Hexanoic acid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64
Benzèneacetaldehyde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,01
3,5-Dimethyloctane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83
3,5-Dimethyloctène	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14
n-Undecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42
b-Linalool	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92

<i>n</i> -Nonanal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,62
<i>p</i> -Menthenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83
Dimethyl undecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,21
Trimethyl undecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12
Eugenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21
Dimethyl dodecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48
Pentadecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57
Trimethyl dodecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
<i>trans</i> -Nerolidol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99
d-Cadinol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,93
Epiglobulol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,84
Pentadecanal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,17
Myristic acid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,08
Tetramethylpentadecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,75
Hexahydro farnesyl acetone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,47
Tetramethyl hexadecane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,99
Farnesyl acetone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13
Isophytol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,67
Hexadecanoic acid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,39
<i>n</i> -Heptacosane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,33
Hexacosane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,48
Phytol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,43

1- Castronovo di Sicilia, 2- Chiaramonte Gulf, 3- Monterosso Almo, 4- Cinisi, 5-Tehran, 6- Tovrivar, 7- Pagelan, 8- Kharw, 9- Kashmar, 10- Maragheh, 11- Arasbaran, 12- Gonabad, 13- Golbaf, 14- Yazd, 15- Torbat jam

2-8- Activités biologique du *Rhus tripartita*

Le *Rhus tripartita* est largement utilisé en médecine moderne en raison de sa forte teneur en polyphénols, flavonoïdes, pro anthocyanidines et autres composés phytochimiques. La consommation des aliments riches en composés phénoliques peut réduire le risque des maladies humaines telles que le cancer, l'inflammation, les maladies immunitaires et cardiovasculaires (Romagnolo et Selmin, 2012).

Tableau 5 : Activités biologiques du *R. tripartita*

Extrait	Activités biologique	Auteur
Extrait méthanolique des feuilles et écorces de la tige	Hypoglycémiant et anticonvulsivant, Agent antitumorigène	Chetoui et <i>al.</i> , 2013
Extrait acétonique aqueux des écorces de la racine	Agent puissant antiviraux et anti-VIH	Tebourbi et <i>al.</i> , 2006
Extraits hydrométhanolique des tiges et des racines	Gastroprotecteur, cardioprotecteur, hépatoprotecteur et une grande capacité dans le traitement de l'ulcère gastrique	Alimi et <i>al.</i> , 2013 ; Barka et <i>al.</i> , 2016 ; Miled et <i>al.</i> , 2017
Extrait méthanolique des tiges	Inhibiteur de la cyclooxygénase (Cox-2) et l'acétylcholinestérase Agent prophylactiques naturels contre les maladies neuro-inflammatoires comme l'Alzheimer	Shahat et <i>al.</i> , 2016 ^a
Extrait alcoolique de la partie aérienne	Anticancérigènes, antithrombotiques, antiinflammatoires, antinéphritiques, antimicrobiennes et des propriétés préventives du cancer du sein	Wang et <i>al.</i> , 2005 ; Chung et <i>al.</i> , 2010 ; Abbassi et <i>al.</i> , 2012 ; Shahat et <i>al.</i> , 2016 ^b ; Ben Barka et <i>al.</i> , 2019

2-9 Activité Antimicrobienne

Le potentiel antimicrobien du *R. tripartita* a été démontré par plusieurs études, contre un large spectre de micro-organismes. Les parties aériennes du *R. tripartita* ont présenté une activité antibactérienne significative contre *Staphylococcus aureus* résistante à la méthicilline, *Bacillus subtilis* (Habibi et *al.*, 2015^a ; Bereksi et *al.*, 2018), *Candida albicans* (Abassi et Hani, 2012), *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella argenosa* (Ben barka et *al.*, 2016), *Pseudomonas aeruginosa* (Habibi et *al.*, 2015^b), *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae* et *Enterococcus faecalis* (Benaïssa et *al.*, 2018). L'extrait hydrométhanolique du *R. tripartita* a montré un grand potentiel d'activité antimicrobienne contre les souches *Bacillus cereus* et *Listeria monocytogènes* (bactéries Gram positives) tandis que, pour les champignons, la zone d'inhibition maximale a été enregistrée contre *Aspergillus niger* (Ben barka et *al.*, 2019).

L'activité antibactérienne des huiles essentielles est variable, d'une huile à l'autre, et selon la souche bactérienne (Oussou, 2009; Avlessi, 2012). L'activité antimicrobienne est principalement en fonction de la composition chimique, et en particulier de la nature des composés volatils majoritaires. L'activité de ces molécules dépend, à la fois, du caractère lipophile de leur squelette hydrocarboné et du caractère hydrophile de leurs groupements fonctionnels. Les molécules oxygénées sont généralement plus actives que les hydrocarbonées (Sipailiène et *al.*, 2006).

Les huiles essentielles du *R. tripartita* agissent aussi bien sur les bactéries à Gram positif que les bactéries à Gram négatif. Toutefois, les bactéries à Gram négatif paraissent moins sensibles à l'action de l'huile essentielle et ceci est directement lié à perméabilité de leur paroi cellulaire (Burt, 2004).

Rhus tripartita est largement utilisée dans l'alimentation et en médecine moderne et traditionnelle. Les produits issus du métabolite secondaire, en particulier les produits phénoliques, présentent une activité antibactérienne importante (Abbassi et hani, 2012).

Les composés antimicrobiens des plantes peuvent inhiber la croissance microbienne par différents mécanismes. Des études antérieures ont démontré que les flavonoïdes ont la capacité d'inhiber la germination des spores des agents pathogènes des plantes. D'autre part, les tanins sont capables d'inhiber les enzymes microbiennes extracellulaires de dériver des substrats nécessaires à la croissance microbienne (Cushnie et Lamb, 2005). Les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes peuvent également conférer aux huiles essentielles leurs propriétés antibactériennes (Al-Zoreky, 2009).

L'activité antimicrobienne observée chez *R. tripartita* est due à ces teneurs élevées en composés phénoliques comme les flavonoïdes et les tanins condensés, qui sont connus pour être des agents antibactériens et antifongiques (Olchowik-Grabarek et *al.*, 2014).

2-10 Activité antioxydant de *Rhus tripartita*

L'activité antioxydant d'un composé correspond à sa capacité à résister, prévenir, retarder et réduire l'ampleur de la destruction oxydante des biomolécules (Berger, 2006). Les antioxydants les plus connus sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol, la quercétine, la rutine et le Picnogénol. De nombreuses méthodes physicochimiques sont utilisées pour évaluer l'activité antioxydant des extraits naturels. Tenant compte de la nature diversifiée des antioxydants et la complexité des processus d'oxydation l'activité antioxydant d'un composé diffèrent d'un test à l'autre (Chemat et *al.*, 2007). L'activité antioxydant peut être évaluée soit par des méthodes directes en dosant des produits formés (les

hydroperoxydes par exemple), soit par des méthodes indirectes où l'efficacité d'un antioxydant est révélée en mesurant sa capacité à piéger des radicaux libres grâce à l'utilisation de sonde intermédiaire (Shahidi et Zhong, 2005).

Les métabolites secondaires tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tanins présents dans toutes les parties des plantes telles que les feuilles, les graines, les tiges, les racines et les fruits, sont connus pour être de puissants piègeurs des radicaux libres et des inhibiteurs de la peroxydation des lipides (Mathew et Abraham, 2006).

L'huile essentielle de *R. tripartita* de Tunisie obtenue à partir des feuilles est caractérisée par la dominance des monoterpènes (77,72%) et sesquiterpènes hydrocarbonés (16,99%). Cette huile a représenté une activité antioxydant moyenne. Tandis que l'huile essentielle obtenus à partir des fruits est caractérisée par la dominance des monoterpènes et sesquiterpènes oxygénés qui offrent à l'huile une activité antioxydante puissante (Jallali et al., 2022). L'activité antioxydante déterminée peut être également liée à la présence de l' α -pinène qui agit comme piègeur de radicaux libres (Gundidza et al., 2008)

Les extraits méthanoliques des feuilles, racines et tiges du *R. tripartita* ont montré une capacité importante de piégeage des radicaux DPPH avec des valeurs d'IC₅₀ de 19,33 ± 0,42 µg/ml ; 20,81 ± 0,36 µg/ml et 31,18 ± 0,39 µg/ml respectivement. Ces extraits du *R. tripartita* ont présenté un taux élevé de phénols, de flavonoïdes et de tanins condensés (Ben Barka et al., 2019). Ben Miled et al. (2017) ont mis en évidence la richesse d'un extrait polaire (eau et méthanol) de racines de *R. tripartita* en composés phénoliques. Ces extraits ont des activités antioxydants fortes. Les propriétés antioxydants des composés phénoliques proviennent de leur forte réactivité en tant que donneurs d'hydrogène ou d'électrons (Chanda et Dave, 2009). Le pouvoir réducteur pourrait servir de reflet significatif de l'activité antioxydant (Oktay et al., 2003).

L'extrait n-butanol de l'écorce des racines du *R. tripartita* a été évalué pour sa capacité antioxydant à l'aide de deux méthodes DPPH et FRAP. Les résultats ont révélé que les deux extraits possèdent une capacité antioxydant et antiradicalaire très significative avec une IC₅₀ = 0,008 mg/ml et IC₅₀ = 0,844 mg/ml respectivement (Rekik et al., 2022).

Les propriétés antioxydants des extraits méthanolique de *R. tripartita* d'Arabie saoudite ont été évaluées par différentes méthodes in vitro. Ces extraits ont présenté une capacité antioxydante plus puissante que les composés de référence, la vitamine C et le BHT. Ils ont éliminé les radicaux d'oxyde nitrique, les radicaux DPPH et les radicaux anion superoxyde (Shahat et al., 2016b).

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel et méthodes

1-Matériel végétal

Le *Rhus tripartita* est un arbuste avec des branches épineuses et des petites feuilles lancéolées et découpées en trois lobes sur les marges. C'est une plante dioïque (**Figure 8**), avec de petites grappes de fleurs jaunâtre. *R. tripartita* est une espèce qui se trouve principalement dans les oueds caillouteux, les ravins rocheux, les rochers des montagnes et parfois dans les régions de reg et sur les falaises. (Quézel et Santa, 1962 ; Benaïssa et *al.*, 2018).

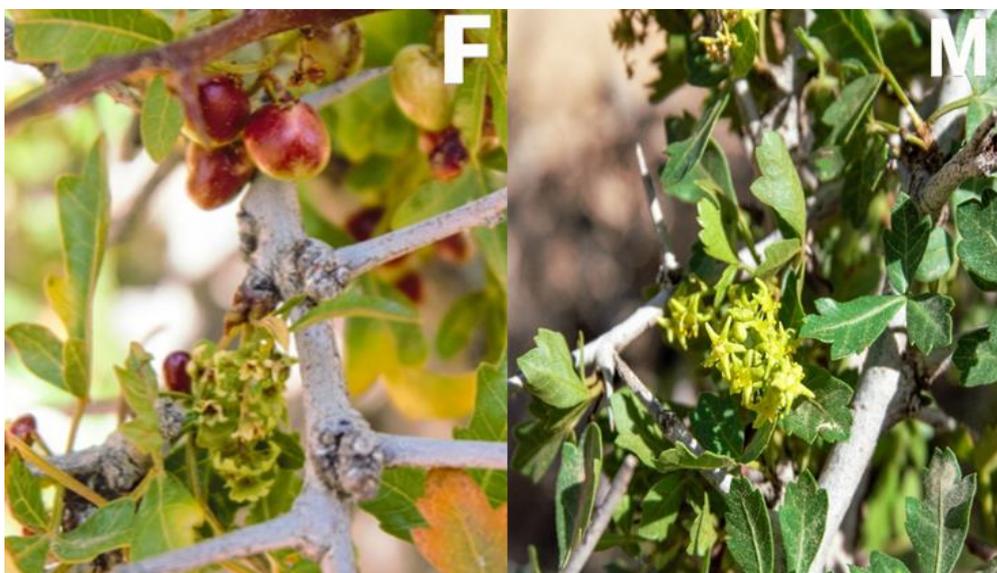


Figure 8 : *R. tripartita* de M'sila (F= Arbre femelle, M= Arbre Mâle) (Benlembarek, 2020)

1-2- Zone d'étude

Les parties aériennes du *R. tripartita* (Feuilles, tiges, inflorescences) ont été récoltées, en Février et Mars 2020, pendant le stade de floraison de sept localités de l'Est et du Sud Algérien (**Figure 9**). L'identification de l'espèce a été faite par le Pr. Lograda T. De chaque station, des populations mâles et femelles du *R. tripartita* ont été échantillonnées séparément. Les coordonnées géographiques des stations sont mentionnées dans le tableau 6. Le matériel végétal frais est découpé en petites morceaux, séchés à l'abri de la lumière et de la chaleur en vue d'en extraire les huiles essentielles. Des échantillons témoins, sont conservés au laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles.

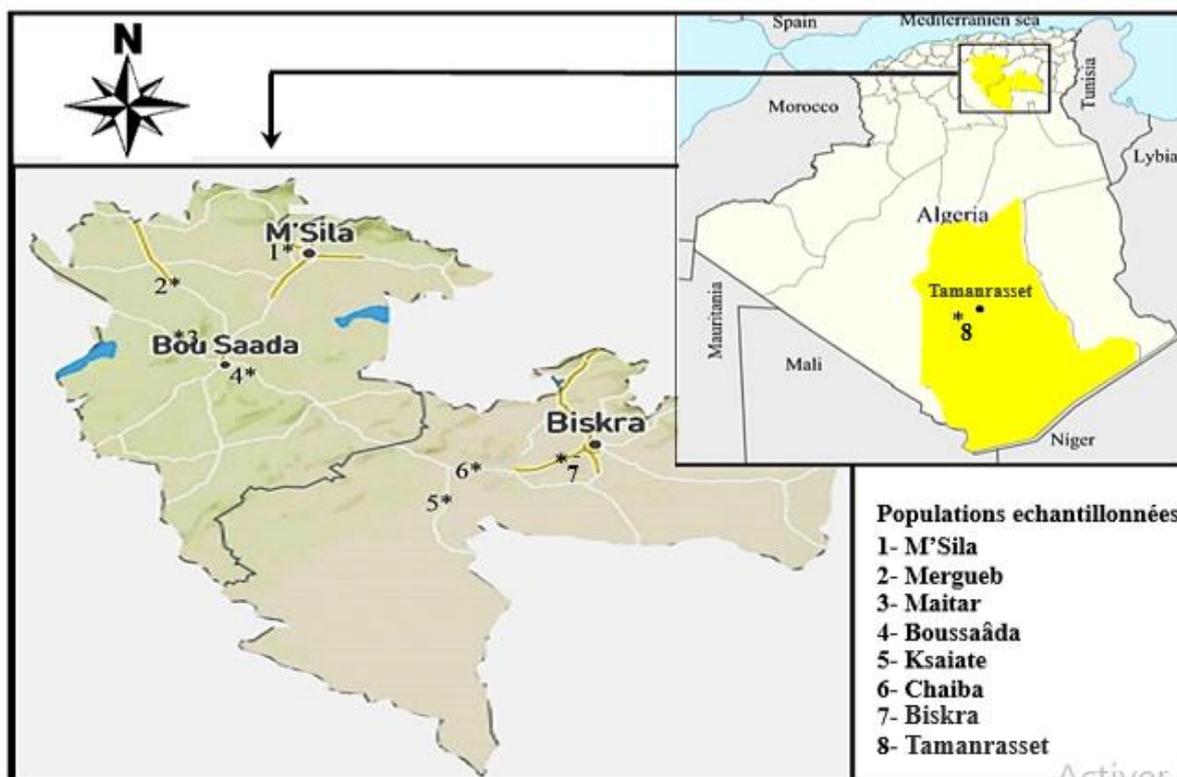


Figure 9 : Zone d'échantillonnage des populations du *R. tripartita*

Tableau 6 : Cordonnées géographiques des stations échantillonnées

Localité		Populations	Longitude E	Latitude N	Altitude (m)
M'Sila	1.	M'sila F M'sila M	4°35'04"	35°49'	622 619
	2.	Mergueb F Mergueb M	3°57'22"	35°35'51"	630 628
	3.	Maïtar F Maïtar M	4°06'42"	35°35'51"	610 604
	4.	Boussaâda F Boussaâda M	4°09'52"	35°11'37"	596 590
Biskra	5.	Ksaïate M Ksaïate F	4°42'08"	34°49'18"	784
	6.	Chaïba F Chaïba M	4°56'38"	34°49'39"	417 416
	7.	Biskra F	5°48'35"	35°17'80"	583
Tamanrasset	8.	Tamanrasset M	5°28'98"	24°24'17"	1140

2-Méthodes

2-1 Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles des populations du *R. tripartita* a été réalisé par Hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger. La technique d'extraction est basée sur le pouvoir de vapeur d'eau à transporter les huiles essentielles (**Figure 10**).



Figure 10 : Extraction des huiles essentielles par hydrodistillation (Dispositif de type clevenger)

L'opération consiste à introduire une quantité de 300 g, de matière végétale séchée et coupée en petits morceaux, dans un ballon et on y ajoute une quantité de 3 litres d'eau distillée. Le mélange est porté à ébullition, les vapeurs chargées des huiles essentielles passent à travers le tube vertical et monte dans le montage jusqu'à un condensateur. Les gouttelettes d'huile qui s'accumulent dans le tube rempli auparavant d'eau distillée, retombe dans la petite burette. L'huile flotte sur l'eau, qui est pour sa part progressivement renvoyée dans le ballon chauffé par le conduit en diagonale. L'opération d'extraction dure trois heures à partir du début d'ébullition. L'huile ainsi obtenue est récupérée et séchés avec du Sulfate de Sodium anhydre et conservée dans des flacons opaques bien scellés à température basse (4 à 5°C).

2-1-1- Rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est défini selon la norme AFNOR (1986), comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle extraite et la masse de la matière végétale sèche utilisée. Il est exprimé en pourcentage et calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = \frac{M_{HE}}{M_{MV}} \times 100$$

R : Rendement (%).

M_{HE} : Masse de l'huile essentielle extraite en (g).

M_{MV} : Masse de matière végétale séchée en (g).

2-2 Analyse physico-chimique de l'huile essentielle

L'analyse physico-chimique des huiles a été réalisée au Laboratoire de chimie des Hétérocycles et des Glucides à l'École d'Ingénieur SIGMA, Institut de Chimie, équipe Chimie Organique et Médicinale, Clermont-Ferrand (France).

Les huiles essentielles sont analysées par la chromatographie phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM). L'analyse a été réalisée sur deux colonnes capillaires de polarité différente, afin d'avoir une meilleure précision possible dans l'identification des constituants. La chromatographie en phase gazeuse (CPG), nous a permis de séparer et de quantifier les composés chimiques. Le couplage à la spectrométrie de masse nous a permis, de déterminer les composés en se basant sur la masse des composants.

Les huiles essentielles de *R. tripartita* ont été d'abord analysées par un chromatographe en phase gazeuse Hewlett-Packard modèle 7890 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (CPG/FID) avec une colonne Apolaire. Ensuite, la chromatographie en phase gazeuse couplée à des spectres de masse sont réalisées sur un détecteur de spectrométrie de masse 5975C utilisant la même colonne que celle de GC-FID. Les spectres GC-MS sont obtenus en utilisant les conditions suivantes

- Colonne Apolaire : DB5 MS : 40 m 0.18 mm 0.18 µm
- Gaz vecteur : Hélium : 1mL/min
- Energie d'ionisation : 70eV
- Température de l'injecteur : 250°C
- Température du détecteur : 280°C
- Programmation du four : 50°C pendant 5min, 5°C/min de 50°C à 300°C ,5min à 300°C
- Injecteur mode split 1/ 100
- Chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme.
- CPG/FID : Chromatographe Hewlett-Packard HP 6890 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme.

L'identification des composants a été basée sur la comparaison de leurs spectres de masse et de leurs IK (Indice de rétention) avec ceux de la banque de spectres de masse de l'Institut

National Américain des Normes et de la Technologie (NIST, 2002) et ceux décrits par la base des données Adams (2007) ainsi que sur la comparaison de leurs indices de rétention avec ceux des composés authentiques ou avec des valeurs de la littérature.

2-3 Evaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles

2-3-1-Méthode de diffusion sur disque (l'aromatogramme)

L'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *R. tripartita* a été réalisée sur un milieu gélosé en utilisant la méthode de diffusion de disque (Aromatogramme) sur des espèces bactériennes de référence.

Le principe de cette méthode est basé sur la disposition des disques en papier chromatographique de 6 mm de diamètre préalablement stérilisés, sur la surface d'un milieu gélosé uniformémentensemencé avec une culture bactérienne pure. Les substances (antibiotique ou huiles) diffusent à partir du disque au sein de la gélose. L'activité biologique se manifeste par l'apparition d'un halo d'inhibition de la croissance microbienne autour du disque contenant l'huile essentielle. La lecture s'effectue par la mesure du diamètre d'inhibition observé (**Figure 11**). Plus le diamètre de cette zone est grand, plus l'espèce bactérienne est sensible à l'huile essentielle.

2-3-2 Souches bactériennes utilisées

L'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de l'espèce *R. tripartita* a été réalisé sur sept souches bactériennes référenciés qui sont obtenues à partir de l'Institut Pasteur d'Alger et de M'Sila et du laboratoire de microbiologie du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Sâadna Abdenour de Sétif (**Tableau 7**). Les souches ont été conservées à 5°C dans des tubes stériles contenant 10 ml de milieu de culture incliné. Les antibiotiques ; Gentamicine (GENT), Cefotaxime (CTX), Colistin sulfate (CS) imipinem ont été utilisés comme témoin positif.

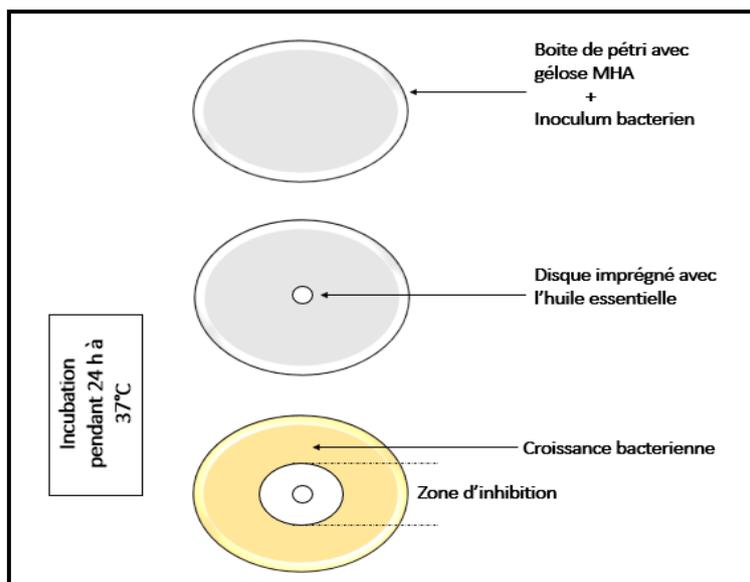


Figure 11 : Principe de la méthode d'aromatogramme

Tableau 7 : Souches bactériennes utilisées dans le teste de l'activité antibactérienne

Souches bactériennes	
Gram positif	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923
	<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 51299
	<i>Staphylococcus aureus</i> MRSA ATCC 43300
	<i>Bacillus cereus</i> ATCC 11778
Gram négatif	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922
	<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 35659
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603

2-3-3 Préparation des milieux de culture

La gélose Mueller Hinton a été utilisée pour l'évaluation de l'activité antibactérienne. C'est un milieu de référence non sélectif qui comporte des ions favorables pour une bonne diffusion des antibiotiques. La gélose de Muller Hinton a été préparé, stérilisé et coulée dans des boîtes de pétrie stériles de 90 mm de diamètre, avec une épaisseur de 2 mm. Les boîtes sont disposées sur une surface plane pour assurer une bonne uniformisation de la surface de gélose et laisser séchées à une température ambiante.

2-3-4 Préparation de l'inoculum

Les bactéries à tester ont été revivifiées dans un bouillon nutritif à 37°C pendant 24 heures, puis elles ont été entretenues par repiquage sur une gélose nutritive favorable à leur

croissance et elles ont été incubés à l'obscurité à 37°C pendant 24h, afin d'obtenir des colonies jeunes et bien isolées. Des colonies bactériennes bien isolées et parfaitement identiques ont été prélevées à l'aide d'une anse de platine, puis émulsionnées dans un tube contenant 5 ml d'eau physiologique stérile à 0,9% de NaCl, en agitant au vortex. La densité optique de la suspension bactérienne est ajustée au standard McFarland 0,5 (mesurés par spectromètre entre 0,08 et 0,1 à 625 nm). L'inoculum ainsi préparé ne doit pas être utilisé au-delà de 15 minutes.

2-3-5 Ensemencement

L'ensemencement des bactéries est effectué par écouvillonnage. L'écouvillon est introduit dans la suspension bactérienne préalablement préparée puis essoré contre les parois. Les bactéries sont étalées avec l'écouvillon sur la totalité de la surface gélosée, sèche, de haut en bas, en stries serrées dans un mouvement de zigzag en tournant la boîte à environ 60°, après chaque application pour obtenir une distribution égale de l'inoculum. Cette méthode d'ensemencement assure une distribution homogène des bactéries. Il faut charger l'écouvillon pour chaque boîte.

2-3-6 Préparation et dépôts des disques

Des disques stériles (papier de chromatographie) de 6 mm ont été placés sur la boîte gélose précédemment ensemencée, à l'aide d'une pince flambée au Bec Bunsen. Les disques sont chargés avec 10 µl de solution mère (huile essentielle pure) ou huile essentielle diluée au DMSO (dimethylsulfoxyde) (1/2, 1/3 v/v de DMSO). Le DMSO est ainsi utilisé comme témoin négatif. La boîte gélosée préparée est maintenue à une température ambiante pendant 30 mn pour permettre la pré-diffusion. Ensuite, elle a été incubée à 37°C pendant 24 heures.

Des antibiogrammes (témoins positifs) sont effectués en parallèle avec les aromatogrammes. Le test a été réalisé en triplicata. La lecture des résultats se fait par la mesure des diamètres d'inhibition (ou les diamètres des halos clairs autour des disques). La sensibilité des bactéries aux huiles essentielles est classée par le diamètre des halos d'inhibition selon l'échelle de Ponce et *al.*, (2003) en :

Diamètre d'inhibition	Sensibilité des souches
> 20 mm	+++ Extrêmement sensible
15-19 mm	++ Très sensible
9-14 mm	+ Sensible
< 8 mm	- Non sensible

2-4 Evaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles

La méthode de contact direct sur gélose décrite par Znini et *al.*, (2011) a été utilisée pour déterminer l'activité antifongique des huiles essentielles de *R. tripartita*. Les champignons et les levures, *Candida albicans* (ATCC 10231), *Alternaria alternata*, *Fusarium gramineum*, *Fusarium solani* et *Phytophthora infestans*, utilisés dans cette étude ont été fournis par le laboratoire de Microbiologie de l'institut de Pasteur (Annexe de M'Sila) et du laboratoire de microbiologie (Université Ferhat Abbas – Sétif 1).

Des boîtes de Pétri de 90 mm ont été remplies avec 20 ml de milieu de gélose PDA (dextrose de pomme de terre). Par la suite, des disques mycéliens de 6 mm de diamètre, ont été découpé d'une culture âgée de 7 jours des champignons testés et placés dans chaque boîte de Pétri. Des disques de papier chromatographique préalablement stérilisé, de 6 mm de diamètre sont déposés à la surface de la gélose après avoir été imprégnés avec 10 µl d'huile essentielle pure ou huile essentielle diluée avec DMSO (1/1, 1/2, 1/3 v/v).

D'autres boites de pétrie ensemencé par des disques de mycélium en absence de l'huile essentielle sont utilisés comme témoin. Les boites sont ensuite fermées avec du para film et l'incubation a été réalisée à 25°C pendant trois jours pour la levure (*Candida albicans*) et sept jours à 28°C pour les champignons (*Alternaria alternata*, *Fusarium gramineum*, *Fusarium solani* et *Phytophthora infestans*). Les essais sont réalisés en trois répétitions et l'activité antifongique de l'huile essentielle est exprimée en pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne (I %) dont :

$$I (\%) = \frac{Gt - Ge}{Gt} \times 100$$

Gt : Diamètre moyen de la colonie fongique témoin.

Ge : Diamètre moyen de la colonie fongique traité par l'huile essentielle

2-5 Evaluation de l'activité antioxydant des huiles essentielles

L'activité antioxydant de l'huile essentielle de *R. tripartita* a été réalisée par le test de piégeage des radicaux libres par la méthode DPPH (2,2- diphényle -1- picrylhydrazyle).

Ce test permet d'une façon simple d'évaluer la capacité antiradicalaire d'un antioxydant. Il consiste à mesurer la capacité réductrice d'un antioxydant à piéger le radical relativement stable, 1,1Diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH). Ce radical libre très stable à l'état cristallin et en solution présente une coloration violette. La réduction du DPPH est faite par un donneur d'atome H (AH) conduit à la formation de 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine qui (DPPH-H) porte une coloration jaune (**Figure 12**).

Plus un composé est capable de céder son atome d'hydrogène, plus celui-ci est efficace en tant qu'antioxydant. Le potentiel antioxydant d'un échantillon est souvent exprimé par le paramètre IC_{50} qui correspond à la concentration d'antioxydant nécessaire pour réduire la concentration initiale de DPPH à 50%. Plus l' IC_{50} est faible, plus la molécule est antioxydant.

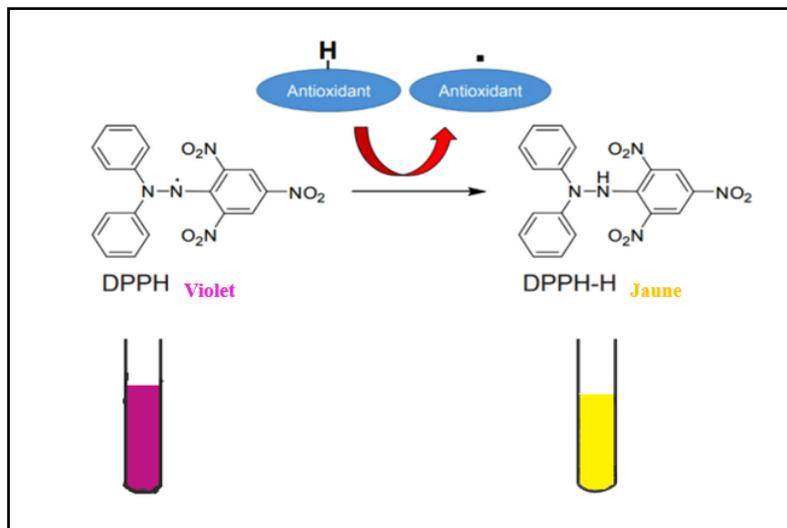


Figure 12 : Mécanisme de réduction du radical libre DPPH par un antioxydant.

2-5-1 Mode opératoire

L'activité antioxydant de l'huile essentielle de *R. tripartita* a été mesurée par la méthode DPPH décrite selon le protocole d'Archana et *al.*, (2005).

400 μ L d'huile essentielle sont mélangées avec 400 μ l de méthanol à différentes concentrations (1/1 ; 1/2 ; 1/4 ; 1/8 ; 1/16 ; 1/32 et 1/64). Puis à chaque concentration, un volume de 2900 μ l de solution méthanolique de DPPH est ajouté (4 mg / 100 ml de méthanol équivalent à 0,004%). Les mélanges sont agités au vortex et incubés dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 min. La densité optique a été mesurée avec un spectrophotomètre (SECOMAM - Prim'Light) à 517 nm (**Figure 13**).

Le contrôle négatif contient uniquement la solution de DPPH et le contrôle positif est représenté par l'antioxydant de référence BHT (Butylate Hydroxy toluène) qui a été également préparé selon la même méthode avec les mêmes concentrations pour la comparaison. Tous les essais ont été effectués en triple. L'activité antioxydant est estimée en pourcentage d'inhibition ou pourcentage d'activité antioxydant, selon la formule suivante :

$$I \% = \frac{(\text{Abs contrôle} - \text{Abs test})}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

I % : Le pourcentage d'inhibition

Abs_{control} : Absorbance de contrôle négatif

Abs_{test} : Absorbance de l'échantillon

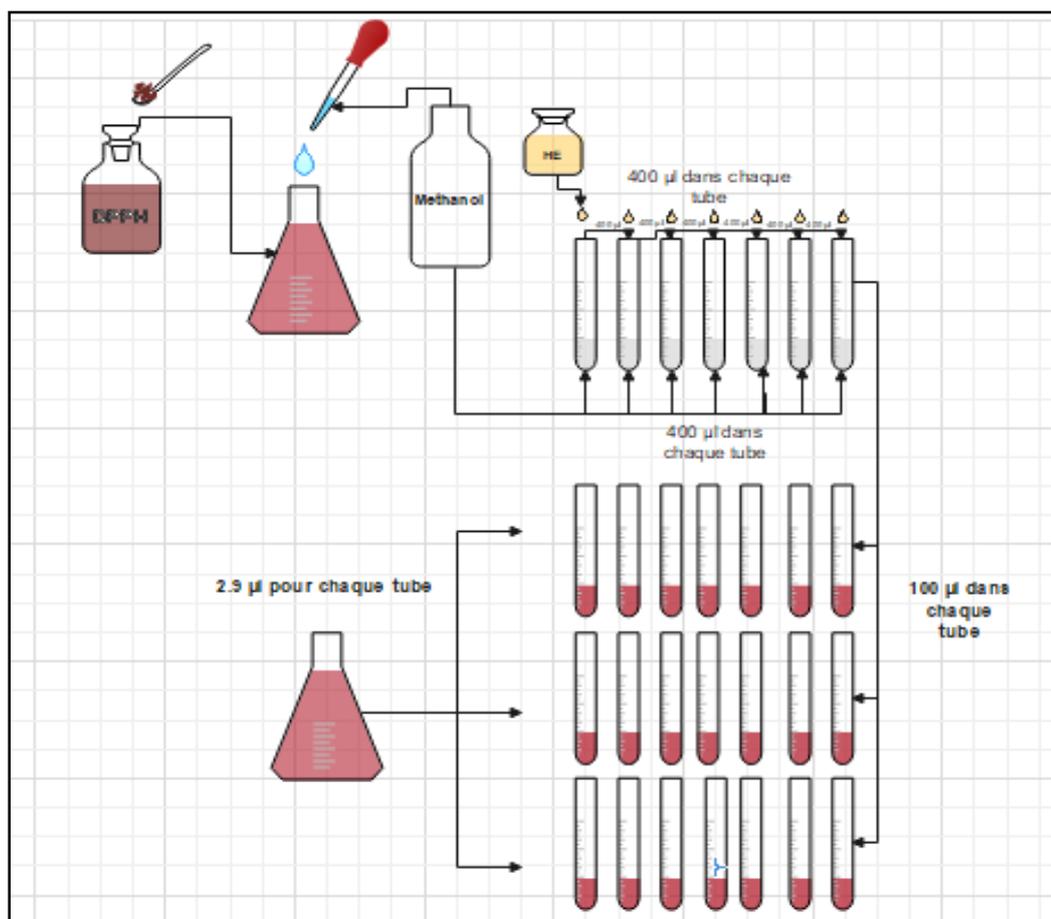


Figure 13 : Protocole de l'évaluation de l'activité antioxydant de l'huile essentielle de *R. tripartita* par le test au DPPH.

L' IC_{50} est déterminées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés des pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations de l'huile essentielle. Elle correspond à 50% d'inhibition et qui constitue l'activité antioxydant de l'huile essentielle. Les valeurs d' IC_{50} ont été reportées en tant que moyenne \pm SD.

2-6 Techniques statistiques d'analyse des données

2-6-1 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) représente une méthode statistique d'analyse des données (initialement de statistique descriptive ou méthodes factorielles) qui consiste à rechercher les relations et les corrélations entre les variables aléatoires. L'ACP sert à comprendre et visualiser comment les effets de phénomènes a priori isolés se combinent. Lorsqu'on veut compresser un ensemble de N variables aléatoires, les n premiers axes de l'ACP est un meilleur choix, du point de vue de l'inertie expliquée. Si on décide de ne retenir que les

deux premiers axes de l'ACP, on pourra alors projeter notre nuage sur un plan, et le visualiser. L'ACP est majoritairement utilisé pour visualiser les données et elle est également connue comme un moyen de décorrélation des données, les axes qui ne sont pas utilisés c'est de l'information perdue c'est une classification des données en amas (clusters) corrélés

Dans cette étude, les variables sont représentées par les composés chimiques identifiés dans l'huile essentielle des 14 populations de *R. tripartita*.

2-6-2 Analyses UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means)

L'UPGMA est le nom d'un algorithme destiné à la construction d'un arbre phylogénétique. Elle permet la transformation d'une matrice de distances (entre différents organismes, populations) en un arbre enraciné. C'est la méthode la plus simple de construction d'arbre. Elle a été développée pour construire les phénogrammes taxonomiques (arbres qui reflètent les similitudes phénotypiques entre unités taxonomiques), mais elle est employée aussi pour construire les arbres phylogénétiques si les taux d'évolution sont approximativement constants parmi les différentes lignées. Cette analyse statistique a été réalisée en utilisant le logiciel **STISTICA V 10**.

Les résultats de l'évaluation des activités antibactérienne, antifongique et antioxydante ont été soumis à l'analyse statistique de variance (ANOVA) à trois voies complètement randomisées en utilisant le logiciel statistique (CoStat). L'ANOVA permet de comparer les moyennes d'un groupe témoin avec les autres groupes ou de la comparaison des pourcentages lorsqu'il y a plus de deux valeurs à comparer. Les différences entre les moyennes sont considérées significatives pour des valeurs $< 0,05$.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats des huiles essentielles

1-1- Rendement en huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles du *Rhus tripartita* par hydrodistillation des populations mâles et femelles a donné une huile de couleur jaune pâle avec une odeur forte et agréable. Les huiles obtenues à partir des parties aériennes du *R. tripartita* ont donné un rendement faible avec une moyenne de $(0,16 \pm 0,01\%)$ (w/w) (Tableau 8).

Tableau 8 : Rendement en huile essentielle des populations du *R. tripartita*

Stations	Populations		Altitude (m)	Rendement (%)
M'sila	M'sila	Mâle	619	0,16
		Femelle	622	0,17
	Mergueb	Mâle	628	0,19
		Femelle	630	0,18
	Boussaâda	Mâle	590	0,16
		Femelle	596	0,17
	Maïtar	Mâle	604	0,16
		Femelle	610	0,17
Biskra	Biskra	Femelle	583	0,18
	Chaïba	Mâle	416	0,13
		Femelle	417	0,14
	Ksaïate	Mâle	784	0,15
		Femelle	790	0,16
Tamanrasset	Tamanrasset	Mâle	1140	0,15

Les populations mâle et femelle de Mergueb et la population femelle de Biskra ont données les rendements les plus élevés de 0,18-0,19%. Par contre le rendement le plus faible a été enregistré chez la population mâle de Chaïba avec une valeur de 0,13%.

Les populations du *R. tripartita* présentent un rendement faible en basse et haute altitude, alors que ce rendement est élevé dans les altitudes moyennes (**Figure 14**). La courbe de régression montre une très légère augmentation du rendement des basses altitudes vers les hautes altitudes.

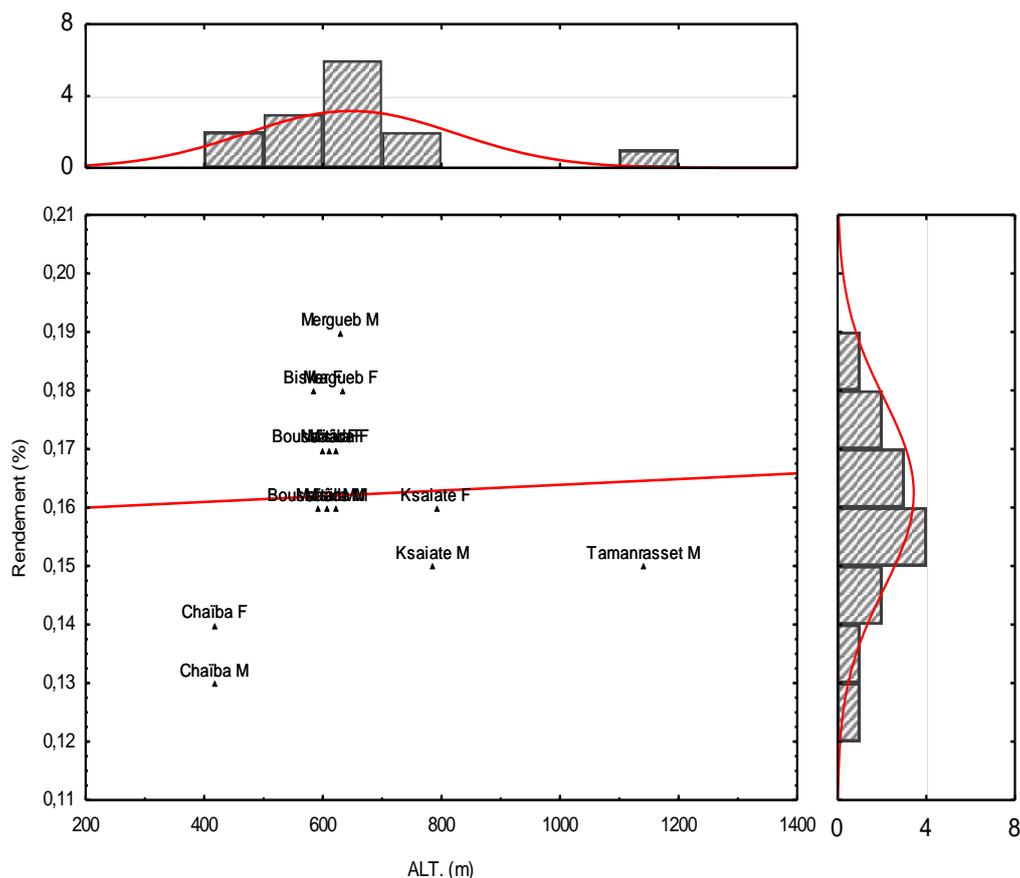


Figure 14 : Rendement en huiles essentielles en fonction de l'Altitude

1-2- Profil chimique des huiles essentielles

L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles des populations du *Rhus tripartita* a été obtenue par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC / MS) (**Figure 15 et annexe**). Les résultats de l'analyse des huiles essentielles nous a permis d'identifier soixante treize composants. Ces composants représentent une moyenne de $97,19 \pm 1,50\%$ de l'huile totale. Les composés identifiés et leurs abondances relatives, sont présentés dans leur ordre d'aparition (**tableau 9**).

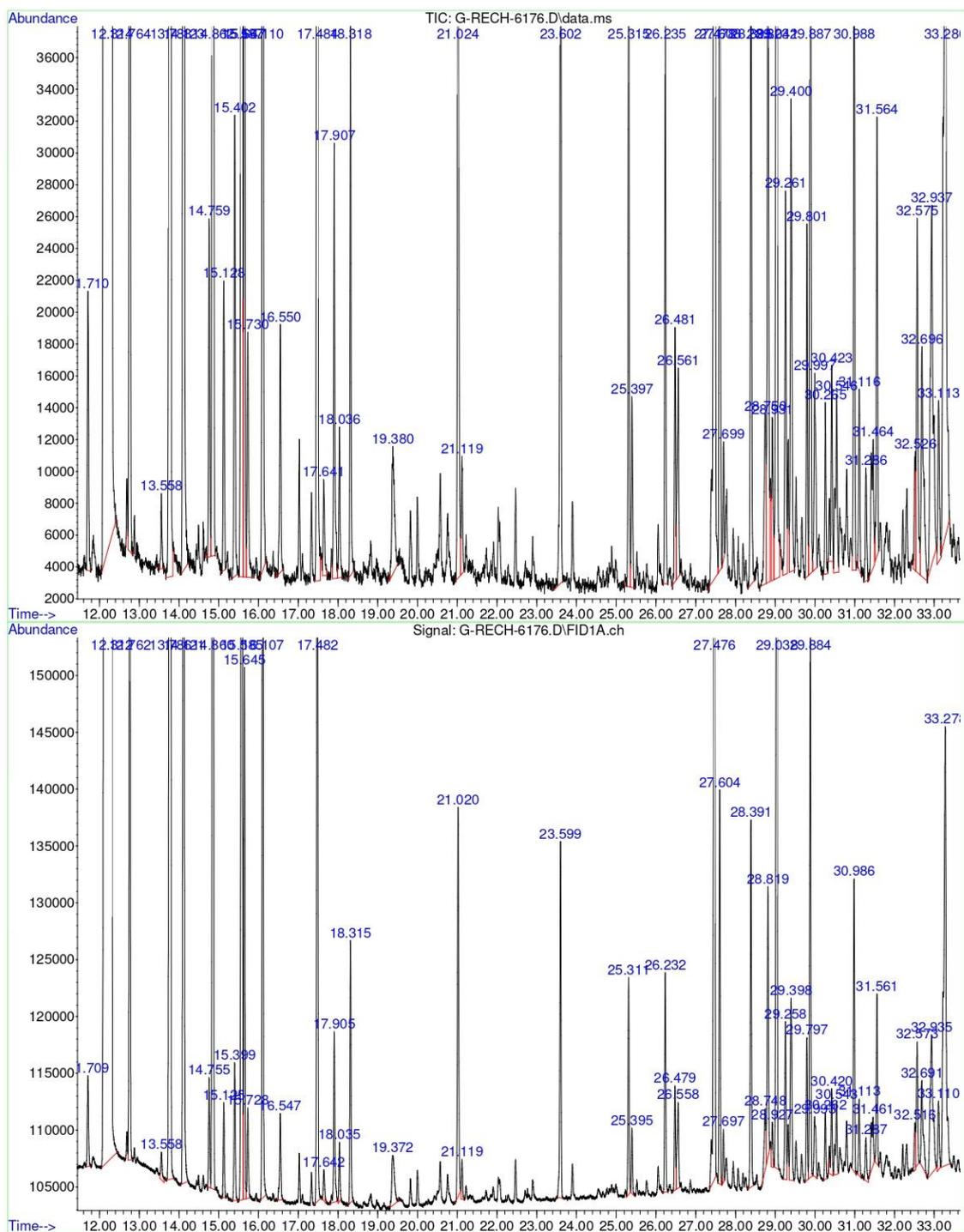


Figure 15 : Chromatogramme Fid et Mass de l'huile essentielle du *R. tripartita*
« Population femelle M'sila »

Tableau 9 : Composition chimique des huiles essentielles des populations du *R. tripartita*

Stations		Biskra	Ksaiate	Ksaiate	Chaïba	Chaïba	M'Sila	M'Sila	Boussaâda	Boussaâda	Maitar	Maitar	Mergueb	Mergueb	Tamanrasset	Moyenne	Ecart-type
Populations		F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M		
Nb des composés		29	63	29	43	47	54	52	53	53	47	47	41	42	32	45	8
Rendement		0.18	0.15	0.16	0.13	0.14	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.19	0.18	0.15	0,16	0,01
Total %	IK	92,15	97,47	92,19	97,82	97,87	98,86	97,45	98,41	98,92	97,73	98,98	98,8	96,99	96,84	97,19	1,50
Tricyclene	921	0,00	0,08	0,00	0,17	0,04	0,04	0,00	0,04	0,12	0,00	0,10	0,00	0,13	0,00	0,05	0,05
α -thujene	927	0,00	0,12	0,00	0,06	0,37	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06
α -pinene	934	56,53	65,60	70,80	64,32	76,43	34,57	54,80	51,02	70,88	63,56	69,70	42,50	61,01	35,84	58,40	10,73
α -fenchene	950	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,07	0,06	0,04	0,00	0,04	0,04	0,00	0,07	0,00	0,03	0,02
Camphene	953	1,25	0,78	0,24	1,72	0,53	0,75	0,68	0,32	1,06	0,36	1,82	1,09	1,59	0,79	0,93	0,42
Sabinene	973	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,10	0,01	0,06	0,00	0,04	0,15	0,00	0,00	0,04	0,04
β -pinene	980	3,66	3,37	0,64	6,16	1,80	1,27	1,62	1,32	4,55	0,65	6,40	3,03	3,98	2,49	2,92	1,52
Myrcene	989	1,45	2,35	1,49	2,71	2,79	0,49	1,45	3,32	2,06	0,68	0,95	7,69	5,31	2,40	2,51	1,32
Δ^2 -carene	999	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,08	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03
α -phellandrene	1008	0,18	0,25	0,18	0,22	0,16	0,00	0,00	0,24	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,09
Δ^3 -carene	1009	0,00	0,37	0,06	0,02	0,04	6,24	8,34	15,30	2,37	0,04	0,00	7,13	0,36	22,30	4,47	5,28
α -terpinene	1017	0,00	0,25	0,00	0,55	0,41	0,11	0,16	1,00	0,12	0,11	0,00	0,20	0,10	1,48	0,32	0,30
Cymene-ortho	1026	0,00	0,53	0,00	0,55	2,09	0,30	0,26	0,40	0,19	0,54	0,25	0,56	0,46	0,56	0,48	0,28
Limonene	1031	2,27	1,64	0,00	2,30	1,97	2,17	2,07	6,03	2,24	0,76	1,05	2,26	1,29	7,23	2,38	1,21
β -phellandrene	1032	0,00	0,58	0,00	0,61	0,53	0,15	0,23	0,80	0,50	0,25	0,25	0,25	0,30	0,40	0,35	0,19
β -ocimene-Z	1035	0,37	0,04	0,33	0,06	0,08	0,00	0,00	0,04	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,11	0,12
β -ocimene-E	1046	0,00	0,21	0,00	0,38	0,82	0,00	0,00	0,16	1,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,09	0,20	0,23
δ -terpinene	1058	0,23	1,15	0,06	2,83	2,50	0,04	0,00	0,56	0,12	0,36	0,00	0,24	0,33	1,06	0,68	0,68

Terpinolene	1086	0,70	0,45	0,10	0,55	0,57	1,61	1,45	9,39	1,25	0,14	0,00	1,69	0,27	11,41	2,11	2,36
Cymenene<para->	1093	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,13	0,12	0,06	0,04	0,04	0,00	0,03	0,13	0,05	0,04
Linalool	1098	0,66	0,08	0,37	0,22	0,08	0,19	0,13	0,08	0,19	0,29	0,15	0,00	0,00	0,00	0,17	0,12
Nonanal-n	1101	0,00	0,04	0,06	0,00	0,04	0,07	0,06	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02
Fenchol	1125	0,00	0,16	0,00	0,17	0,45	0,07	0,84	0,08	0,25	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,16
α -campholenal	1133	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,11
Sabinol trans	1148	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	1,09	0,00	0,00	0,00	0,10	0,15
Isoborneol	1182	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00	0,00	0,14	0,15	0,00	0,13	0,00	0,05	0,06
Terpinen-4-ol	1184	0,00	0,04	0,00	0,06	0,04	0,45	0,16	0,04	0,12	0,43	0,29	0,00	0,23	0,00	0,13	0,12
α -terpineol	1186	1,83	0,21	0,26	0,44	0,16	0,11	0,10	0,16	0,44	0,00	0,04	0,28	0,00	0,00	0,29	0,26
Myrtenol	1206	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06
Isoborneol formate	1212	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,71	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14
Bornyl acetate	1288	0,91	0,37	0,00	1,38	0,16	1,08	0,00	0,24	0,37	0,00	1,45	1,55	1,19	0,55	0,66	0,51
Δ -elemene	1354	0,00	0,21	0,00	0,61	0,21	0,41	0,55	0,16	0,25	0,76	0,62	0,71	0,30	0,00	0,34	0,22
α -ylangene	1377	0,24	0,16	0,00	0,00	0,00	0,15	0,32	0,04	0,06	0,11	0,18	0,14	0,17	0,16	0,12	0,07
α -copaene	1382	0,91	0,62	0,54	0,22	0,16	0,86	1,91	0,20	0,25	0,90	1,24	1,24	0,90	0,00	0,71	0,42
β -bourbonene	1391	0,25	0,00	0,06	0,00	0,00	0,07	0,10	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05
β -elemene	1394	0,00	0,41	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,10	0,14
Longifolene	1425	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
Caryophyllene(Z)	1433	2,34	3,99	7,23	3,70	0,37	17,19	1,30	1,80	1,93	10,50	0,84	6,99	3,12	2,83	4,58	3,36
δ -elemene	1434	0,00	0,74	0,00	0,17	1,07	0,00	0,16	0,16	0,44	0,14	0,22	0,00	0,10	0,00	0,23	0,22
Aromadendrene	1448	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,18	0,14	0,17	0,42	0,10	0,11
α -humulene	1465	0,62	0,74	1,26	0,61	0,21	3,10	0,55	0,36	0,44	1,58	0,33	1,27	0,66	0,44	0,87	0,53
Cadina-1(6),4-diene trans	1479	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	0,00	0,36	0,08	0,12	0,14	0,00	0,18	0,20	0,00	0,09	0,08
δ -muurolene	1481	0,00	0,58	0,00	0,39	0,29	1,98	2,90	0,56	0,31	1,44	2,11	1,69	1,76	0,00	1,00	0,83
α -amorphene	1485	2,55	0,08	0,95	0,00	0,04	0,49	0,45	0,08	0,06	0,29	0,33	0,39	0,33	0,00	0,43	0,38
Germacrene-D	1489	1,32	3,05	0,40	0,00	0,08	0,30	0,39	0,32	1,18	0,65	0,18	0,49	0,23	0,20	0,63	0,52

δ -cadinene	1498	0,00	0,00	0,12	0,22	0,00	1,01	0,16	0,24	0,19	0,97	1,34	1,02	1,16	0,13	0,47	0,45
Muurolo-4(14),5-diene-T	1501	0,00	0,62	0,00	0,22	0,12	0,11	0,93	0,20	0,19	0,00	0,00	0,14	0,00	0,24	0,20	0,17
δ -amorphene	1502	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,94	0,00	0,00	0,58	0,65	0,78	0,86	0,00	0,36	0,40
α -muurolene	1505	0,80	0,58	0,27	0,27	0,16	1,27	1,10	0,24	0,31	0,68	0,73	0,78	0,73	0,85	0,63	0,27
Δ -amorphene	1509	1,59	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,14	0,21
Δ -cadinene	1520	4,26	0,33	0,00	0,70	0,33	2,24	5,33	0,84	0,62	2,41	2,54	3,21	3,22	2,48	2,04	1,34
γ -bisabolene (E)	1524	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,18
Calamenene cis	1529	0,00	0,16	0,00	0,00	0,08	0,67	0,94	0,08	0,12	0,40	0,87	0,53	0,50	0,00	0,31	0,29
Cadina-1,4-diene trans	1539	0,00	0,16	0,00	0,17	0,08	0,30	0,45	0,12	0,06	0,25	0,07	0,32	0,30	0,25	0,18	0,11
α -cadinene	1543	0,00	0,33	1,59	0,00	0,00	2,50	0,36	0,04	0,12	0,18	0,25	1,13	0,80	0,11	0,53	0,55
Dauca-4(11),7-diene-T	1546	0,00	0,00	0,00	0,50	0,04	0,00	0,00	0,20	0,00	0,36	0,29	0,00	0,00	0,16	0,11	0,13
α -calacorene	1549	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	2,30	0,48	0,04	0,00	0,54	0,40	1,13	0,80	0,00	0,41	0,45
Selina-3,7(11)-diene	1552	0,68	0,25	0,93	0,55	0,00	0,00	0,00	0,20	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,23
Germacrene-B	1570	0,97	0,58	1,24	0,17	0,82	0,60	0,16	0,16	0,31	0,25	0,11	0,21	0,00	0,00	0,40	0,31
Hexenyl benzoate-3Z	1574	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Spathulenol	1587	0,21	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06
Caryophyllene oxide	1593	1,07	0,37	0,87	0,30	0,08	3,85	0,61	0,12	0,19	1,98	0,44	3,46	0,73	0,00	1,00	0,90
Humulene epoxide II	1620	0,00	0,04	0,00	0,22	0,00	0,52	0,26	0,00	0,06	0,00	0,15	0,39	0,00	0,00	0,12	0,14
α -eudesmol-5-epi-7-epi	1634	1,21	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,12	0,19
Cubenol-1-epi	1636	1,03	0,29	0,00	0,00	0,12	0,64	0,32	0,08	0,19	0,00	0,47	0,00	0,33	0,00	0,25	0,22
β -muurolo 4(10)(14)d 1ol	1641	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,58	0,00	0,00	0,54	0,00	1,45	0,43	0,00	0,23	0,29
δ -eudesmol	1642	0,00	0,33	0,00	0,39	0,25	1,16	0,00	0,20	0,19	0,25	0,00	0,28	0,23	0,00	0,23	0,17
α -muurolol	1650	0,00	0,41	0,00	0,00	0,16	0,22	1,10	0,16	0,37	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,18	0,19
Muurolol epi	1652	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,40	0,22	0,32	0,00	0,21	0,12	0,14
Desmethoxy enecalinal	1660	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14
α -eudesmol	1668	2,08	1,03	1,71	2,21	0,62	4,04	0,00	0,80	0,94	1,84	0,00	1,73	1,43	0,00	1,31	0,83
Calamenene 10-ol	1673	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,52	0,00	0,11	0,16

Germacra4(15)5,10(14)tr	1677	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,02	0,03
Classes chimiques																	
Monoterpènes HC	66,63	73,90	77,90	83,31	91,23	47,98	71,41	90,22	86,91	67,63	80,63	66,80	75,30	86,64	76,18	9,09	
Monoterpenes oxégénés	2,49	0,70	0,49	0,88	0,74	1,83	2,94	0,36	1,00	1,48	1,89	0,28	0,36	0,00	1,10	0,73	
Sesquiterpenes HC	16,74	14,59	15,69	8,54	4,39	36,76	20,16	6,19	7,48	23,14	13,60	22,48	16,28	9,06	15,36	6,24	
Sesquiterpenes oxygénés	5,39	2,94	2,88	3,37	1,27	10,61	2,62	1,36	2,98	5,49	1,27	7,37	3,86	0,38	3,70	2,03	
Aldehyde	0,00	0,06	0,04	0,00	0,04	0,07	0,06	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	
Ester	0,91	0,00	0,38	1,49	0,16	1,08	0,00	0,24	0,37	0,00	1,45	1,55	1,19	0,76	0,69	0,52	
Autres	0,00	0,00	0,08	0,22	0,04	0,52	0,26	0,00	0,12	0,00	0,15	0,39	0,00	0,00	0,13	0,13	

Note : F = population femelle ; M = population male ; HC = hydrocarbonés.

Avec une moyenne de $58,40 \pm 10,73\%$, l' α -pinène est le composant majoritaire trouvé dans l'ensemble des populations étudiées du *R. tripartita*, sauf pour les populations mâles de Tamanrasset, M'Sila et Mergueb qui enregistrent un taux inférieur à 50%. L' α -pinène est suivi par le caryophyllène-Z ($4,58 \pm 3,36\%$), le Δ 3-carène ($4,47 \pm 5,28\%$), le β -pinène ($2,92 \pm 1,52\%$), le myrcène ($2,51 \pm 1,32\%$), le limonène ($2,38 \pm 1,21\%$), le terpinolène ($2,11 \pm 2,36\%$) et le Δ -cadinène ($2,04 \pm 1,34\%$).

Le Δ 3-carène, le limonène et le terpinolène sont présents avec un pourcentage significatif dans les populations mâles de Boussaâda et Tamanrasset. Alors que, les populations mâles de M'Sila, Maïtar, Mergueb et la population femelle de Biskra présentent un taux important de caryophyllène-Z. Le pourcentage le plus élevé de Δ -cadinène est observé dans les populations femelles de M'Sila et de Biskra avec un taux de 5,33 et 4,26% respectivement. Le β -pinène est présent avec un taux élevé dans les populations femelles de Maïtar, Boussaâda et la population mâle de Chaïba. Les populations mâle et femelle de Mergueb sont également caractérisées par un taux élevé de myrcène (7,69% et 5,31%).

Les huiles essentielles du *R. tripartita* sont riches en monoterpènes et sesquiterpènes hydrocarbonés. Les monoterpènes hydrocarbonés sont plus abondants dans les populations femelles. Par contre, les populations mâles sont riches en sesquiterpènes hydrocarbonés. Les monoterpènes hydrocarbonés sont abondants dans toutes les populations avec une moyenne de $76,18 \pm 9,09\%$. Ils sont principalement représentés par l' α -pinène, le Δ 3-carène et le β -pinène en particulier chez les populations femelles (**Figure 16**).

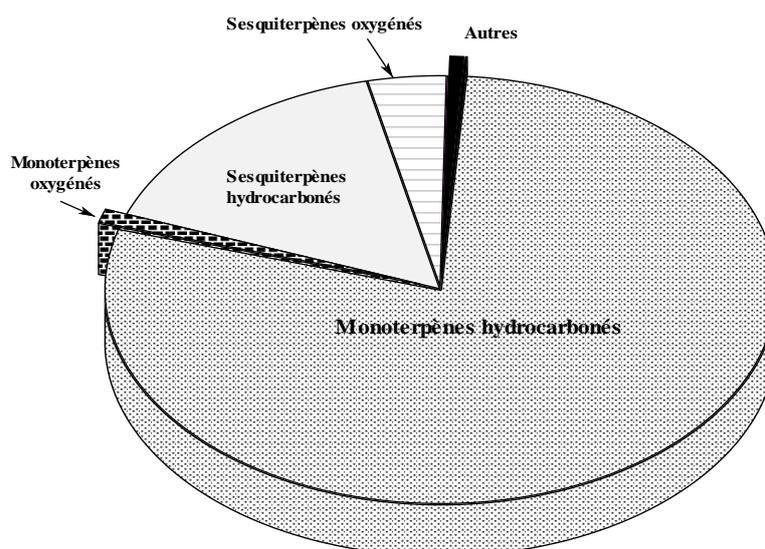


Figure 16 : Répartition des classes chimiques des huiles essentielles du *R. tripartita*

Les sesquiterpènes hydrocarbonés représentent la deuxième classe dominante dans l'huile essentielle du *R. tripartita* avec une moyenne de $15,36 \pm 6,24\%$. Elles sont dominées principalement par le caryophyllène-Z, le δ -muurolène, l' α -eudesmol et le Δ -cadinène.

La classe des sesquiterpènes oxygénés est présente dans l'huile essentielle avec une moyenne de $3,70 \pm 2,03\%$. L' α -eudesmol et le caryophyllène oxide sont les composants les plus abondants de cette classe. Les monoterpènes oxygénés sont faiblement représentés avec un taux de $1,10 \pm 0,73\%$, représentés par le terpinolène, le fenchol et le linalool. Les aldéhydes, les esters et d'autres composants sont présents avec des taux faibles variant entre 0,03 et 0,69%.

1-3- Analyses statistiques

1-3-1- Analyse en Composantes Principales (ACP)

La composition chimique d'huile essentielle des populations du *R. tripartita* présente une variation quantitative et qualitative. Une analyse statistique des données a été établie afin d'en faire ressortir les relations et les différences entre les différentes populations. Les composés chimiques identifiés dans l'huile essentielle et dont la teneur est supérieure à 0,5% sont pris utilisés dans cette analyses multi variable, chaque composé est considéré comme une variable quantitative à expliquer (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Composants de l'huile essentielle utilisés dans l'analyse statistique

Variables					
Code	Composant	Code	Composant	Code	Composant
V1	α -pinène	V9	Terpinolène	V17	δ -cadinène
V2	Camphène	V10	Bornyl acetate	V18	α - muurolène
V3	β -pinène	V11	α -copaène	V19	Δ -cadinène
V4	Myrcène	V12	Caryophyllène(Z)	V20	α -cadinène
V5	Δ 3-carène	V13	α -humulène	V21	α -calacorène
V6	Ortho -Cymène	V14	δ -muurolène	V22	Germacrène-B
V7	Limonène	V15	α -amorphène	V23	Caryophyllène oxyde
V8	δ - terpinène	V16	Germacrène-D	V24	α -eudesmol

1-3-1-1 Etude des variables

a- Variabilité des composants chimiques

Les huiles essentielles du *R. tripartita* présentent une variabilité importante des composants chimiques. L' α -pinène avec une moyenne de $58,72 \pm 13,84\%$ représente le composant le plus variable au sein des populations. Suivi par le Δ 3-carène ($5,21 \pm 6,90\%$), le caryophyllène-Z ($4,55 \pm 4,86\%$) et le terpinolène avec une moyenne de $2,40 \pm 3,64\%$ (**Figure 17**).

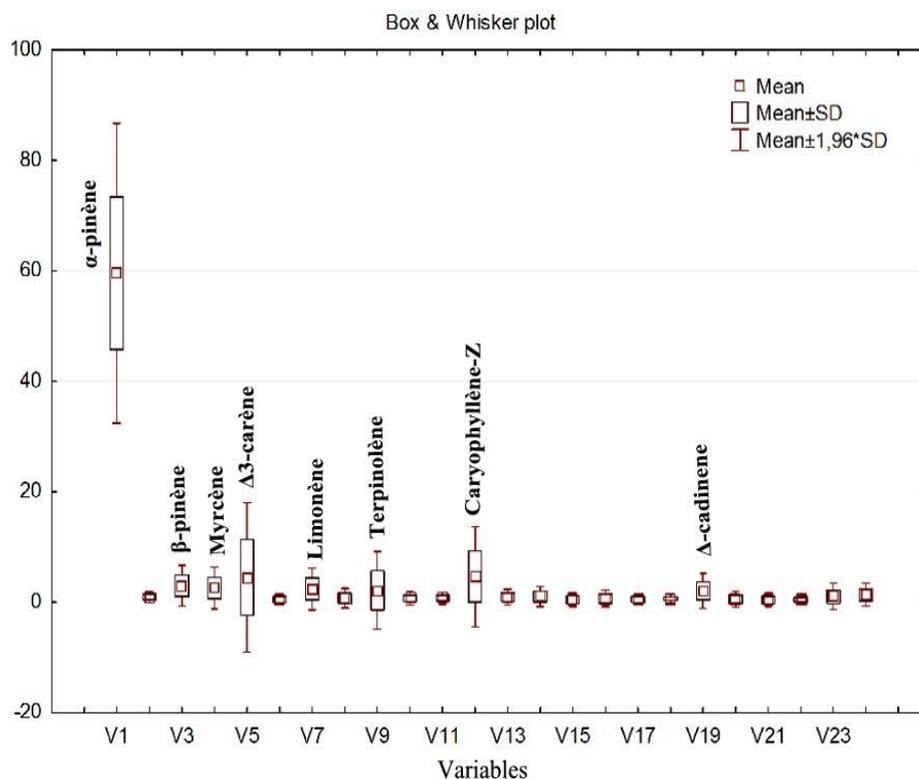


Figure 17 : Variabilité des composants chimique des huiles essentielles du *R. tripartita*

Les valeurs propres représentent la variance des composants de l'huile sur les axes sont moyennes, 30,70% pour le premier axe, 17,42% pour l'axe 2 et 16,53% pour l'axe trois, donnant ainsi une bonne contribution à la variance totale. L'ensemble de l'information expliquée par les trois premiers axes issus de l'ACP est de 64,65%.

b- Matrice de corrélation

L'examen des corrélations à partir de la matrice montre que les composants chimiques des huiles essentielles du *R. tripartita* sont faiblement corrélés avec un pourcentage de 30,70% (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Matrice des corrélations des composants des huiles essentielles du *R. tripartita*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	
V1	1,00																								
V2	0,08	1,00																							
V3	0,25	0,93	1,00																						
V4	-0,16	0,22	0,14	1,00																					
V5	-0,74	-0,30	-0,30	0,14	1,00																				
V6	0,26	-0,17	-0,12	0,21	-0,05	1,00																			
V7	-0,60	-0,15	-0,09	0,14	0,91	0,07	1,00																		
V8	0,27	0,11	0,25	0,11	-0,09	0,70	0,17	1,00																	
V9	-0,59	-0,30	-0,24	0,10	0,95	0,00	0,96	0,04	1,00																
V10	-0,29	0,83	0,69	0,42	-0,12	-0,14	-0,05	0,03	-0,16	1,00															
V11	-0,12	0,17	-0,03	0,01	-0,21	-0,34	-0,47	-0,58	-0,45	0,16	1,00														
V12	-0,43	-0,29	-0,44	-0,18	-0,05	-0,22	-0,24	-0,28	-0,16	0,09	0,12	1,00													
V13	-0,45	-0,25	-0,43	-0,19	-0,07	-0,24	-0,27	-0,33	-0,20	0,12	0,21	0,99	1,00												
V14	-0,23	0,19	-0,01	0,04	-0,04	-0,14	-0,30	-0,45	-0,28	0,24	0,84	0,23	0,30	1,00											
V15	-0,05	0,07	-0,06	-0,19	-0,27	-0,43	-0,24	-0,37	-0,25	0,07	0,30	0,05	0,11	-0,16	1,00										
V16	0,18	-0,10	0,05	-0,09	-0,24	-0,19	-0,16	-0,10	-0,20	-0,21	0,01	-0,04	-0,04	-0,23	0,17	1,00									
V17	-0,18	0,39	0,17	0,20	-0,16	-0,15	-0,30	-0,42	-0,25	0,57	0,45	0,41	0,41	0,67	-0,15	-0,34	1,00								
V18	-0,69	0,12	-0,14	-0,15	0,24	-0,35	0,01	-0,53	0,01	0,27	0,66	0,45	0,53	0,66	0,24	-0,01	0,43	1,00							
V19	-0,46	0,26	0,00	0,07	0,17	-0,31	0,02	-0,47	-0,02	0,24	0,76	-0,02	0,05	0,62	0,42	-0,16	0,31	0,77	1,00						
V20	-0,37	-0,18	-0,37	0,01	-0,04	-0,26	-0,31	-0,42	-0,20	0,19	0,25	0,80	0,85	0,31	0,10	-0,13	0,39	0,44	0,00	1,00					
V21	-0,57	0,05	-0,21	0,08	0,03	-0,12	-0,18	-0,38	-0,17	0,41	0,43	0,77	0,83	0,64	-0,03	-0,21	0,67	0,70	0,34	0,78	1,00				
V22	0,31	-0,40	-0,36	-0,31	-0,43	0,01	-0,42	-0,01	-0,37	-0,33	-0,11	0,21	0,24	-0,45	0,58	0,26	-0,43	-0,23	-0,32	0,33	-0,12	1,00			
V23	-0,53	-0,08	-0,30	0,17	-0,06	-0,17	-0,26	-0,39	-0,24	0,36	0,42	0,84	0,87	0,44	0,19	-0,08	0,56	0,57	0,29	0,74	0,87	0,10	1,00		
V24	-0,27	-0,01	-0,16	-0,07	-0,30	-0,20	-0,31	-0,05	-0,33	0,30	-0,01	0,82	0,83	0,00	0,31	0,00	0,24	0,23	-0,08	0,66	0,63	0,36	0,73	1,00	

c- Cercle des corrélations

La représentation graphique du plan formé par les deux premiers axes principaux (1x2) montre que l'ensemble des composants des huiles essentielles contribuent à la formation de l'axe 1 (**Figure 18**).

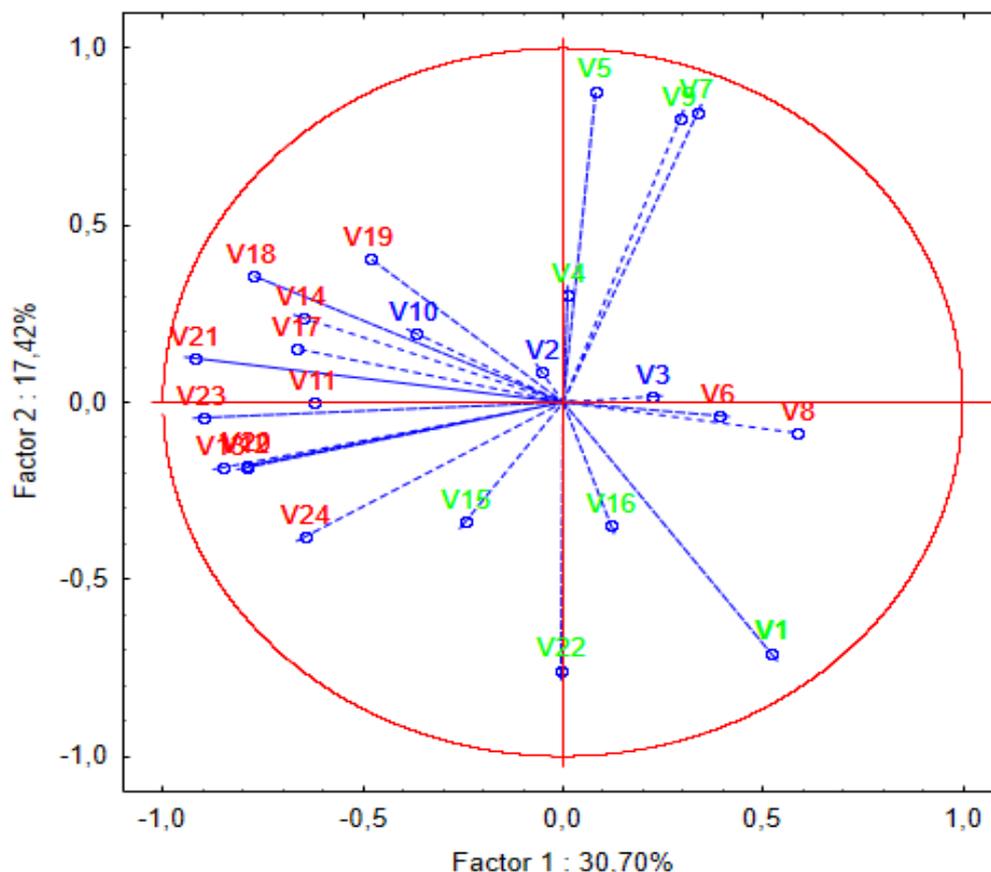


Figure 18 : Cercle de corrélation, projection des variables sur le plan (1x2)

La partie positive de l'axe 1 regroupe les variables : (V6) cymène-ortho (cor. 0,39) et (V8) δ -terpinène (cor. 0,59). Alors que, la partie négative regroupe : (V11) α -copaène (cor. -0,62), (V12) caryophyllène(Z) (cor. -0,80), (V13) α -humulène (cor. -0,85), (V14) δ -muurolène (cor. -0,65), (V17) δ -cadinène (cor. -0,67), (V18) α -muurolène (cor. -0,78), (V19) Δ -cadinène (cor. -0,49), (V20) α -cadinène (cor. -0,79), (V21) α -calacorène (cor. -0,92), (V23) caryophyllène oxide (cor. -0,90) et le (V24) α -eudesmol (cor. -0,64).

Les composants (V4) myrcène (cor. 0,30), (V5) Δ 3-carène (cor. 0,89), (V7) limonène (cor. 0,82) et (V9) terpinolène (cor. 0,80) représentent la partie positive de l'axe 2. La partie négative est représenté par : (V1) α -pinène (cor. 0,71), (V15) α -amorphène (cor. -0,34), (V16) germacrène-D (cor. -0,36) et (V22) germacrène-B (cor. -0,75).

La partie positive de l'axe 3 explique les variables : (V2) camphène (cor. 0,88), (V3) β -pinène (cor. 0,81) et (V10) l'acétate de bornyl (cor. 0,61) (**Figure 19**).

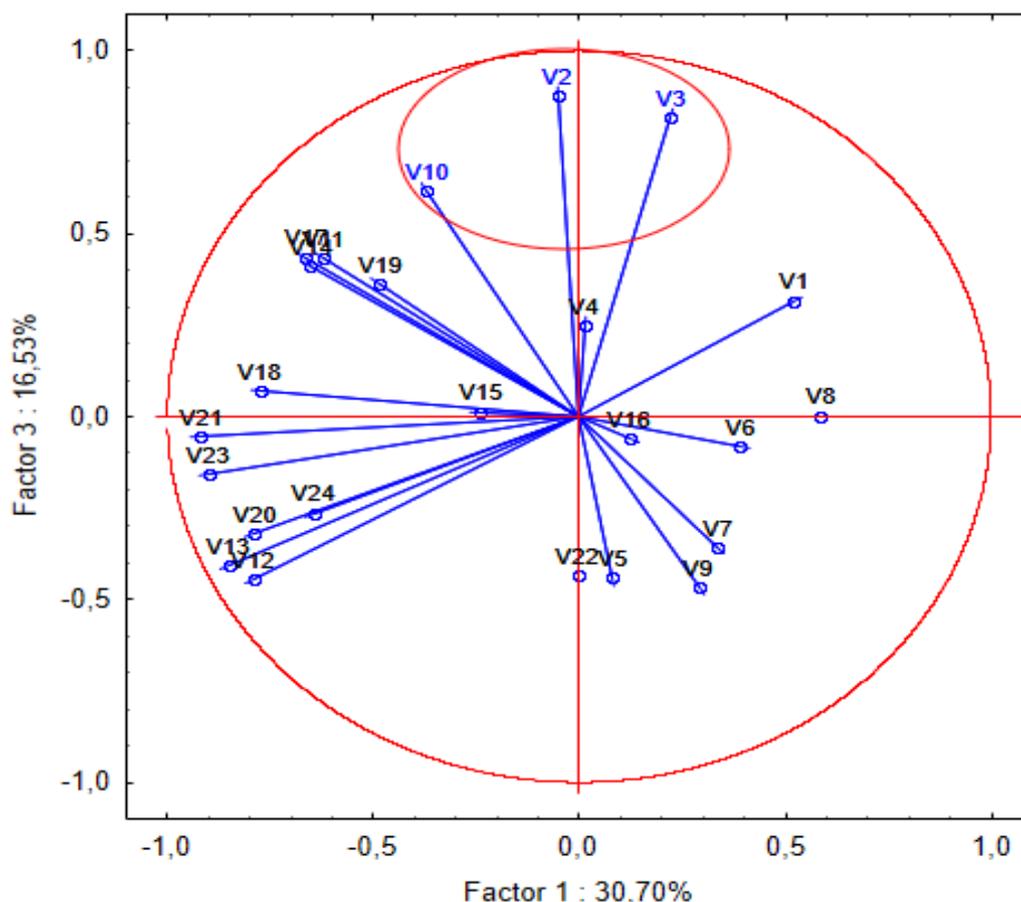


Figure 19 : Cercle de corrélation, projection des variables sur le plan (1x3)

1-3-1-2 Etude des populations

L'analyse statistique montre une répartition hétérogène des populations sur le plan (1x2) (**Figure 20**). La superposition de ce dernier sur le plan (1x2) des variables montre que les populations se répartissent sur les trois axes. Les populations femelles de Chaiba et Boussaâda caractérisées par le cymène-ortho et l' δ -terpinène, sont localisées sur la partie positive de l'axe 1. Les populations mâles de M'Sila, Mergueb et Maitar se localisent sur la partie négative de l'axe 1 ; elles sont caractérisées par l' α -copaène, le caryophyllène (Z), l' α -humulène, le δ -muurolène, le δ -cadinène, l' α -muurolène, le Δ -cadinène, l' α -cadinène, l' α -calacorène, le caryophyllène oxyde et l' α -eudesmol.

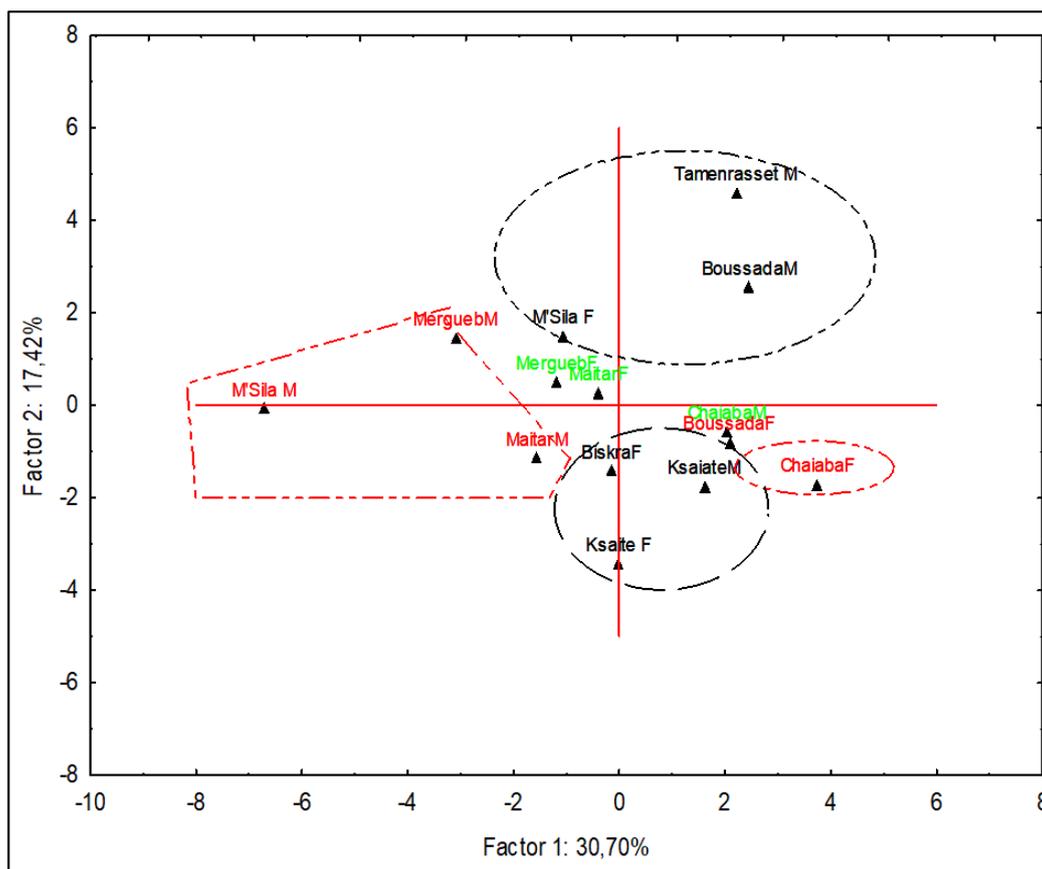


Figure 20: Projection des populations du *R. tripartita* sur le plan (1x2)

L'axe 2 dans sa partie positive comporte les populations mâles de Tamanrasset, Boussaâda et la population femelle de M'Sila qui se révèlent par la présence du myrcène, le Δ^3 -carène, le limonène et le terpinolène. Alors que sa partie négative réunit les populations femelles de Biskra, Ksaiate et la population mâle Ksaiate qui sont marquées par la présence de l' α -pinène, l' α -amorphène, le germacrène-D et le germacrène-B.

La représentation des populations du *R. tripartita* sur le plan 1x3 (**Figure 21**), montrent que les populations femelles Mergueb, Maitar et la population mâle Chaiba se trouvent sur la partie positive de l'axe 3 ; elles sont caractérisées par le camphène, le β -pinène et le bornyl acétate.

La projection spatiale tridimensionnelle des populations du *R. tripartita*, basée sur les trois axes issus de l'ACP, montre que les 14 populations sont dispersées et éloignées les uns des autres (**Figure 22**), elles ne sont pas séparées en groupes homogènes. Alors que les populations mâles de Maitar, Mergueb et de Chaiba sont bien séparées du nuage formé par l'ensemble des populations. Cela montre que la composition chimique des populations est très proche.

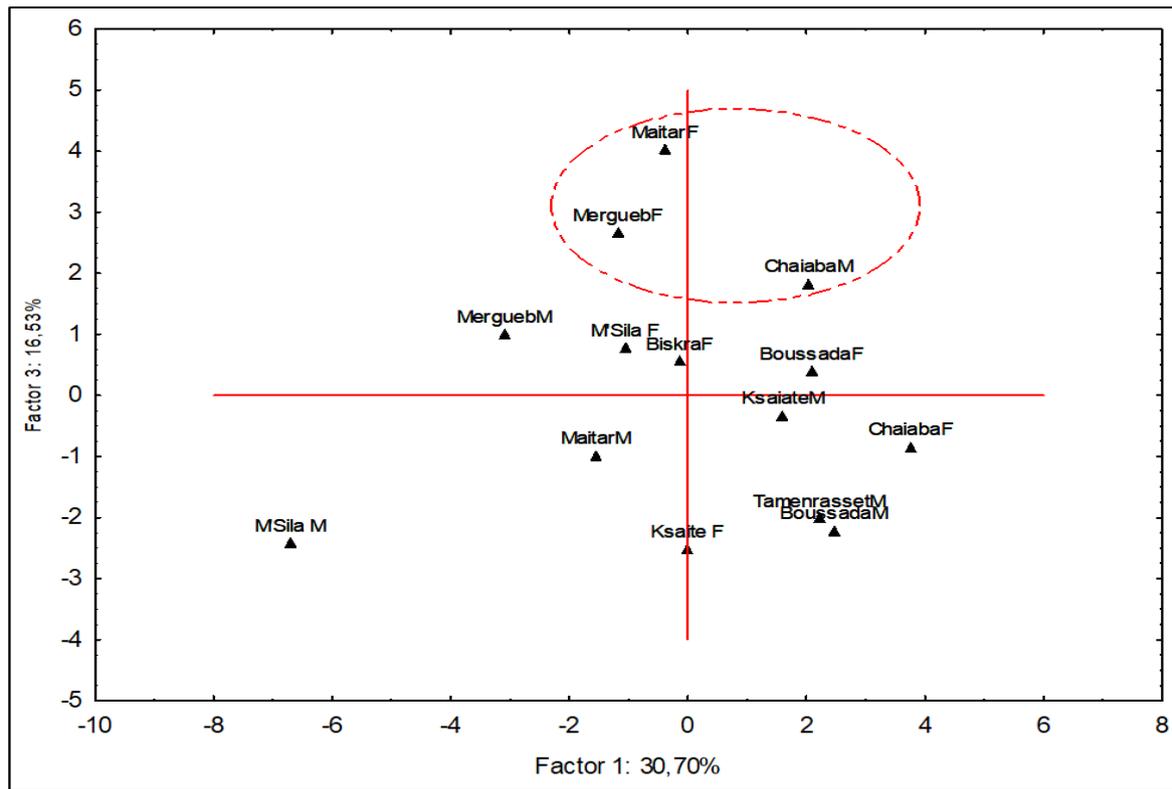


Figure 21 : Projection des populations du *R. tripartita* sur le plan (1x3)

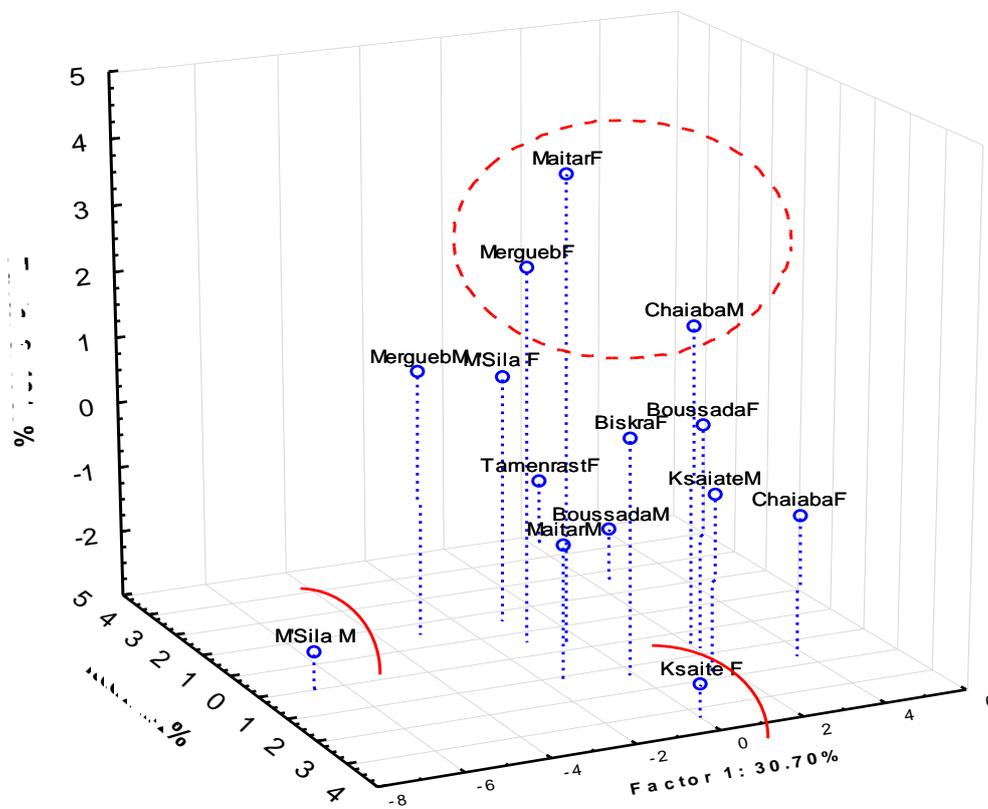


Figure 22 : Projection spatiale des populations du *R. tripartita*

1-3-2 Analyse des clusters (UPGMA)

L'analyse des clusters UPGMA basée sur la distance du linkage (City-block Manhattan) indique la présence d'une variabilité chimique entre les populations du *R. tripartita*.

L'analyse confirme les résultats de l'analyse ACP en séparons les 14 populations en deux clades principaux (**Figure 23**). Le premier clade inclut les populations mâles qui sont caractérisés par la présence des taux élevés de Δ^3 -carène, limonène et caryophyllène-Z ; celui-ci est divisé en deux sous clades. Le premier, regroupe les populations mâles de Boussaâda et Tamanrasset qui sont caractérisées par des taux élevés en Δ^3 -carène (15,30 à 22,3%), α -pinène (35,84 à 51,02%), limonène (6,03 à 7,23%) et terpinolène (9,39 à 11,41%). Alors que, le deuxième sous clade est formé principalement par les populations mâles de M'Sila et Mergueb qui se caractérisent par l' α -pinène (34,57%-42,50%), le Δ^3 -carène (6,24%-7,13%) et le caryophyllène-Z (6,99%-17,19%).

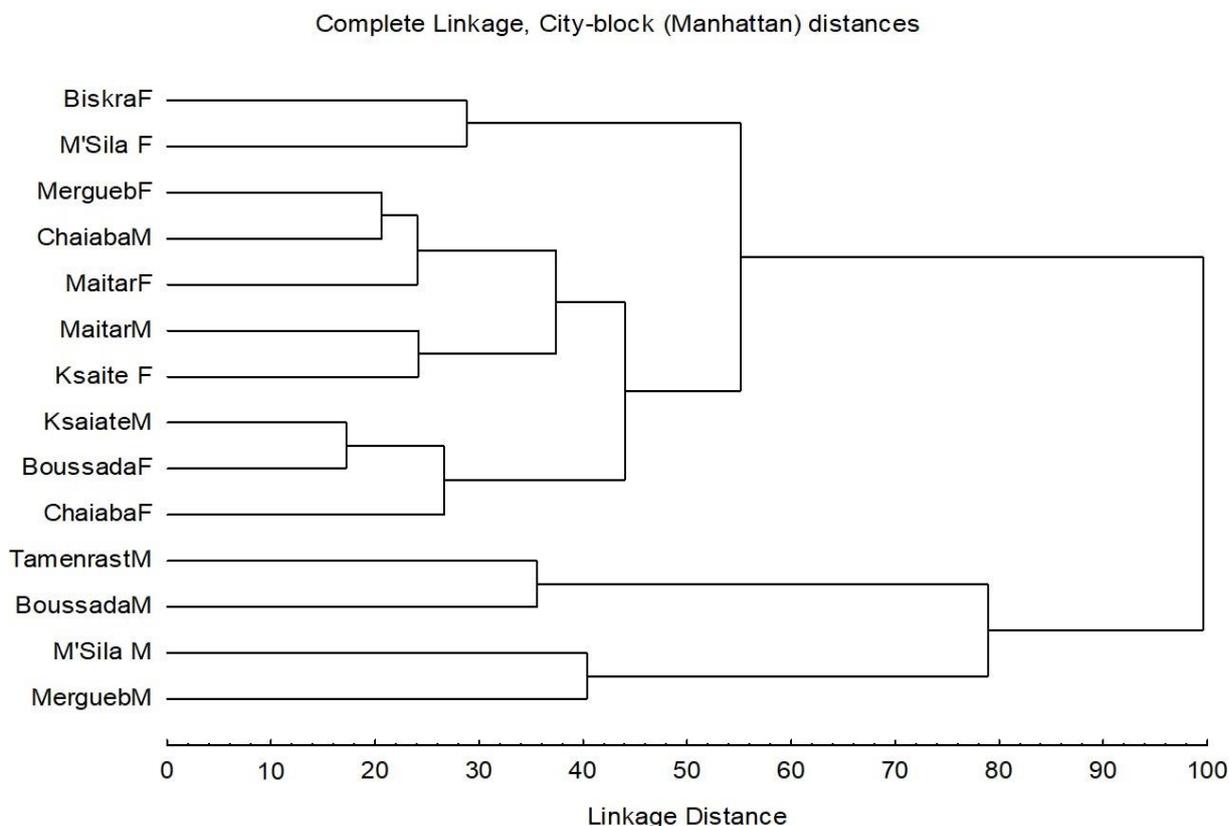


Figure 23 : UPGMA cluster des populations du *R. tripartita*

Le deuxième clade comporte les populations riches en α -pinène. Il est également subdivisé en deux branches. Les populations femelles de M'Sila et Biskra qui se caractérisent par l' α -pinène (54,80-56,53%), le Δ -cadinène (6,26-5,33%) et le myrcène (1,45%), représentant le premier groupe. Tandis que le deuxième groupe est formé principalement par les populations femelles de Chaiba, Boussaâda, Ksaïate, Ksaïate mâles, Maitar mâles, Maitar femelle, Chaiba mâles et Mergueb femelle ; caractérisés par des taux très élevés de α -pinène (61,01-76,43%).

L'interprétation des résultats de la composition chimique des huiles et l'analyse des clusters UPGMA, nous ont permis de répartir les huiles essentielles des populations du *R. tripartita* en quatre chémotypes (**Tableau 12**).

Tableau 12 : Chémotypes du *R tripartita*

Chémotypes	Populations
Δ^3 -carène - α -pinène - limonène	Mâles (Tamanrasset et Boussaâda)
Δ^3 -carène - α -pinène - caryophyllène-Z	Mâles (M'Sila mâle et Mergueb)
α -pinène - Δ^3 -carène - Δ -cadinène	Femelle (M'Sila et Biskra)
α -pinène - β -pinène - caryophyllène-Z	Femelle (Chaiba, Boussaâda Ksaïate, Maitar et Mergueb) Mâles (Chaiba, Ksaïate Maitar)

1-4 Discussion

Le rendement en huiles essentielles des populations du *R. tripartita* en Algérie est faible avec une moyenne de $0,16 \pm 0,01\%$. Ce rendement diffère de celui des parties aériennes (feuilles et fruits) des populations tunisiennes du *R. tripartita*, dont le taux varie entre 0,98 et 2,6% (Jallali et al., 2022). Le rendement de notre huile est proche des rendements des huiles essentielles du *R. coriaria* (0,04 - 0,19 %) (Morshedlooa et al., 2017). L'hydrodistillation des fruits du *R. coriaria* de Sicile a donné un rendement en huile essentielle inférieur à 0,1% (Giovanelli et al., 2017), le même rendement est obtenu à partir des parties aériennes du *R. albida* du Maroc (Elhidar et al., 2021).

La variation du rendement des huiles essentielles est influencée par plusieurs facteurs environnementaux et géographiques tels que la sécheresse et la salinité (Aghaei et al., 2013 ; Sangwan et al., 2001). Ainsi que la période de récolte, car après la floraison 70% des huiles essentielles s'évaporent dans l'air (Aboukhalid et al., 2017).

Les résultats de la composition chimique des huiles essentielles du *R. tripartita* en Algérie montrent une certaine ressemblance avec les autres espèces du *Rhus*, notamment dans les composants majoritaires, comme l' α -pinène, Δ^3 -carène, caryophyllène-Z, limonène et Δ^3 -

cadinène. Le sumac égyptien est très riche en cymène-ol, β -ocimène et limonène, tandis que les populations jordaniens et palestiniens du *Rhus* sont riches en α -pinène et naphthalène (Frag et *al.*, 2018).

Les huiles essentielles du *R. coriaria* de Turquie sont caractérisées par l' α -pinène, le limonène, le nonanol, le β caryophyllène, l' α -terpinéol et le carvacrol (Kurucu et *al.*, 1993). L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles du *R. coriaria* par Brunke et *al.* (1993) en Turquie, ont montré la dominance des monoterpènes hydrocarbonés (α -pinène et limonène), suivis des sesquiterpènes hydrocarbonés (β -caryophyllène) et des sesquiterpènes oxygénés (oxyde de caryophyllène et alcool β -caryophyllène). L'analyse des huiles essentielles des fleurs et des feuilles du *R. coriaria* d'Italie a montré que les sesquiterpènes hydrocarbonés sont dominants dans les feuilles, tandis que les monoterpènes hydrocarbonés sont des constituants majeurs des fleurs (Reidel et *al.* 2017). En Tunisie, l'huile essentielle des feuilles et fruits du *R. tripartita* est dominées par les monoterpènes et les sesquiterpènes hydrocarbonés (94,71%) (Jallali et *al.*, 2022). Ces résultats sont conformes à nos résultats où l'huile essentielle du *R. tripartita* est dominée par les composés terpéniques tels que les monoterpènes et les sesquiterpènes hydrocarbonés. Par contre les huiles essentielles du fruit de *R. coriaria* de la Sicile ont présenté une abondance des composés non terpéniques (Giovanelli et *al.*, 2017), les mêmes résultats ont été observés des huiles essentielles des feuilles du *R. chinensis* en Chine (Zhu et *al.*, 2007).

Les travaux réalisés sur les huiles essentielles des populations mâles et femelles de *Pistachia atlantica* en Algérie, espèce proche du *R. tripartita*, ont révélé des ressemblances dans les profils chimiques avec *Rhus tripartita*. L' α -pinène, le terpinène-4-ol et le sabinène sont les composants majoritaires (Sifi et *al.*, 2015). La variation de la composition chimique est influencée par l'habitat, les conditions climatiques, ainsi que les conditions d'échantillonnage et les facteurs génétiques de la plante (Morshedlooa et *al.*, 2017).

A notre connaissance aucune étude n'a été réalisée sur les chémotypes du *R. tripartita*. Les chémotypes de cette espèce, sont basés sur trois composants majeurs, α -pinène, Δ^3 -carène et caryophyllène-Z, tandis que les chémotypes identifiés dans les populations Irlandaises du *R. coriaria* sont caractérisés par le caryophyllène-E, l' α -pinène et le cembrène (Morshedlooa et *al.*, 2017).

Le chémotype Δ^3 - carène qui caractérise les populations femelles, tandis que le chémotype terpinène-4-ol et le chémotype α -pinène/camphène caractérise les populations mâles de *P. atlantica* (Gourine et *al.*, 2010). Ces chémotypes présentent une certaine similitude

avec les chémotypes identifiés pour les populations Mâles (Tamanrasset et Boussaâda) et Femelle (M'Sila et Biskra) du *R. tripartita*.

2- Résultats antimicrobiennes

2-1 Activité antibactérienne des huiles essentielles du *R. tripartita*

L'activité antibactérienne des huiles essentielles des populations du *R. tripartita* a été réalisée in vitro par la méthode de diffusion sur disque dans un milieu gélosé solide (Muller Hinton). L'évaluation de pouvoir antibactérien a été obtenue sur huit souches bactériennes ATTC en mesurant la moyenne des diamètres des halos d'inhibition (**Figure 24**). Quatre antibiotiques ont été utilisés comme témoin positif dans cette analyse.

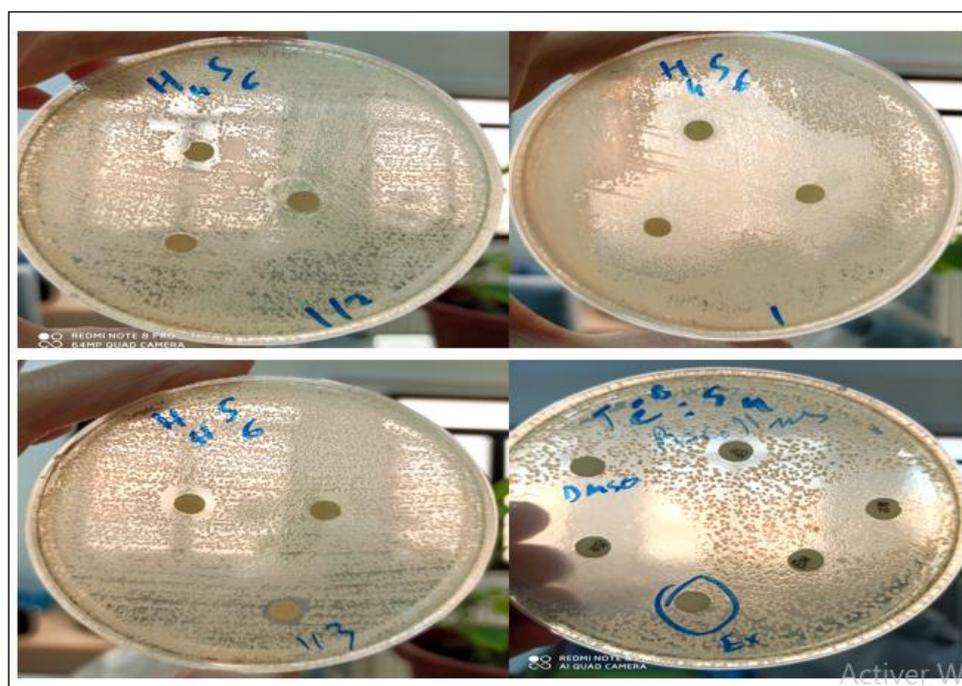


Figure 24 : Activité antibactérienne de l'huile essentielle du *R. tripartita* contre *B. cereus*

Les mesures des diamètres des zones d'inhibition révèlent que les souches bactériennes testées sont moyennement sensibles à l'huile essentielle du *R. tripartita* (**Tableau 13**). L'activité antibactérienne est variable selon les espèces bactériennes et les dilutions des huiles utilisées. Les huiles essentielles testées ont présenté un pouvoir d'inhibition important contre les bactéries *B. cereus*, *MRSA* et *E. faecalis*, avec des diamètres d'inhibition supérieurs à ceux des antibiotiques pour les populations mâles de Ksaiate ($45,33 \pm 0,57$ mm), Boussaâda ($55,33 \pm 1,5$ mm) et Tamanrasset ($48,66 \pm 0,57$ mm). L'effet de l'huile essentielle sur les souches bactériennes, *P. aeruginosa*, *P. mirabilis* et *K. pneumoniae* est modéré pour la majorité des populations.

Tableau 13 : Zones d'inhibition des huiles essentielles du *R. tripartita*

Souches	Dilution	Biskra F	Ksaïate M	Ksaïate F	Chaïba M	Chaïba F	M'Sila M	M'Sila F	Boussaâda M	Boussaâda F	Maitar M	Maitar F	Mergueb F	Mergueb M	Tamanrass et	
<i>E. coli</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Coli	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0
	Genta	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0
	Cefo	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0
	Imip	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0	22±0
<i>S. aureus</i>	1	0	0	0	0	0	0	8,3±0,9	0	0	0	0	0	0	0	
	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Coli	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0
	Genta	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0	33±0
	Cefo	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0	30±0
	Imip	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0	15±0
<i>E. faecalis</i>	1	21,7±2,9	17,3±1,5	9,3±0,6	25±4,3	9±0	12,7±0,6	16,7±3,1	55,3±1,5	21,7±1,5	9±0	11,3±2,3	8,7±0,6	20,3±1,2	8,3±1,5	
	1/2	10,7±0,6	9±1	8±0	11,3±4,1	9,3±0,6	9,7±0,6	5±3,6	9,3±1,5	13±1,7	6±4,2	0	8±0	10±1,73	0	
	1/3	8,7±0,6	0	7,3±0,6	8,3±1,2	7,3±0,6	0	0	5,7±4,	0	7,8±1	0	0	0	0	
	Coli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Genta	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0	20±0
	Cefo	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0
	Imip	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0	13±0
<i>P. aeruginosa</i>	1	0	0	0	0	11,3±0,6	0	18±1,7	0	0	0	10±0	0	8,3±0,6	11,3±0,6	
	1/2	0	0	9,2±0,2	0	9±1	0	13,7±2,1	0	0	0	0	0	0	9,3±0,6	
	1/3	0	0	0	0	8,7±1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7±0,6	

	Col	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0	14±0
	Gent	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0
	Cefo	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0	26±0
	Imip	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. mirabilis</i>	1	10,3±0,6	0	0	0	7,3±0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	9,3±0,6
	1/2	9,2±0,3	0	0	0	2,3±4,1	0	10,7±1,5	0	0	0	0	0	0	7,7±1,2
	1/3	7,7±0,6	7,3±0,6	7,7±0,6	0	2,3±4,1	0	8,3±1,5	0	0	0	0	0	0	8,3±0,6
	Coli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gen	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cefo	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	Imip	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
<i>B. cereus</i>	1	16,3±0,6	45,3±0,6	40,3±0,6	30,7±1,2	21,3±0,6	14,7±0,6	25±1	21,3±1,2	38,3±0,6	16,3±0,6	14,7±0,6	32,3±0,6	39,3±0,6	48,7±0,6
	1/2	12,3±0,6	16,7±0,6	12,7±0,6	13,7±0,6	10,7±0,6	11,6±0,5	12,7±0,6	12,7±0,6	15,7±0,6	13,3±0,6	11,3±1,2	12,7±0,6	12,3±0,6	18±1
	1/3	10,7±0,6	11,3±0,6	10,3±0,6	10,7±0,6	9,3±0,6	10,3±0,5	11,3±0,6	10,3±0,6	12,7±0,6	11,3±0,6	9,7±0,6	10,7±0,6	10,7±0,6	13,7±0,6
	Coli	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,4	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5	11,3±0,5
	Genta	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,6±0,4	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5	34,7±0,5
	Cefo	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4	14,5±0,4
	Imip	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5	19,2±0,5
<i>K. pneumoniae</i>	1	0	0	0	14,7±0,6	0	12±1	0	21,3±1,2	0	11,3±0,6	0	0	0	14±1
	1/2	0	0	0	10,3±0,6	0	9±1	0	12,7±0,6	0	8,7±0,6	0	0	0	10±1
	1/3	0	0	0	0	0	0	0	10,3±0,6	0	0	0	0	0	8,2±0,3
	Coli	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,6±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5
	Genta	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,6±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5	29,7±0,5
	Cefo	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5	30,3±0,5
	Imip	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8	30±0,8
MRSA	1	15,3±0,6	13,7±0,6	14,7±0,6	15,3±0,6	16,7±1,2	0	16±1	14,7±0,6	15,2±0,3	19,3±0,6	18,7±0,6	11,7±0,6	11,3±0,6	18,7±0,6
	1/2	8,3±0,6	9,7±0,6	10,7±0,6	9,7±0,6	12,7±0,6	0	12,3±0,6	11,7±0,6	11,8±0,3	14,3±0,6	12,7±0,6	9,7±0,6	9,3±0,6	13,8±0,3
	1/3	0	0	8±0	7,7±0,6	10,7±0,6	0	11,3±0,6	10,7±0,6	10,7±0,6	10,7±0,6	8,2±0,3	7,7±0,6	7,7±0,6	9,7±0,6
	Coli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Genta	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5	20,3±0,5

	Cefo	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,4	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5	25,3±0,5
	Imip	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,6±0,4	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5	9,7±0,5

Coli: Colistine, Genta: Gentamicine, Cefo: Cefotaxime, Imip: Imipinèm

Les bactéries *E. coli* et *S. aureus* présentent une résistance importante aux huiles essentielles du *R. tripartita*. L'activité antibactérienne de l'huile essentielle pure est plus efficace contre les bactéries testées que l'huile diluée, plus les huiles sont concentrées plus leur activité est importante dans l'inhibition de la croissance bactérienne.

La souche *B. cereus* est extrêmement sensible à l'huile essentielle du *R. tripartita* (**Figure 25**). L'effet inhibiteur de l'huile essentielle de certaines populations est supérieur à celui des antibiotiques. Les huiles essentielles des populations mâles de Tamanrasset et Ksaiate sont les plus efficaces à inhiber la croissance bactérienne.

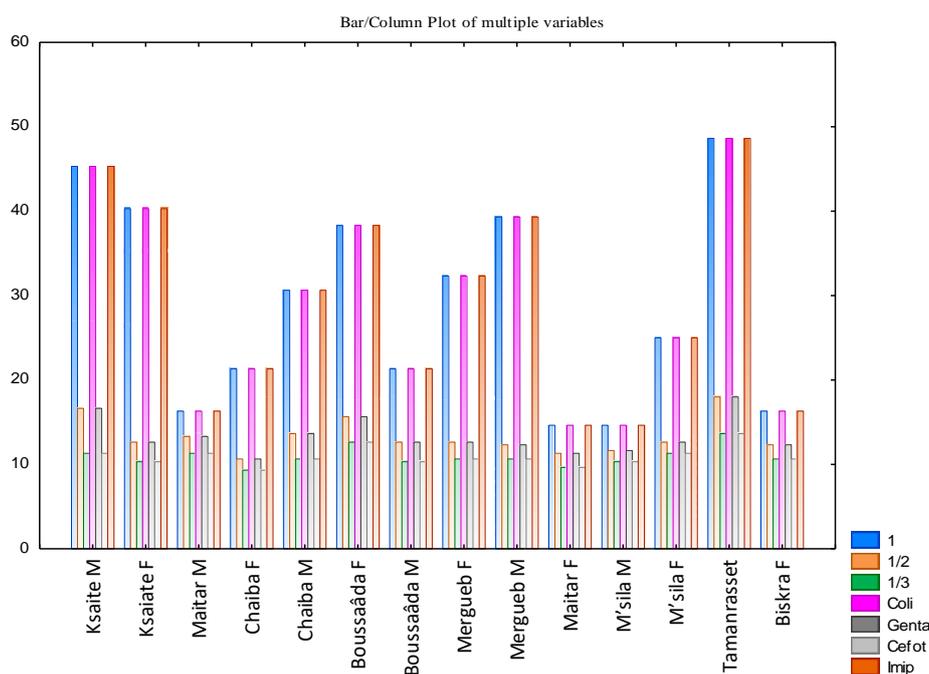


Figure 25 : Pourcentages d'inhibition de la souche *Bacillus cereus*

2-1-1 Analyse statistique (ANOVA) de l'huile essentielle de *Rhus tripartita*

Les résultats de l'activité antibactérienne ont été soumis à une analyse statistique (ANOVA). L'analyse a montré que les facteurs (souche bactérienne, dilution et populations) ainsi leurs interactions sont hautement significatives ($P < 0,001$) (**Tableau 14**).

L'huile essentielle de la population mâle Tamanrasset, classée dans le groupe « a », présente la plus forte activité contre les bactéries testées avec un diamètre d'inhibition moyen de 14,62 mm, suivi par l'huile essentielle de la population mâle de Boussaâda, classée dans le groupe « b », avec un diamètre d'inhibition de 14,27 mm (**Tableau 15**).

Tableau 14 : Effets et interactions des huiles essentielles de *R. tripartita*

Source	Df	F	P
Effet			
Bactérie	7	5766.80	.0000 ***
Dilution	6	68309.70	.0000 ***
Population	13	168.62	.0000 ***
Interactions			
Bactérie * Dilution	42	4940.41	.0000 ***
Bactérie * Population	91	125.80	.0000 ***
Dilution * Stations	78	63.84	.0000 ***
Bactérie * Dilution * Population	546	64.43	.0000 ***

Note *** hautement significatif ($P < 0,001$)

Tableau 15 : Efficacité des huiles essentielles du *R. tripartita* sur les bactéries testées.

Rang	Population	Moy (mm)	n	Groupes significatifs
1	Tamanrasset M	14.62	168	a
2	Boussaâda M	14.27	168	b
3	M'Sila F	13.94	168	c
4	Chaiba M	13.59	168	d
5	Chaiba F	13.43	168	e
6	Ksaiate F	13.25	168	f
7	Boussaâda F	13.21	168	f
8	Mergueb M	13.19	168	f
9	Biskra F	13.13	168	f
10	Maitar M	13.07	168	f
11	Ksaiate M	13.06	168	f
12	Mergueb F	12.59	168	g
13	Maitar F	12.49	168	g
14	M'Sila M	12.19	168	h

Alors que l'huile essentielle de la population mâle de M'Sila, classé dans le groupe «h», présente la plus faible activité avec un diamètre moyen d'inhibition de 12,49 mm (**Figure 26**).

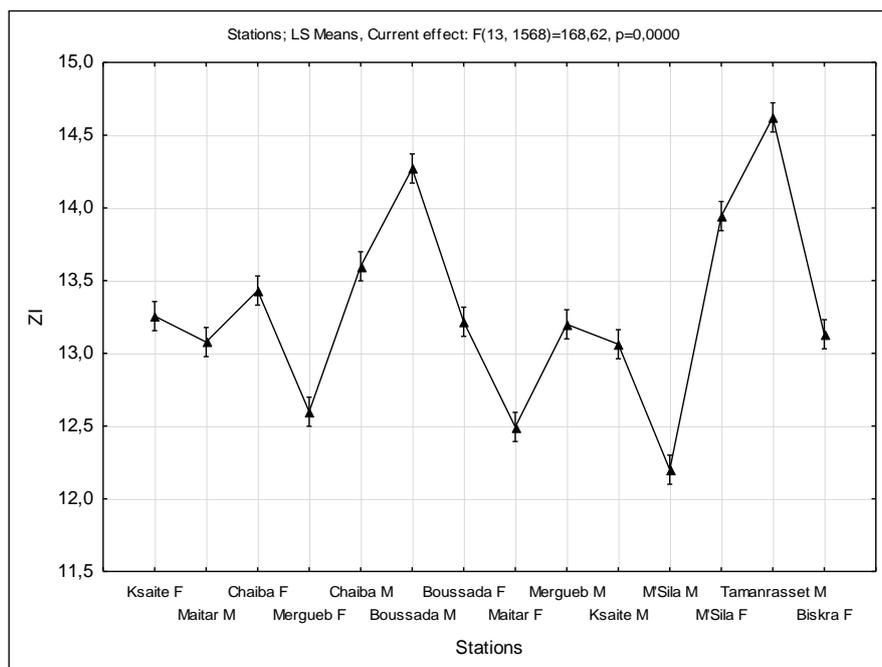


Figure 26: Diamètres des zones d'inhibition des populations du *R. tripartita*

Les huiles essentielles du *R. tripartita* et les antibiotiques ont présenté une activité importante contre les souches bactériennes testées (**Tableau 16**). *B. cereus* et *MRSA* sont très sensibles aux huiles essentielles du *R. tripartita* avec des moyens d'inhibition de 19,04 mm et 15,80 mm, respectivement. Alors que les souches *K. pneumoniae*, *E. coli*, *P. mirabilis*, *P. aeruginosa* et *E. faecalis* sont moins sensibles.

Tableau 16 : Classe de sensibilité des bactéries aux huiles essentielles du *R. tripartita*

Rang	Bactérie	Moy. (mm)	n	Groupes significatifs	S*
1	<i>B. cereus</i>	19.04	294	a	++
2	<i>MRSA</i>	15.80	294	b	++
3	<i>S. aureus</i>	14.08	294	c	+
4	<i>K. pneumoniae</i>	12.50	294	d	+
5	<i>E. coli</i>	12.44	294	d	+
6	<i>P. mirabilis</i>	11.39	294	e	+
7	<i>P. aeruginosa</i>	10.62	294	f	+
8	<i>E. faecalis</i>	10.43	294	g	+

LSD 0.05 = 0,1071 ; S*: (+) Sensible ; (++) très sensible.

L'analyse statistique concernant la sensibilité des bactéries aux antibiotiques ont montré que les antibiotiques, gentamicine et cefotaxime, présentent une activité antibactérienne importante avec des diamètres d'inhibition de 27,12 mm et 25,02 mm, respectivement (**Tableau**

17). L'huile essentielle pure a présenté le meilleur pouvoir inhibiteur par rapport aux huiles diluées avec un diamètre moyen d'inhibition de 9,20 mm.

Tableau 17 : Effet des dilutions et des antibiotiques sur les bactéries

Rang	Dilutions	Moy. (mm)	n	Rang significatif
1	Gentamicine	27.12	336	a
2	Cefotaxime	25.02	336	b
3	Imipinèm	14.66	336	c
4	1/1	9.20	336	d
5	Colistine	8.52	336	e
6	1/2	5.05	336	f
7	1/3	3.47	336	g

2-1-2 Test de désirabilité

Le test de désirabilité a dévoilé que l'huile essentielle des populations du *R. tripartita* présente une valeur de prédiction de 0,21172, ce qui est considéré comme une valeur faible (**Figure 27**). Les huiles essentielles des populations Femelle de Ksaiate et Biskra sont les plus désirées dans le test, ils présentent une valeur égale à la valeur prédite. L'antibiotique gentamicine est plus efficace pour inhiber la croissance des bactéries, mieux que les huiles diluées. Tandis que, l'huile essentielle pure du *R. tripartita* est également souhaitable pour inhiber la croissance bactérienne. Il a montré une valeur égale à la valeur prédite. Le test de désirabilité montre que les souches bactériennes testées ont des valeurs supérieures ou égale à la valeur prédite, ce qui confirme que ces bactéries sont moyennement sensibles aux huiles essentielles du *R. tripartita*.

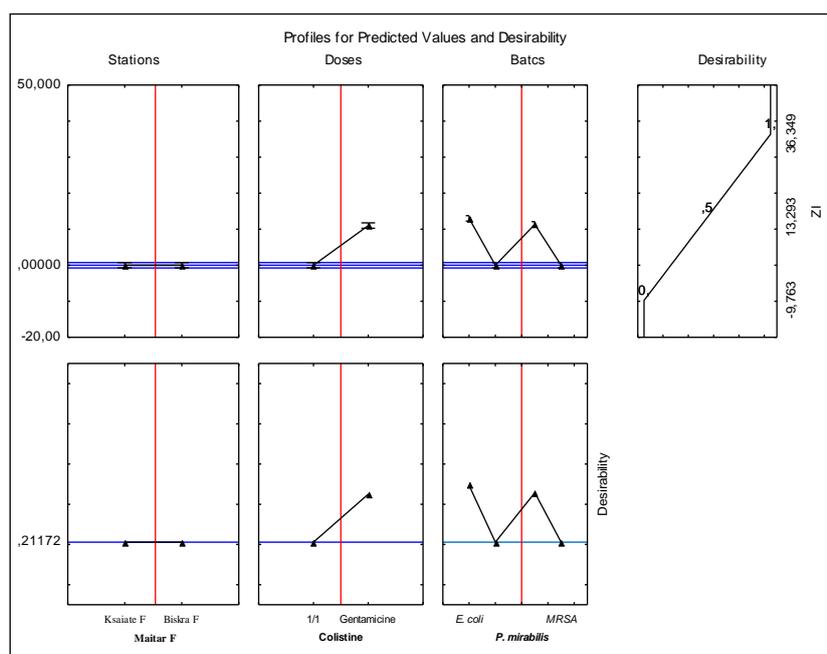


Figure 27 : Test de désirabilité de l'huile essentielle des populations du *R. tripartita*

2-1-3 Discussion

Par manque d'étude sur l'activité antibactérienne de l'huile essentielle du *R. tripartita*, nos résultats ont été comparés aux travaux réalisés sur d'autres espèces de la famille. Les huiles essentielles du *R. coriaria* ont présenté une activité antibactérienne modérés contre *S. aureus*, *E. coli*, *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa* (Zhaleh et al., 2018).

Les résultats obtenus sont en accord avec les travaux de Hasheminya et al. (2020), qui ont montré que l'huile essentielle du *Pistacia atlantica* a une activité antibactérienne moyenne contre *S. aureus* et une activité faible contre *P. aeruginosa* et *E. coli*.

En revanche, les résultats de Rezaie et al. (2015) confirment que les huiles essentielles du *P. atlantica* ont une faible activité sur les bactéries Gram négatives, alors que leurs activités étaient plus efficaces contre les bactéries gram positive. Les bactéries Gram-négatives sont plus résistantes aux agents antibactériens que les bactéries Gram-positives en raison de la présence d'une membrane externe supplémentaire agissant comme une barrière efficace pour les agents amphipathiques (Cole et al., 2014 ; Elshafie et al., 2016).

L'activité antibactérienne du *R. tripartita* peut être attribuée aux différents constituants phytochimiques présents dans l'extrait brut (Habibi et al., 2015). Le pouvoir antibactérien du *R. tripartita* est probablement lié à sa richesse en grande quantité de composés phénoliques (Nostro et al., 2000).

L'huile essentielle du *R. tripartita* est riche en monoterpènes. Ces derniers sont déjà connus pour leurs propriétés lipophiles, qui agissent sur l'expansion de la membrane bactérienne en augmentant la fluidité et la perméabilité de la membrane, la perturbation des protéines membranaires, l'inhibition de la respiration et l'altération des processus de transport des ions (Kachur et Suntres, 2019; Prashar et al., 2003). L' α -pinène qui représente le produit majoritaire de l'huile essentielle du *R. tripartita* est également connu pour son effet contre les bactéries Gram-positive et Gram-négatives tels *MRSA* et *E. coli* (Yang et al., 2015). Il agit en outre sur l'expression accrue des pompes d'efflux antimicrobiennes et interagit avec les voies métaboliques (Kovac et al., 2015).

2-2 Activité antifongique des huiles essentielles du *R. tripartita*

Le pouvoir antifongique de l'huile essentielle du *R. tripartita* a été déterminé par la méthode de diffusion sur disque contre quatre souches fongiques phytopathogènes : *Alternaria alternata*, *Phytophthora. infestans*, *Fusarium solani*, *Fusarium gramineum* et une levure *Candida albicans* (Tableau 18).

La mesure des pouvoirs d'inhibitions révèle que les souches fongiques testées sont sensibles à l'huile essentielle du *R. tripartita*. Le pouvoir d'inhibition le plus élevé est obtenu par l'huile essentielle pure de la population mâle de Ksaïate contre la souche fongique *C. albicans* avec un pourcentage d'inhibition de $90,74 \pm 3,43$ %. Tandis que, la souche fongique *A. alternata* a montré une grande résistance à l'huile essentielle pure de la population femelle de Maitar, avec un pourcentage d'inhibition de $14,16 \pm 0,68$ %. Les autres souches fongiques (*P. infestans*, *F. solani* et *F. graminum*) ont montré sensibilité modérée allant de $15,83 \pm 0,68$ à $31,53 \pm 1,66$ %.

Les différentes dilutions des huiles essentielles ont montré que les pourcentages d'inhibition les plus élevés sont enregistrés à la concentration 1/1 (huile pure), alors que les autres dilutions sont marquées par des pourcentages d'inhibition modérés.

En absence d'huile essentielle (témoin négatif), la croissance mycélienne la plus élevée est enregistré chez *C. albicans* ($90 \pm 0,68$ mm). Alors que la plus faible croissance est notée chez *A. alternata* et *F. solani* ($60 \pm 0,72$ mm).

2-2-1 Analyse statistique (ANOVA) de l'huile essentielle de *Rhus tripartita*

Les résultats de l'activité antifongique des huiles essentielles du *R. tripartita* ont été soumis à une analyse statistique (ANOVA). L'analyse a fait ressortir que les facteurs (souches fongiques, dilution et populations) et leurs interactions sont très significatives ($P < 0,001$) (**Tableau 19**).

Tableau 18 : Pourcentage d'inhibition de l'activité antifongique de l'huile essentielle du *R. tripartita*

souches	Dilution	Biskra F	Ksaïate M	Ksaïate F	Chaïba M	Chaïba F	M'Sila M	M'Sila F	Boussaâda M	Boussaâda F	Maitar M	Maitar F	Mergueb F	Mergueb M	Tamanrasset
<i>A. alternata</i>	1	19,7±0,4	22,8±0,8	21,1±0,8	24,4±0,8	19,4±0,8	17,5±0,7	22,8±0,8	21,7±1,4	21,1±0,8	16,9±0,4	14,2±0,7	17,8±0,8	19,2±0,7	26,1±0,8
	1/2	16,1±0,8	17,8±0,8	15,6±0,8	21,1±0,8	15,6±0,8	14,7±0,4	17,8±0,8	16,4±0,4	18,1±1	10±0	0	11,9±0,4	14,4±0,8	20,8±1,2
	1/3	12,2±0,8	15,6±0,8	12,8±0,8	16,1±0,8	10±0	0±0	14,4±0,8	15,3±0,4	14,4±0,8	0±0	0	8,6±0,4	11,1±0,8	12,8±0,8
	Témoin	60													
<i>P. infestans</i>	1	22,6±0,7	17,9±0,7	21,8±0,4	22,6±0,7	20,5±0,7	22,3±0,6	21,5±0,6	21±0,7	22,6±0,7	20,5±0,4	22,3±0,6	16,2±0,6	20±0,6	21,5±0,6
	1/2	19,5±0,7	13,8±1	18,5±0	19,5±0,7	18,5±1,3	18,8±0,4	18,2±0,4	17,4±0,7	17,9±0,7	15,6±0,4	18,7±0,4	12,1±1	14,9±0,7	18,2±0,4
	1/3	16,4±0,7	11,02±0,4	14,4±0,7	16,4±0,7	14,6±0,6	10,5±1	15,1±0,4	13,8±1,25	14±0,5	12±0,4	13,4±1	0	10,3±0,7	15,1±0,4
	Témoin	65													
<i>F. solani</i>	1	23±1	17,2±0,8	24,4±0,8	19,7±0,4	21,1±0,8	21,9±0,4	23,6±0,4	21,9±0,4	24,4±0,8	20,3±0,4	21,9±0,4	20,3±0,4	15,8±0,7	23,6±0,4
	1/2	17,8±0,8	14,7±0,4	19,4±0,8	14,4±0,8	17,8±0,8	16,7±0	16,1±0,8	18±1,03	21,1±0,8	16,4±0,4	16,9±,39	16,4±0,4	10,8±0,7	16,1±0,8
	1/3	12,8±0,8	10,5±0,8	14,4±0,8	13±0,4	13,9±0,8	12,8±0,4	12,8±0,8	15±1,36	16,1±0,8	12,5±0,7	12,8±0,4	13,1±0,4	0	12,8±0,8
	Témoin	60													
<i>F. gramineum</i>	1	28,7±0,7	24,9±0,4	30,3±0,7	31,5±1,7	24,6±1,3	25,9±1	24,6±0,6	24,4±1	23,3±0,4	21,8±0,4	22,8±1	27,2±0,7	23,3±0,4	24,6±0,6
	1/2	19±0,7	18,7±0,4	22,8±0,4	23,6±0,7	16,4±0,7	16,7±1	17,4±0,7	16,7±1	16,2±0,6	16,4±0,7	17,9±0,7	18,2±0,4	19,2±0,6	17,4±0,7
	1/3	15,1±1	15,9±0,7	15,1±0,4	16,2±0,6	13,6±1	12,3±1,1	11,02±0,4	11,8±0,7	11±0,4	12,5±1	13,3±0,4	13,6±0,4	14,6±0,6	11±0,4
	Témoin	65													
<i>C. albicans</i>	1	74,8±0,5	90,7±3,4	88,5±0,5	77,8±0,9	83±0,5	82,6±0,5	88,5±0,5	82,2±0,9	88,1±0,5	89,3±0,5	84,81±3,4	78,1±0,5	84,4±0,9	88,5±0,5
	1/2	60±0,9	66,3±0,5	77±0,5	62,4±0,3	60,7±0,5	61,9±0,5	66,3±0,5	63,7±0,5	65,9±0,5	77,4±0,5	66,3±0,5	62,2±0	63,7±0,5	66,3±0,5
	1/3	56,3±0,5	61,6±0,5	55,9±0,5	57±2,1	56,7±1,6	56,2±9,1	62,2±0,90	55,2±0,5	53,5±2	57±5,8	57±1	56,7±1,6	60±1,6	62,2±0,9
	Témoin	90													

Tableau 19 : Effets et interactions de l'activité antifongique des HEs du *R. tripartita*

Source	df	F	P
Effet			
Souches fongiques	4	56973.85	.0000 ***
Dilution	2	7730.43	.0000 ***
Populations	13	101.21	.0000 ***
Interactions			
Souches fongiques * Dilutions	8	564.74	.0000 ***
Souches fongiques * Populations	52	71.52	.0000 ***
Dilutions * Populations	26	11.18	.0000 ***
Souches fongiques * Dilutions * Populations	104	12.39	.0000 ***

Note *** hautement significatif ($P < 0,001$)

L'analyse statistique suggère que l'efficacité des huiles essentielle du *R. tripartita* contre les souches fongiques est la meilleure pour la population femelle de Ksaiate, cette HE est classée dans le groupe « a » avec un pourcentage moyen d'inhibition de 30,14 % ; Suivi par l'HE de la population femelle de M'Sila (29,83 %), de la population mâle de Tamanrasset (29,14 %) et la population mâle de Chaiba (29,05 %) qui sont classés dans le groupe « b ». Alors que, la plus faible activité antifongique est enregistrée chez la population femelle de Mergueb (groupe i) avec un pourcentage moyen d'inhibition de 24,81 % (**Tableau 20**).

Tableau 20 : Effet des huiles essentielles du *R. tripartita* sur les souches fongiques testées

Rang	Population	Moy (mm)	n	Groupes significatifs
1	Ksaiate F	30,14	45	a
2	M'Sila F	29,83	45	b
3	Tamanrasset M	29,14	45	b
4	Chaiba M	29,05	45	b
5	Boussaâda F	28,52	45	c
6	Ksaiate M	27,97	45	d
7	Boussaâda M	27,63	45	d
8	Biskra F	27,60	45	d
9	Chaiba F	27,09	45	e
10	Maitar M	26,55	45	f
11	M'Sila M	26,06	45	g
12	Maitar F	25,51	45	h
13	Mergueb M	25,45	45	h
14	Mergueb F	24,81	45	i

Les souches fongiques ont manifesté une sensibilité faible à l'encontre d'HE du *R. tripartita*, à l'inverse *C. albicans* est très sensible avec une moyenne de 69,28 %. Tandis que le

pourcentage d'inhibition le plus faible est obtenue contre *A. alternata* avec 15,20 %. L'effet de l'huile essentielle sur *F. graminum*, *P. infestans* et *F. solani* est modéré (**Tableau 21**).

Tableau 21 : Sensibilité de souches fongiques testées aux HEs du *R. tripartita*

Rang	Souche fongique	Moy.	n	Groupes significatifs	S*
1	<i>C. albicans</i>	69,28	126	a	++
2	<i>F. graminum</i>	19,13	126	b	++
3	<i>P. infestans</i>	17,15	126	c	+
4	<i>F. solani</i>	16,73	126	d	+
5	<i>A. alternata</i>	15,20	126	e	+

L'huile essentielle pure du *R. tripartita* exprime la plus grande efficacité avec un pourcentage moyen d'inhibition de 34,56 %. Alors que les autres dilutions (1/2 et 1/3) ont montré des pourcentages moyens d'inhibition respectifs de 26,63 % et 21,30 % (**Tableau 22**).

Tableau 22 : Efficacité des concentrations des HEs utilisées

Rang	Dilutions	Moy.	n	Significant ranges
1	1/1	34,56	210	a
2	1/2	26,63	210	b
3	1/3	21,30	210	c

2-2-2 Test de désirabilité

Le test de désirabilité de l'huile essentielle du *R. tripartita* par rapport aux souches fongiques testées révèle une activité antifongique modérée de 0,38089 (**Figure 28**). Ce test indique que la population femelle de Ksaïate est la plus performante, étant donné qu'elle a présenté une valeur supérieure à la valeur prédite. En revanche, la meilleure activité antifongique a été observée avec la dilution 1/1 dans toutes les stations. Les valeurs de prédiction pour les souches fongiques (*C. albicans*, *F. graminum*, *P. infestans* et *F. solani*) ont manifesté une bonne activité avec une valeur supérieure à 0,38089. Les huiles essentielles du *R. tripartita* sont plus désirables pour inhiber la croissance des souches fongiques *C. albicans*, *F. graminum*, *P. infestans* et *F. solani*. Cependant, elles sont considérées comme indésirables pour inhiber la croissance fongique d'*A. alternata*.

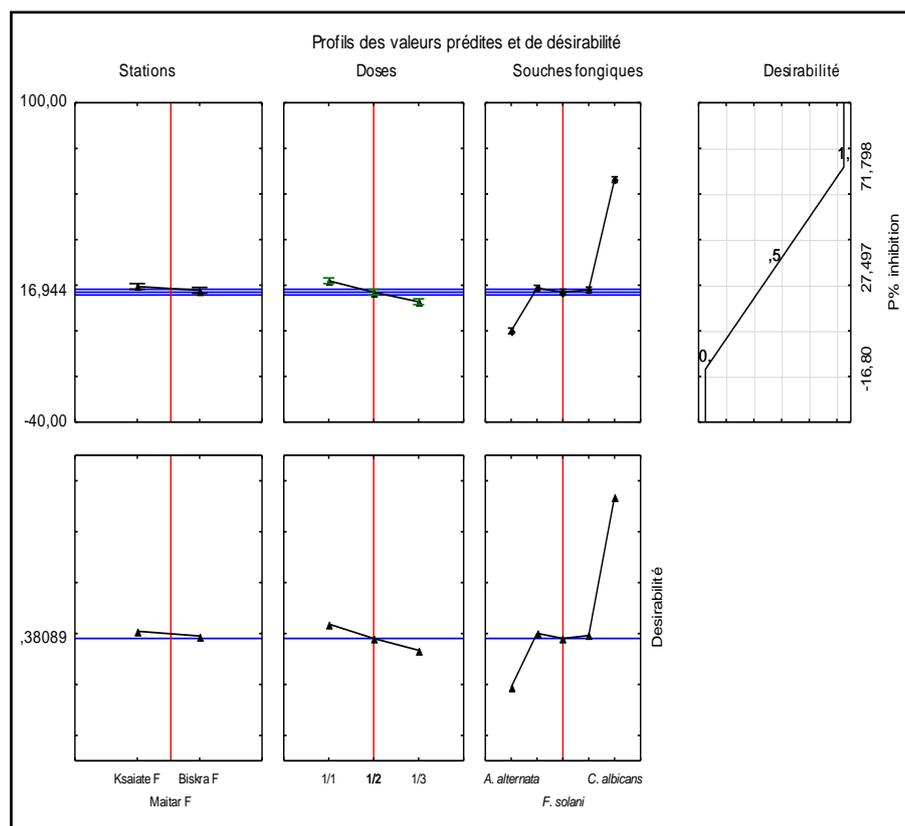


Figure 28 : Profile des valeurs prédites et désirabilités de l'activité antifongique des HEs essentielles du *R. tripartita*

2-2-3 Discussion

Les huiles essentielles de nos populations sont seulement efficaces contre *C. albicans*. L'huile essentielle du *R. lancea* d'Afrique du sud a représenté une activité antifongique importante contre les pathogènes *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* et *Candidat albicans* (Gundidaz et al., 2008). Des résultats similaires sont obtenus par Hasheminya et Dehghannya (2020) dans une étude sur les huiles essentielles du *Pistacia atlantica* (*Anacardiaceae*) d'Iran, qui ont montré une activité significative contre *C. albicans*. Les huiles essentielles du *Pistacia vera*, *Pistacia terebinthus* et *Pistacia lentiscus* provenant de Turquie ont montré une activité modérée contre *F. sambucinum*, et une activité faible contre *Pythium ultimum* et *Rhizoctonia solani* (Duru et al., 2003).

Les composants actifs tels que les monoterpènes, les sesquiterpènes et leurs alcools, sont associés à l'activité antimicrobienne des huiles essentielles (Hasheminya et Dehghannya, 2020). Une corrélation entre les structures chimiques des composants majeurs des huiles essentielle et leur activité antimicrobienne est signalée (Burt, 2004). Gundidaz et al. (2008) propose que l'activité antifongique des huiles essentielles du *R. lancea* soit probablement associée à la forte concentration d' α -pinène.

Les mêmes constatations ont été rapportés par Bomfim de Barros et *al.* (2023) qui supportent que l' α -pinène présente une activité fongicide significative contre *Candida albicans*. Selon Touaibia (2012) Les souches *Aspergillus niger* et *Penicillium sp* ont été sensibles à l'huile essentielle *Myrtus communis*. Elle attribue cette activité antifongique aux constituants majoritaires tels que l' α -pinène. Les huiles essentielles du *R. tripartita* de nos populations ont comme principal composant l' α -pinène.

Il convient également de noter que la variation de degré d'inhibition de la croissance des mycéliums contre les micro-organismes dépend d'autres facteurs, tels que les méthodes antimicrobiennes de dépistage, le jour d'observation, la concentration d'huile et les espèces fongiques examinées (Mehdizadeh et Moghaddam, 2018).

3- Activité antioxydante

3-1- Pourcentage d'inhibition et IC₅₀ des huiles essentielles

La méthode utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des huiles essentielles du *R. tripartita* in vitro est le test de piégeage de radical DPPH. Les résultats obtenus sont comparés et validés en utilisant le contrôle positif BHT. Les pourcentages d'inhibition des huiles essentielles des populations étudiés ainsi que du BHT sont présentés dans le **tableau 23**.

Les résultats obtenus indiquent que les huiles essentielles du *R. tripartita* dévoilent un pouvoir antioxydant particulièrement intéressant, qui varie en fonction de l'augmentation des concentrations utilisés. Le pouvoir d'inhibition le plus élevé est enregistré chez la population mâle de Tamanrasset avec un pourcentage moyen d'inhibition de $87,34 \pm 0,28$ %. Par contre la plus faible activité antioxydante est notée chez la population mâle de Chaïba avec un pourcentage moyen d'inhibition de $1,88 \pm 0,26$ %. La valeur de l'IC₅₀, qui est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH, est inversement proportionnelle à l'activité antioxydante. La détermination de l'IC₅₀ ($IC_{50} = (50-b) / a$) est réalisée graphiquement en utilisant les courbes des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations (Figure 29).

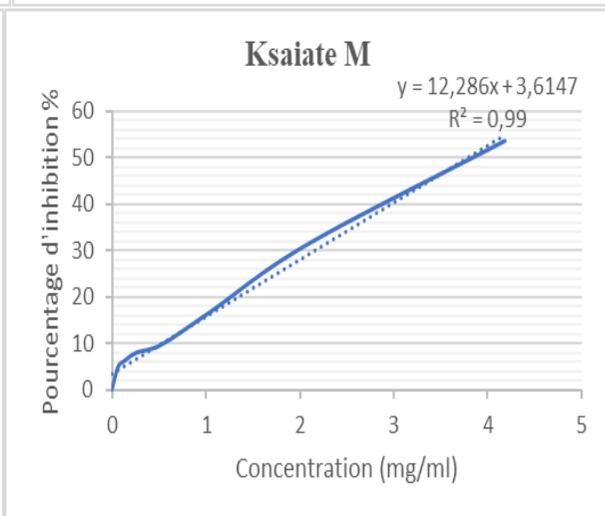
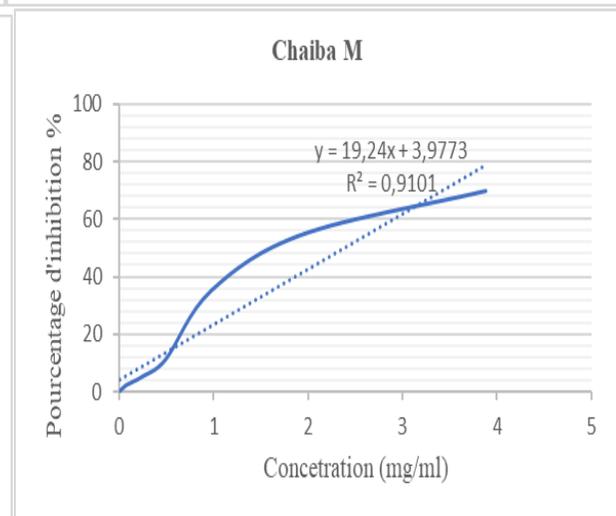
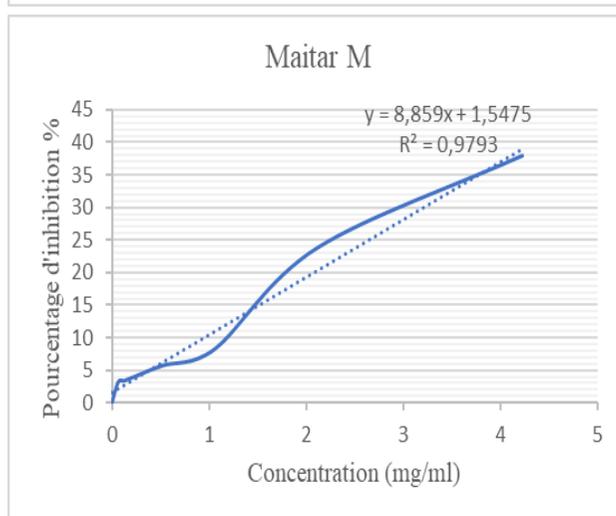
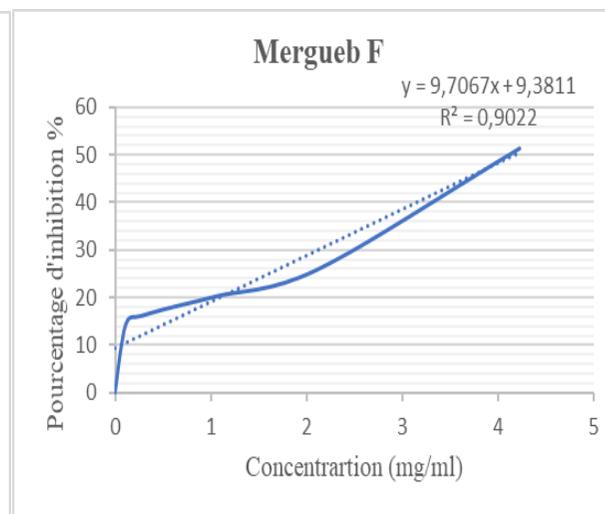
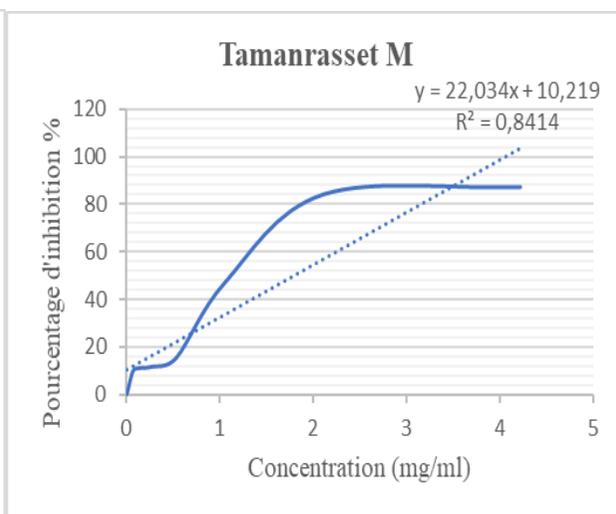
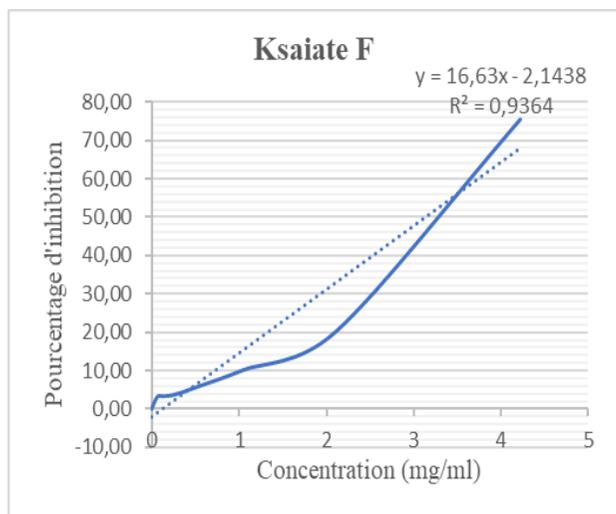
La diminution de la valeur de l'IC₅₀ est traduite par une augmentation de l'activité antioxydante. Les huiles essentielles extraites des populations femelles de Boussaâda, Chaïba et la population mâle Tamanrasset ont présenté une activité antioxydante exceptionnelle, capables de réduire le radical libre stable (DPPH), avec des valeurs d'IC₅₀ de $1,74 \pm 0,81$; $1,77 \pm 0,27$ et $1,8 \pm 0,70$ mg/ml, respectivement (**Tableau 24**).

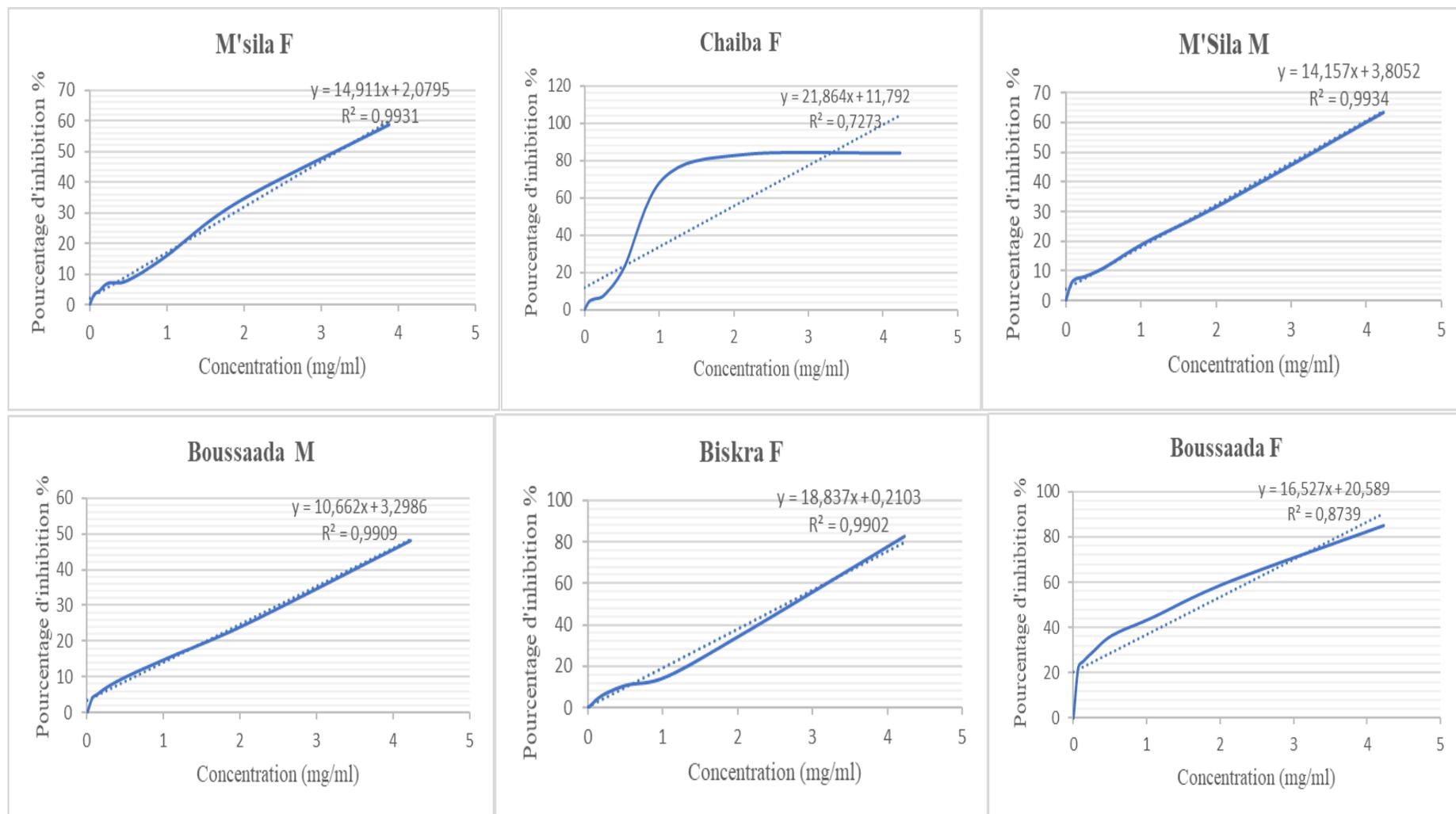
Tableau 23 : Pourcentage d'inhibition des HEs du *R. tripartita*

Stations	1/1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64
Biskra F	82,4±0,8	36,6±0,4	15,2±0,4	11,1±0,3	7,5±0,3	4,6±0,8	2,3±0,3
Chaiba M	69,6±0,3	54,5±0,8	34,9±1,1	10,9±0,3	5,1±0,4	2,95±0,2	1,9±0,3
Chaiba F	83,9±0,1	83±0,1	70,4±0,3	22,4±0,1	7,8±0,3	5,7±0,4	4,5±0,6
Ksaiate M	53,7±0,1	31,5±0,4	16,8±0,6	9,7±0,3	8±0,1	6,2±0,1	4,97±0,4
Ksaiate F	75,6±0,5	16,4±3,4	10,2±1,3	5,8±0,5	3,8±0,2	3,4±0,1	3,2±0,4
Boussaâda M	49,2±0,6	25,2±0,7	15,4±0,6	10,3±0,5	7,3±0,8	5,2±0,9	4,1±0,8
Boussaâda F	85,2±2,4	60,3±0,3	44,2±0,7	36,7±0,3	29,3±0,4	25,1±1,2	22,5±0,4
Maitar M	37,9±0,4	23,8±0,9	8,3±0,5	5,8±0,4	4,3±0,6	3,5±0,4	3,2±0,4
Maitar F	40,9±0,6	19,8±0,6	12,9±0,3	10,3±0,5	7,5±3,9	3,7±0,5	2,2±0,4
Mergueb f	51,4±1	25,9±0,1	20,3±0,2	17,6±0,3	16,1±0,03	15,2±0,1	9,9±0,2
Mergueb M	48,2±0,6	43,3±0,7	21,4±0,7	19,7±0,4	13,1±0,3	7±0,2	4,1±0,4
M'Sila M	63,5±1,6	33,2±1,3	19,7±0,5	11,5±0,5	8,4±0,7	7,4±0,6	5,5±1
M'sila F	58,8±1,4	33,9±0,4	15,9±0,3	7,96±0,2	7,2±0,3	4,5±0,5	3,52±0,5
Tamanrasset M	87,3±0,3	85,2±0,8	47,2±0,6	15,2±0,7	11,6±0,8	11±0,7	9,8±1
BHT	90,3±1,5	86,2±0,9	82,3±0,9	74,7±0,4	46,7±0,6	34,2±1,2	24,7±2

Tableau 24 : Valeurs IC₅₀ des HEs du *R. tripartita*

Populations	IC ₅₀ (mg/ml)
Biskra F	2,64 ± 0,46
Ksaiate M	3,77 ± 0,29
Ksaiate F	2,87 ± 0,89
Chaiba M	2,39 ± 0,48
Chaiba F	1,74 ± 0,27
M'Sila M	3,26 ± 0,89
M'Sila F	3,21 ± 0,51
Boussaâda M	4,38 ± 0,69
Boussaâda F	1,77 ± 0,81
Maitar M	5,46 ± 0,49
Maitar F	5,28 ± 0,97
Mergueb M	3,86 ± 0,45
Mergueb F	4,18 ± 0,25
Tamanrasset M	1,8 ± 0,70
BHT	0,75± 0,45





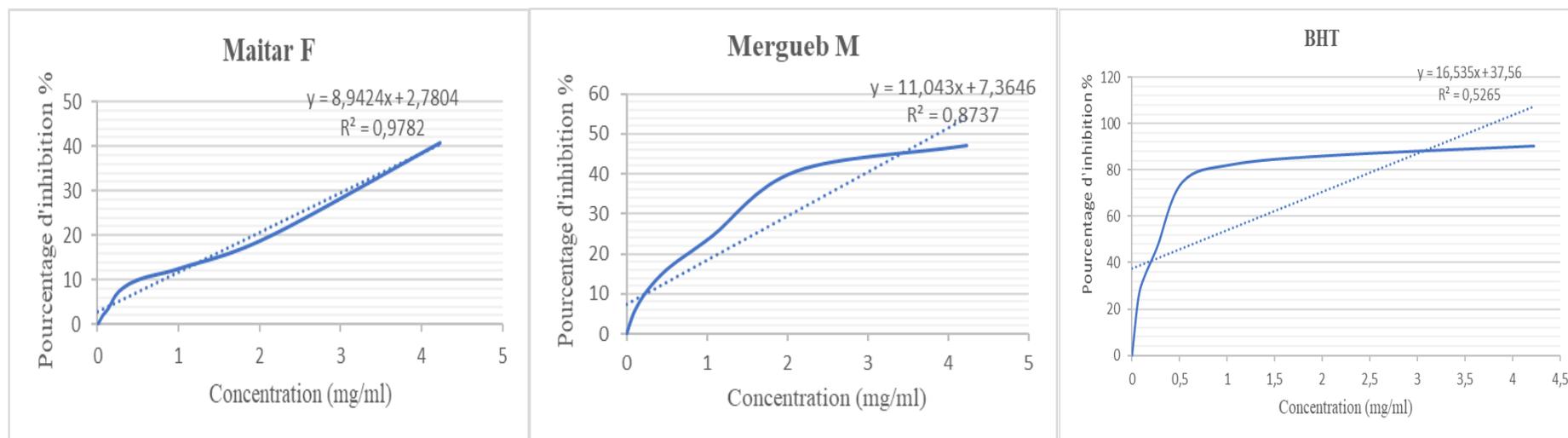


Figure 29 : Variation des pourcentages d'inhibition des HEs du *R. tripartita* en fonction des concentrations utilisés.

Alors que, les huiles essentielles des populations mâle et femelle de Maitar ont montré la plus faible activité antioxydante avec des IC_{50} respectifs de $5,46 \pm 0,49$ et $5,28 \pm 0,97$ mg/ml. Suivi de la population mâles et de boussaâda ($4,38 \pm 0,69$) et la population femelles et Mergueb ($4,18 \pm 0,25$)

En effectuant une comparaison entre l'activité antioxydante des huiles essentielles et celle de la substance de référence BHT, on constate que le BHT présente la plus grande activité antioxydante avec une IC_{50} de $0,75 \pm 0,45$ mg/ml. Cependant que les populations femelles de Boussaâda, Chaiba et la population mâle de Tamanrasset ont démontré une efficacité voisine à celle observée avec le BHT.

3-2 Analyse statistique ANOVA de l'activité antioxydante du *R. tripartita*

L'analyse statistique des résultats de l'activité antioxydante, effectuée à l'aide de l'analyse de variance, montre une significativité élevée pour les populations et les doses testés ($P < 0,05$) (Tableau 25).

Tableau 25 : Efficacité et interactions des huiles essentielles du *R. tripartita*

Source	df	F	P
Effet			
Population	13	5,069261	.0000 ***
Dilution	7	121,61265	.0000 ***
Interactions			
Dilution * Population	91	1,330983	.0000 ***

Note *** hautement significatif ($P < 0,001$)

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA confirment les résultats précédemment obtenus pour l' IC_{50} . Les huiles essentielles du *R. tripartita* issues des populations femelles de Boussaâda, Chaiba et Tamanrasset mâle, classées dans le groupe "a", se distinguent par leur capacité supérieure à réduire le radical DPPH, avec des moyennes d'inhibition varient entre 50,47 % et 53,10 % (Tableau 26). En revanche, les populations mâle et femelle de Maitar présentent l'activité antioxydante la plus faible

Tableau 26 : Capacité moyenne des HEs du *R. tripartita* à réduire les radicaux libres du DPPH

Rang	Population	Moy (mm)	n	Groupes significatifs
1	Boussaâda F	53,10	42	a
2	Chaiba F	51,20	42	a
3	Tamanrasset M	50,47	42	a
4	Chaiba M	44,22	42	b
5	Biskra F	42,77	42	b
6	Mergueb M	42,61	42	b
7	Mergueb F	42,54	42	b
8	M'Sila M	42,02	42	b
9	M'Sila F	40,75	42	c
10	Ksaiate M	40,71	42	c
11	Ksaiate F	39,82	42	d
12	Boussaâda M	39,63	42	d
13	Maitar F	38,31	42	e
14	Maitar M	37,26	42	e

LSD 0.05 = 8.49380157679

L'activité antioxydante varie en fonction des concentrations des huiles essentielles utilisées, une augmentation de la concentration des huiles essentielles conduit à une augmentation de pourcentage d'inhibition (**Tableau 27**). Le pourcentage le plus élevé de réduction du DPPH a été constaté pour la dilution 1/1 avec une moyenne d'inhibition de 63,33%. Ce pourcentage est supérieur à celui du contrôle positif BHT, qui est de 62,53%.

En revanche, les deux dernières dilutions (1/32, 1/64) fournissaient le plus faible pouvoir antioxydant, avec des pourcentages d'inhibition respectifs de 7,54% à la concentration 1/32 et 5,89% à la concentration de 1/64.

Tableau 27 : Variation de pourcentage d'inhibition en fonction des dilutions des HEs utilisés

Rang	Dilutions	Moy. (mm)	n	Significant ranges
1	1/1	63,33	42	a
2	BHT	62,53	295	a
3	1/2	40,65	42	b
4	1/4	25,18	42	c
5	1/8	14	42	d
6	1/16	9,78	42	d
7	1/32	7,54	42	e
8	1/64	5,89	42	e

LSD 0.05 = 8.59676050655

En Tunisie Jallali et *al.*, (2022) ont trouvé que l'huile essentielle des fruits du *R. tripartita* présente un potentiel antioxydant significatif par rapport à celle des feuilles avec une IC₅₀ de $2.8 \pm 0.03 \text{ mg/ml}^{-1}$.

L'étude réalisée par Gourine et *al.* (2010), sur l'activité antioxydante des huiles essentielles des populations mâles et femelles de *Pistacia atlantica* a révélé des valeurs d'IC₅₀ variant entre 8,5 et 27,9 mg/mL. L'activité antioxydante des huiles essentielles des feuilles et des fruits de *P. atlantica* a révélé des valeurs d'IC₅₀ de 23,9 et 28,5 µg/mL respectivement (Labeled-Zouad et *al.*, 2017).

L'activité antioxydante des huiles essentielles peut être attribué aux monoterpènes oxygénés, notamment les phénols et les aldéhydes, ces classes chimiques sont présents dans les huiles essentielles du *R. tripartita*, ce qui explique en partie leur potentiel antioxydant (Bourgou et *al.*, 2012). Ainsi, la présence abondante des monoterpènes hydrocarbonés, en particulier l' α -pinène, dans les huiles essentielles peut contribuer à leur activité antioxydante en agissant comme un agent piègeur de radicaux libres (Gundidza et *al.*, 2008). Une autre étude réalisée par Labeled-Zouad et *al.* (2017) suggère que l'activité antioxydante des huiles essentielles peut être attribuée à l'effet synergique des monoterpènes et des sesquiterpènes hydrocarbonés.

La composition chimique des huiles essentielles ainsi que la présence de groupements fonctionnels tels que les alcools, les phénols, les terpènes et les cétones influencent l'activité biologique des huiles (Bakkali et *al.*, 2008).

Les huiles essentielles jouent un rôle dans la médiation de la relation entre la plante et les divers facteurs abiotiques tels que la salinité, la lumière, la sécheresse, la température (Mahdavi et *al.*, 2020). Chez certaines plantes, la réponse à la sécheresse peut se manifester par une augmentation des métabolites secondaires et des niveaux de composés volatils (Yang et *al.*, 2018), ces observations peuvent expliquer la présence d'une activité antioxydante puissante chez certaines populations du *R. tripartita*.

Conclusion

Conclusion

Le présent document expose un travail sur la composition chimique et les activités biologiques de l'huile essentielle du *R. tripartita* afin de valoriser les ressources naturelles et biologiques de l'Algérie.

Les huiles essentielles de quatorze populations du *Rhus tripartita* extraites par hydrodistillation ont montrés un rendement faible en HEs avec $0,16 \pm 0,01\%$. La population mâle de Mergueb a présenté le rendement le plus élevés avec (0,19%), tandis que, le rendement le plus faible a été enregistré chez la population mâle de Chaïba avec seulement (0,13%). Cette variation du rendement en huiles essentielles est le résultat de plusieurs fluctuations des facteurs environnementaux et géographiques tels que l'altitude, la sécheresse, la salinité, la période de récolte ainsi que la méthode de séchage.

Les huiles essentielles analysées par (GC/MS) ont permis l'identification de soixante treize composants avec une moyenne de 45 composants pour chaque population, représentant une moyenne de $97,19 \pm 1,50\%$ de l'huile totale. Les composants majoritaires de ces huiles essentielles sont l' α -pinène, le caryophyllène-Z, le Δ^3 -carène, le β -pinène, le myrcène, le limonène, le terpinolène et le Δ -cadinène. Les monoterpènes et les sesquiterpènes hydrocarbonés sont les classes chimiques dominantes dans les huiles essentielles des populations étudiées du *Rhus tripartita*.

Cette étude à permis l'identification de quatre chémotypes,

Le chémotype à **Δ^3 -carène- α -pinène-limonène** caractérise les populations mâles de Tamanrasset et Boussaâda.

Le chémotype à **Δ^3 -carène- α -pinène-caryophyllène-Z** pour les populations mâles de M'Sila et Mergueb.

Le chémotype à **α -pinène- Δ^3 -carène- Δ -cadinène** pour les populations femelles de M'Sila et Biskra.

Le chémotype à **α -pinène- β -pinène-caryophyllène-Z** pour les populations femelles de Chaiba, Boussaâda, Ksaïate, Maitar et Mergueb et les populations mâles de Chaiba, Ksaïate et Maitar.

Les résultats de l'activité antibactérienne dévoilent une activité importante des huiles essentielles concentrées sur la majorité des souches bactériennes testés. La souche bactérienne la plus sensible aux huiles essentielles est *B. Cereus*, alors que *E. coli* est la plus résistante.

CONCLUSION

Le test d'activité antifongique révèle une activité modérée. L'activité antifongique des huiles essentielles est plus significative contre la levure *C. albicans*, tandis que le champignon *A. alternata* présente la plus grande résistance.

Bacillus cereus est couramment trouvée dans le sol, la poussière et divers environnements. Elle contamine certains aliments. Cette bactérie produit des toxines qui peuvent causer des intoxications alimentaires chez l'homme. Les symptômes peuvent varier, allant de troubles gastro-intestinaux tels que nausées, vomissements et diarrhées. Les résultats que nous avons trouvés appuient le lien entre *B. cereus*, l'huile essentielle de *Rhus tripartita* et son utilisation ethnobotanique. En ce qui concerne la *Candida albicans* présente naturellement dans le système digestif et les voies génitales. Sa prolifération peut entraîner une candidose. Les huiles essentielles sont souvent mentionnées comme des remèdes naturels potentiels pour traiter les infections à *Candida albicans*. Cependant, il est important de noter que la recherche scientifique sur l'efficacité des huiles essentielles du *Rhus* et le *Rhus tripartita* spécifiquement contre la *Candida albicans* est limitée. Cependant, il est essentiel de poursuivre les recherches pour mieux comprendre les mécanismes d'action et les applications potentielles de cette plante dans le domaine médical.

Il est également essentiel de souligner que l'utilisation ethnobotanique est basée sur des connaissances traditionnelles et qu'elle doit être étudiée plus approfondie pour évaluer scientifiquement son efficacité et son innocuité. De plus, il convient de noter que l'utilisation ethnobotanique est souvent spécifique à une culture ou à une région géographique donnée, et les pratiques peuvent varier d'une communauté à l'autre.

Les résultats du pouvoir antioxydant des huiles essentielles du *R. tripartita* montrent une activité antioxydante moyenne proche à celle de la molécule de référence BHT. Notre travail confirme la richesse de cette espèce en activités biologiques (antibactérienne, antifongique et antioxydante).

Nos résultats doivent être approfondis postérieurement en réalisant :

- D'autres techniques d'extraction pour étudier l'efficacité des extraits du *Rhus tripartita* qui sont riches en agents bioactifs.
- La recherche d'autres métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les phénols.
- D'autres activités biologiques (anticancéreuse, anti-inflammatoire, insecticide et antiparasitaire).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abbassi F., Hani K. (2012). In vitro antibacterial and antifungal activities of *Rhus tripartitum* used as antidiarrheal in Tunisian folk medicine. *Nat Prod Res*, 26 (23): 2215-2218. DOI: 10.1080/14786419.2011.639072.
- Abu-Shanab B., Adwan G., Abu-Safiya D., Adwan K., Abu-Shanab M. (2005). Antibacterial activity of *Rhus coriaria* L. extracts growing in Palestine. *J Islamic Univ Gaza* ; 13(2) : 147-153. <http://www.iugaza.edu/ara/research/>
- Adams R.P. (2007). Identification of essential oils compounds by Gas Chromatography-Mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation Carol Stream, IL, USA.
- Akinpelu D.A. (2001). Antimicrobial activity of *Anacardium occidentale* bark. *Fitoterapia*, 72: 286-287.
- Alimi H., Mbarki S., Barka Z.B. (2013). Phytochemical, antioxidant and protective effect of *Rhus tripartitum* root bark extract against ethanol-induced ulcer in rats. *Gen Physiol Biophys*, 32: 115-2. DOI:10.4149/gpb_2013003
- Al-Zoreky N.S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*, 134: 244-248
- André C., Bettenfeld M.L. (2012). Applications des huiles essentielles dans le domaine des arômes et parfums. In. X. Fernandez & F. Chemat (Eds). *La chimie des huiles essentielles : Tradition et innovation*, Paris, 193-211 p.
- Aouinti F., Imelouane B., Tahri M., Wathelet J.P., Amhamdi H., Elbachiri A. (2014). New study of the essential oil, mineral composition and antibacterial activity of *Pistacia lentiscus* L. from Eastern Morocco, *Res. Chem. Intermed*, 40: 2873-2886. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s11164-013-1134-z>.
- Archana B., Nabasree D., Bratati D., (2005). In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. *Food Chemistry*, 90(4) : 727-733
- Arpino P., Prévôt A., Serpinet J., Tranchant J., Vergnol A., Witier P. (1995). *Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse*. Ed Masson, Paris, 720p.
- Asgarpanah J., Saati S. (2014). An overview on phytochemical and pharmacological properties of *Rhus coriaria* L. *Research Journal of Pharmacognosy (RJP)*, 1(3) : 47-54
- Attia R. (2020). Contribution à l'étude de la flore Tunisienne et recherche d'inhibiteurs d'origine naturelle de l'arginas. Thèse de doctorat de l'établissement université bourgogne franche-comte preparée a l'unité de formation et de recherche sciences de la sante. 392p

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Attoui Z. (2016). *Searsia tripartita*. Atlas de Sahara. <http://atlas-sahara.org/index/credits/credits.html>
- Avlessi F., Alitonou G.A., Djenontin T S., Tchobo F., Yèhouéno B., Menut C., Sohounhloùé D. (2012). Chemical composition and biological activities of the Essential oil extracted from the Fresh leaves of *Chromolaena odorata* (L. Robinson) growing in Benin. *ISCA Journal of Biological Sciences*, 1(3): 7-13.
- Awulachew M.T. (2021). Hand Book of Common Ethiopian Traditional Medicinal Plants: Their Parts and Uses for Human and Animal Treatments. *Journal of Diseases and Medicinal Plants*, 7(3): 48-60. DOI: 10.11648/j.jdmp.20210703.11
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. (2007). Biological effects of essential oils - A review. *Food Chem Toxicol*, 46(2): 446-475. Doi: 10.1016/j.fct..09.106
- Baris O., Güllüce M., Sahin F., Ozer H., Kılıc H., Ozkan H., Sökmen M., Ozbek T. (2006). Biological activities of the essential oil and methanol extract of *Achillea biebersteini* Afan (Asteraceae). *Turkish J. Biol*, 30: 65-73.
- Barka Z.B., Aouadhi C., Tlili M. (2016) Evaluation of the anti-diarrheal activity of the hydromethanolic root extract of *Rhus tripartita* (Ucra) [Anacardiaceae]. *Biomed Pharmacother*, 83: 827–34
- Baser K. H. C., Buchbauer G. (2010). Handbook of essential oils: science, technology, and applications. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis. 1ère éd. 991p.
- Baser K., Buchbauer G. (2009). Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications. CRC Press, London, 991 p.
- Baser K.H.C., Demirci F. (2007). Chemistry of Essential Oils, In *Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, R.G. Berger (ed.), Berlin: Springer, 43-86.
- Ben Barka Z.B., Aouadhi C., Tlili M., Alimi H., Miled H.B., Rhouma K.B. (2016). Evaluation of the anti-diarrheal activity of the hydromethanolic root extract of *Rhus tripartita* (Ucra) (Anacardiaceae), *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 3: 827-834. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.07.055
- Ben Barka Z.B., Lahbib K., Aouadhi C., Ladjimi M.H., Miled H.B., Rhouma K.B., Sakly M., Maaroufi A., Schneider Y.J., Tebourbi O. (2019). Antioxidant, Antimicrobial and Anti-Inflammatory Activities of Edible *Rhus tripartita* (Ucra) Hydromethanolic Extracts. *J Pharm Pharmacol Res*, 3 (3): 074-087. DOI: 10.26502/jppr.0022

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ben Mahmoud S., Saad H., Charrier B., Pizzi A., Rode K., Ayed N., Charrier B. (2015). Characterization of sumac (*Rhus tripartita*) root barks tannin for a potential use in wood adhesives formulation. *Wood Sci Technol*, 49 (1): 205-221. DOI: 10.1007/s00226-014-0686-4.
- Ben Miled H., Barka Z.B., Hallègue D. (2017). Hepatoprotective activity of *Rhus oxyacantha* root cortex extract against DDT-induced liver injury in rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 90: 203-215.
- Benaïssa A., Djebbar R. (2018). *Rhus tripartita* (Ucria) Grande: A shrub rock of the Ahaggar (Algeria): A review. *Biocénoses*, 9(1) :9-18.
https://www.researchgate.net/publication/345598607_Rhus_tripartita_Ucria_Grande_A_shrub_rock_of_the_Ahaggar_Algeria_A_review
- Bereksi M.S., Hassaïne H., Bekhechi C., Abdelouahid D.E. (2018). Evaluation of antibacterial activity of some medicinal plants extracts commonly used in Algerian Traditional Medicine against some pathogenic bacteria. *Pharmacogn J*, 10 (3): 507-512. DOI : 10.5530/pj.2018.3.83
- Berger M.M. (2006). Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 20(1) : 48-53. DOI : 10.1016/j.nupar.2005.12.005
- Besombes C., (2008). Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro thermomécanique d'herbes aromatiques. Applications généralisées. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle, 289p
- Bicchi C., Liberto E., Matteodo M., Sgorbini B., Mondello L., Zellner B3, Costa R3, Rubiolo P. (2008). Quantitative analysis of essential oils : à complex task. *Flavour Fragr. J.* 23 : 382-391.
- Bomfim de Barros D., de Oliveirae Lima L., Alves da Silva L., Cavalcante Fonseca M., Ferreira RC., Diniz Neto H., da Nóbrega Alves D., da Silva Rocha W.P., Scotti L., de Oliveira Lima E., Vieira Sobral M., Cançado Castellano L.R., Moura-Mendes J., Guerra F., da Silva M.V. (2023). α -Pinene : Docking Study, Cytotoxicity, Mechanism of Action, and Anti-Biofilm Effect against *Candida albicans*. *Antibiotics*, 12(3) :480.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics12030480>
- Bourgou S., Pichette A., Lavoie S., Marzouk B., Legault J. (2012). Terpenoids isolated from Tunisian *Nigella sativa* L. Essential oil with antioxidant activity and the ability to inhibit nitric oxide production. *Flavour Fragr J*, 27(1) : 69-74. DOI :10.1002/ffj.2085

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bousbia N. (2011). Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de Doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 128p
- Braga P.C., Dal Sasso M., Culici M., GaSastri L., Marceca MX., Guffanti E.E. (2006). Antioxidant potential of thymol determined by chemiluminescence inhibition in human neutrophils and cell-free systems. *Pharmacology* 76, 61-68.
- Brizicky K. (1963). Taxonomic and nomenclatural notes on the genus *Rhus* (anacardiaceae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 44 (1): 60-80. Doi: <https://www.jstor.org/stable/43781452>
- Bruneton J. (1999). Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition technique et documentation Lavoisier. Paris, 1120p.
- Brunke E.J, Hammerschmidt F.J., Schmaus G., Akgul A. (1993). The essential oil of *Rhus coriaria* L. fruits. *Flavour Fragrance J*, 8 (4) : 209-214. DOI : 10.1002/ffj.2730080408
- Burrows G.E., Tyrl R.J. 2013. Toxic Plants of North America. 2éd.Iowa: Wiley Blackwell. Chapitre 6, Anacardeaceae; 35-46 p.
- Burt S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review, *International Journal of Food Microbiology*, 94(3): 223-253. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Butterfield D., Lauderback C. (2002). Lipid peroxidation and protein oxidation in Alzheimer's disease brain: potential causes and consequences involving amyloid beta-peptide associated free radical oxidative stress. *Free Radic. Biol. Med*, 32: 1050-1060. DOI: 10.1016/s0197-4580(01)00340-2
- Caissard J. C., Baudino S. (2012). Sécrétion et stockage des huiles essentielles par les végétaux. In. X. Fernandez & F. Chemat (Eds). *La chimie des huiles essentielles : Tradition et Innovation*. Paris, 22-34 p.
- Candan F., Sokmen A. (2004). Effects of *Rhus coriaria* L. (Anacardiaceae) on lipid peroxidation and free radical scavenging activity. *Phytother Res*; 18(1): 84-86. DOI: 10.1002/ptr.1228
- Chae J., Lee S., Lee S. (2018). Potential Efficacy of Allergen Removed *Rhus Verniciflua* Stokes Extract to Maintain Progression-Free Survival of Patients with Advanced Hepatobiliary Cancer. *Explore (NY)*, 14(4): 300-304. DOI: 10.1016/j.explore.2017.10.01
- Chanda S., Dave R. (2009). In vitro models for antioxidant activity evaluation and some medicinal plants possessing antioxidant properties: An overview. *African Journal of Microbiology Research*, 3: 981-996.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chemat F., Abert-Vian M., Dangles O. (2007). Essential oils as antioxidants. *International Journal of Essential Oil Therapeutics*, 1: 4-15.
- Chetoui I., Messauad C., Boussaid M., Zaouadi Z. (2013). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content variation among Tunisian natural populations of *Rhus tripartita* (Ucria) Grande and *Rhus pentaphylla* Desf. *Ind Crop Prod*, 51: 171–177. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.09.002.
- Cho N., Choi J.H., Yang H., Jeong E.J., Lee K.Y., Kim Y.C., Sung S.H. (2012). Neuroprotective and anti-inflammatory effects of flavonoids isolated from *Rhus verniciflua* in neuronal HT22 and microglial BV2 cell lines. *Food Chem Toxicol*, 50(6), 1940-1945. DOI: 10.1016/j.fct.2012.03.052
- Cole E.R., dos Santos R.B., Lacerda Júnior V., Martins J., Greco S., Cunha Neto A. (2014). Chemical composition of essential oil from ripe fruit of *Schinus terebinthifolius* raddi and evaluation of its activity against wild strains of hospital origin. *Braz. J. Microbiol*, 45: 821-828. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000300009>
- Conger A.D., Fairchild L. (1953). A quick-freeze method for making smear slides permanent. *Stain Technology*, 28 (6) : 281-283.
- Constantin E. (1996). Spectrométrie de masse. Lavoisier Tec et Doc, Paris, 1-14p.
- Couic-Marinier F., Lobstein A. (2013). Composition chimique des huiles essentielles. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(525), 22-25.
- Cushnie T.P.T., Lamb A.J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26 : 343-35. DOI : 10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002
- Dajoz R. (2003). Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615p.
- De Sousa D.P. (2012). Medicinal Essential Oils: Chemical, Pharmacological and Therapeutic Aspects. Nova Science Publishers. 1ère éd. 236p.
- Deschepper R. (2017). Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chimiotype en aromathérapie. [Dissertation]. Sciences pharmaceutiques, Université d'Aix-Marseille, Marseille. [France]. 160p.
- Dos Santos F., Amaral A., da Silva E.B. (2018). Antibacterial activity of irradiated extracts of *Anacardium occidentale* L. on multiresistant strains of *Staphylococcus aureus*. *Appl Radiat Iso*, 140:327-32. Doi: 10.1016/j.apradiso.2018.07.035
- Duru M.E., Cakir A., Kordali S., Zengin H., Harmandar M., Izumi S., Hirata T. (2003). Chemical composition and antifungal properties of essential oils of three *Pistacia* species. *Fitoterapia* 74: 170–176. DOI: 10.1016/S0367-326X(02)00318-0

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Edris A.E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review. *Phytotherapy Research*, 42(4): 308–323.
- Elhidar N., Soulaïmani B., Goehler A., Bohnert J.A., Abbad A., Hassani L., Mezrioui N. (2021). Chemical composition, antibacterial activity and effect of *Rhus albida Schousb* essential oil on the inhibition of NorA efflux pump in *Staphylococcus aureus*, *South African Journal of Botany*, 142: 19-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.025>
- Elshafie H.S, Ghanney N., Mang S.M, Ferchichi A., Camele I. (2016). An in vitro attempt for controlling severe phytopathogens and human pathogens using essential oils from mediterranean plants of genus *Schinus*. *J. Med. Food* 2016, 19: 266–273. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2015.0093>
- Fabian D., Sabol M., Domaracké K., Bujněková D. (2006). Essential oils - their antimicrobial activity against *Escherichia coli* and effect on intestinal cell viability. *Toxicol. in vitro* 20, 1435-1445.
- Farag M.A., Fayek N.M., Abou Reidah I. (2018). Volatile profiling in *Rhus coriaria* fruit (sumac) from three different geographical origins and upon roasting as analysed via solid-phase microextraction. *PeerJ*, 6 : e5121. DOI : 10.7717/peerj.5121.
- Faucon M. (2012). *Traité d'aromathérapie scientifique et médicale*. Sang de la terre. 880p.
- Fernandez X, Chémat F., Do T.K.T. (2012). *Les huiles essentielles : vertus et applications*. Paris : Vuibert, 164p.
- Fernandez X., Chemat F. (2012). *La chimie des huiles essentielles*. Editions Vuibert. 288p.
- Figueredo G. (2007). *Étude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (Lamiaceae) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne*. Thèse pour le diplôme de docteur d'université (chimie organique). Université Blaise Pascal - ClermontFerrand II.
- Fillatre Y. (2011). *Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multirésidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la spectrométrie de masse en mode tandem*. Thèse d'Université d'Angers.
- Franchomme P., Pénéol D. (2001). *L'aromathérapie exactement*. Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Roger Jollois. 445p
- Furth D.G. (1985). *The Natural History of a Sumac Tree, With an Emphasis on the Entomofauna*. (Vol. 46). Archon Books, Hamden. P: 137-234.
- Gérault G., Mary R. (2008). *Le guide l'aromathérapie*. Paris: A. Michel, 384p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Giancario S., Rosa L.M., Nadjafi F., Francesco M. (2006). Hypoglycemic activity of two species extracts: *Rhus coriaria* L. and *Bonium persicum* Boiss. *Nat Prod Res*, 20 : 882-886.
- Giovanellia S., Giusti G., Cioni P., Minissale P., Ciccarelli D., Pistelli L. (2017). Aroma profile and essential oil composition of *Rhus coriaria* fruits from four Sicilian sites of collection. *Industr Crops Prod*, 97 : 166-174. DOI : 10.1080/10412905.2014.882278.
- Gourine N., Bombarda I., Yousfi M., Gaydou E.M. (2010). Chemotypes of *Pistacia atlantica* leaf essential oils from Algeria. *Nat Prod Commun* ; 5(1) :115-20. PMID : 20184035.
- Gourine N., Yousfi M., Bombarda I., Nadjemi B., Gaydou E. (2010). Seasonal variation of chemical composition and antioxidant activity of essential oil from *Pistacia atlantica* Desf. leaves. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87,157–166. DOI: 10.1007/s11746-009-1481-5
- Gundidza M., Gweru N., Mmbengwa V., Ramalivhana N. J., Magwa Z., Samie A. (2008). Phytoconstituents and biological activities of essential Oil from *Rhus lancea* L. F. *African Journal of Biotechnology*, 7 (16): 2787-2789. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Gundidza M., Gweru N., Mmbengwa V., Ramalivhana N.J., Magwa Z., Samie A. (2008). Phytoconstituents and biological activities of essential oil from *Rhus lancea* L. F. *Afr J Biotechnol*, 7(16): 2787-2789.
- Habibi A.A., Zubek S.A., Abushhiwa M.A., Ahmed M.O., El-Khodery S.A., Osman H.Y. (2021). Antibacterial activity of selected Libyan medicinal plants against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. *J Pharmacogn Phytochem*, 3(6) :197-201.
- Habibi A.A., Zubek S.A., Elbaz A., El-Khodery S.A., Osman H.Y., Bennour E.M. (2015). Evaluation of Antibacterial Activity of Selected Libyan Medicinal Plants against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*. *J Pharma Phytochem*, 4(3): 16-20.
- Haghdoost F., Baradaran Mahdavi M.M., Zandifar A., Sanei M.H., Zolfaghari B., Javanmard S. H. (2013). *Pistacia atlantica* resin has a dose-dependent effect on angiogenesis and skin burn wound healing in rat, *Evid. Based Complement. Altern. Med.*, 893425. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/893425>.
- Hasheminya S.M., Dehghannya J. (2020). Composition, phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of *Pistacia atlantica* subsp. *kurdica* hulls' essential oil. *Food Bioscience*, 34: 2212-4292. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100510>
- Hay R.K.M., Waterman P.G. (1993). *Volatile Oil Crops*. Burnt Mill: Longman Science & Technology Publications. Wiley-Blackwell, 200p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Heirangkhongjam M.D, Ngaseppam I.S. (2018). Traditional medicinal uses and pharmacological properties of *Rhus chinensis* Mill.: A systematic review, European Journal of Integrative Medicine, 21: 43-49. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2018.06.011>
- Hosseinzadeh S., jafarikukhdan A., Hosseini A., Armand R. (2015). The application of medicinal plants in traditional and modern medicine: A review of *Thymus vulgaris*. International journal of clinical medicine, 6 :635-642. DOI: 10.4236/ijcm.215.69084
- Idm'hand E., Msanda F., Cherifi K. (2019). *Searsia tripartita* (Ucria) Moffett : phytochimie, pharmacologie et usages traditionnels. Phytothérapie: 1- 5. DOI: 10.3166/phyto-2019-0167.
- Iranshahi M. (2012). A review of volatile sulfur-containing compounds from terrestrial plants: biosynthesis, distribution and analytical methods. Journal of Essential Oil Research, 24, 393– 434.
- Jallali I., Zaouali Y., Mkadmini K., Smaoui A., Abdelly C., Ksour R. (2022). Phytochemistry and Antioxidant Activities of *Rhus tripartitum* (Ucria) Grande Leaf and Fruit Phenolics, Essential Oils, and Fatty Acids. Natural Product Communications, 17(4): 1–8. DOI: 10.1177/1934578X221089110
- Jang H., Kook H., Son O., Kim J., Jeon M., Jang S., Choi C., Kim J., Han K., Lee Y., Park B., Cho P., Lee C. (2005). Flavonoids purified from *Rhus verniciflua* Stokes actively inhibit cell growth and induce apoptosis in human osteosarcoma cells. Biochim Biophys Acta, 1726(3): 309-316. DOI: 10.1016/j.bbagen.2005.08.010.
- Jang J.Y., Shin H., Lim J.W., Ahn J.H., Jo Y.H., Lee K.Y., Hwang B.Y., Jung J., Kang S.Y., Lee M.K. (2018). Comparison of antibacterial activity and phenolic constituents of bark, lignum, leaves and fruit of *Rhus verniciflua*. PLoS One, 13(7): 1-13. DOI: 10.1371/journal.pone.0200257
- Kachur K. and Suntres Z., (2019). The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol. Crit. Rev. Food Sci. Nutr, 1-12. <https://10.1080/10408398.2019.1675585>
- Kaloustian J., Hadji-Minaglou F. (2012). La connaissance des huiles essentielles. Qualitologie et aromathérapie. Springer, 210p.
- Keefover-Ring K., Thompson J.D., Linhart Y.B. (2009). Beyond six scents: defining a seventh *Thymus vulgaris* chemotype new to southern France by ethanol extraction. Flavour and fragrance journal, 24: 117-122

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Khalilpour S., Behnammanesh G., Suede F., Ezzat M.O., Muniandy J., Tabana Y. (2018). Neuroprotective and antiinflammatory effects of *Rhus coriaria* extract in a mouse model of ischemic optic neuropathy. *Biomedicines*, 6(2):1-13. DOI: 10.3390/biomedicines6020048
- Kim J.H, Shin Y.C., Ko S.G. (2014). Integrating traditional medicine into modern inflammatory diseases care: multitargeting by *Rhus verniciflua* Stokes. *Mediators Inflamm*, 154561. DOI: 10.1155/2014/154561
- Kim M., Yang J., Soo Y., Jo Kim M. (2015). Antioxidant and anticancer effects of fermented *Rhus verniciflua* stem bark extracts in HCT-116 cells. *ScienceAsia* 41(5). DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.322.
- Kim S.I., Lee D.W. (2014). Toxicity of basil and orange essential oils and their compounds against two coleopteran stored products insect pests. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(1): 13-17. DOI: 10.1016/j.aspen.2013.09.002
- Kordali S., Cakir A., Ozer H., Cakmakci R., Kesdek M., Mete E. (2008). Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three compounds, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*, 99(18), 8788–8795. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.04.048
- Koutsoudaki C., Krsek M., Rodger A. (2005). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil and the gum of *Pistacia lentiscus* Var. chia, *J. Agric. Food Chem*, 53: 7681-7685. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf050639s>.
- Kovač j., Šimunović K., WuZ., Klančnik A., Bucar F., Zhang Q., Možina SS. (2015). Antibiotic resistance modulation and modes of action of (-) -alpha-pinène in *Campylobacter jejuni*. *PLoS One*, 10(4): p. e0122871. DOI: <https://10.1371/journal.pone.0122871>
- Kumar P., Mishra S., Malik A., Satya S. (2011). Insecticidal properties of *Mentha* species: A review. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 802-817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.019>
- Kunle O., Okogun J., Egamana E., Emojevwe E., Shok M. (2003). Antimicrobial activity of various extracts and carvacrol from *Lippia multiflora* leaf extract. *Phytomedicine*, 10(1): 59-61.
- Kurucu S., Koyuncu M., Güvenç A., Baser K.H.C., Özek T. (1993). The essential oils of *Rhus coriaria* L. (Sumac), *J Essential Oil Res*, 5 (5): 481-486. DOI: 10.1080/10412905.1993.9698267.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Labeled-Zouad I., Ferhat M., Öztürk M., Abaza I., Nadeem S., Kabouche A. (2017). Essential oils composition, anticholinesterase and antioxidant activities of *Pistacia atlantica* Desf. Records of Natural Products, 11(4), 411–415.
- Laforet J. (2012). Connaissance du profil chromatographique d'huiles essentielles pour un meilleur conseil à l'officine : Relation structure / activité – toxicité. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Aix-Marseille université. 156p.
- Lahlou M. (2004). Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. Phytotherapy research, 18 : 435- 448. DOI : 10.1002/ptr.1465
- Le Floc'h E., Boulous L. (2008). Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Imp. of Rep. Tunisia, Tunisia, pp. 402, 2ème partie.
- Lee K.W., Um E.S., Jung B.B., Choi E.S., Kim E.Y., Lee S., Jang E., Lee J.H., Kim Y. (2018). *Rhus verniciflua* Stokes extract induces inhibition of cell growth and apoptosis in human chronic myelogenous leukemia K562 cells. Oncol Rep, 39(3): 1141-1147. DOI: 10.3892/or.2018.6179
- Lee S.K., Jung H.S., Eo W.K., Lee S.Y, Kim S.H, Shim B.S. (2010). *Rhus verniciflua* Stokes extract as a potential option for treatment of metastatic renal cell carcinoma: report of two cases. Ann Oncol 21(6), 1383-1385. DOI: 10.1093/annonc/mdq154
- Li M.C., Zhang Y.Q., Meng C.W., Gao J.G., Xie C.J., Liu J.L., Xu Y.N. (2021). Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F.A. Barkley - A review, Journal of Ethnopharmacology, 267: 113476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113476>.
- Liang Y.Z., Xie P., Chan K. (2004). Quality control of herbal medicines. J Chromatogr B, 812 : 53-70.
- Lucchesi M.E. (2005). Extraction sans solvant assistée par les micro-ondes. Thèse de doctorat en sciences (chimie). Université de la Réunion. 139p.
- Mabberley D.J. (1987) The Plant Book, a Portable Dictionary of the Higher Plants. Cambridge University Press, New York.
- Mahdavi A.; Moradi P.; Mastinu A. (2020). Variation in Terpene Profiles of *Thymus vulgaris* in Water Deficit Stress Response. Molecules, 25: 1091.
- Maia J.G.S., Andrade E.H, das Graças M., Zoghbib B. (2004). Aroma volatiles from two fruit varieties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). Food Chem, 85: 195-197. DOI :10.1016/S0308-8146(03)00292-9

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Martínez I.B, Álvarez R., Sotomayor S.P. (2010) *Saharaoccidental*. Plantas y Usos. Estudio etnobotánico del Sahara occi-dental: usos y costumbres del pueblo saharai relacionados con losrecursos vegetales, José Luis Benito Alonso, Jaca (Huesca), 124 p.
- Mascret C. (2010). La réglementation régissant les huiles essentielles. *Actualités Pharmaceutiques*, 49(492), 54–56.
- Masud Parvez G.M. (2016). Pharmacological Activities of Mango (*Mangifera Indica*) : A Review. *J Pharmacogn Phytochem*, 5(3) :01-07.
- Mathew S., Abraham T.E. (2006). In vitro antioxidant activity and scavenging effects of *Cinnamomum verum* leaf extract assayed by different methodologies. *Food and Chemical Toxicology* 44: 198-206. DOI: 10.1016/j.fct.2005.06.013
- Mehdizadeh L., Moghaddam M. (2018). Chapter 10 - Essential Oils: Biological Activity and Therapeutic Potential. Editor(s): Alexandru Mihai Grumezescu, Alina Maria Holban, Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods, Academic Press P: 167-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814625-5.00010-8>
- Mehrdad M., Zebardast M., Abedi G., Koupaei M.N., Rasouli H., Talebi M. (2009). Validated high-throughput HPLC method for the analysis of flavonol aglycones myricetin, quercetin, and kaempferol in *Rhus coriaria L.* using a monolithic column. *J AOAC Int*; 92(4): 1035-1043.
- Ramdani M., Bergougue R., Chalard P, Figueredo G., Lograda, Bouchaala M., Kenoufi M. (2015). Chemotype and Antibacterial Activity of Algerian Populations of *Pistacia Lentiscus L.* *International Journal of Phytopharmacy Research*, 6(3): 112-120.
- Miled H.B., Barka Z.B., Hallègue D. (2017) Hepatoprotective activity of *Rhus oxyacantha* root cortex extract against DDT-induced liver injury in rats. *Biomed Pharmacother*, 90 :203–15. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.03.063
- Mitchell J., Pell S., Bachelier J., Warschefsky E., Joyce E., Canadell L., da Silva-Luz C., Coiffard C. (2021). Neotropical Anacardiaceae (cashew family). *Brazilian Journal of Botany*, 45: 139–180 DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00793-5>
- Morshedloo M.R., Maggi F., Neko H.T., Aghdam M.S. (2017). Sumac (*Rhus coriaria L.*) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industr Crops Prod*, 111: 1-7. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.10.002.
- Mossa J.S, Rafatullah S., Galal A.M., Al-Yahya M.A. (1995). Pharmacological studies of *Rhus retinorrhaea*. *Int J Pharmacogn*; 33(3): 242-246.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nasar-Abbas S.M., Halkman A.K. (2004). Antimicrobial effect of water extract of sumac (*Rhus coriaria* L.) on the growth of some food borne bacteria including pathogens. *Int J Food Microbiol*; 97: 63–69.
- Neffati M. (2000). Interests of natural plants growth in arid and desert zones for land rehabilitation in pre saharian Tunisia. Case of *periploca laevigata* ait. And *rhus tripartitum* (Ucria) DS. IN native and exotic fodder shrubs in arid and semi-arid zones, hammamet (Tunisia), 27 oct- 2 nov1996. ICARDA
- Nerio L.S., Olivero-Verbel J., Stashenko E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1): 372–378. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.07.048
- Neves A.M., Fontenelle R.O dos S., Lopes F.S., Mendes J de F.S., Rodrigues M., Marinho M.M. (2021). Phenolic profile, antioxidant and antifungal activity of extracts from four medicinal plants of the Anacardiaceae family. *Res Soc Dev*, 10(8): e44510817421.
- Nimri L.F, Meqdam M.M, Alkofahi A. (1999). Antibacterial activity of Jordanian medicinal plants. *Pharm Biol*, 37: 196-201.
- NIST. (2002). Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, vers. 2.0. fiveash data, USA.
- Nostro M.P., Germanó V., D'Angelo A., Marino A., Cannatelli M.A. (2000). Extraction methods and bioautography for evaluation of medical plant antimicrobial activity. *Lett Appl Microbiol*, 30(5): 379-84.
- Nozza E., Melzi G., Marabini L., Marinovich M., Piazza S., Khalilpour S. (2020). L'extrait de fruit de *Rhus coriaria* L. prévient la génotoxicité induite par les UV-A et les lésions oxydatives dans les cellules endothéliales microvasculaires humaines. *Antioxidants*, 9(4) :292. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9040292>
- Nugroho A.E, Malik A., Pramono S. (2013). Total phenolic and flavonoid contents and in vitro anti-hypertension activity of purified extract of Indonesian cashew leaves (*Anacardium occidentale* L.). *Int Food Res J*, 20: 299-305.
- Oktay M., Gulçin İ., Küfrevioğlu Ö.İ. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 36: 263-271. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00226-8](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00226-8)
- Olchowik-Grabarek E., Swiecicka I., Andreeva-Kovaleskaya Z. (2014). Role of Structural Changes Induced in Biological Membranes by Hydrolysable Tannins from Sumac Leaves (*Rhus typhina* L.) in their Antihemolytic and Antibacterial Effects. *The Journal of Membrane Biology*, 247: 533-540. DOI: 10.1007/s00232-014-9664-x

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Oppiyo S., Njoroge P., Ndirangu N., Muna M. (2021). A Review of Biological Activities and Phytochemistry of Rhus Species. *American Journal of Chemistry*, 11(2): 28-36. DOI: 10.5923/j.chemistry.20211102.02.
- Ouraiïni D., Agoumi A., Ismaïli-Alaoui M., Alaoui A., Cherrah Y., Amrani M., Belabbas M.A. (2005). Étude de l'activité des huiles essentielles de plantes aromatiques à propriétés antifongiques sur les différentes étapes du développement des dermatophytes. *Pharmacognosie*, 4 :147 - 157.
- Oussou K.R., (2009). Etude chimique et activités biologiques des huiles essentielles de sept plantes aromatiques de la pharmacopée Ivoirienne. Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, 241p.
- Pauli A. (2001). Antimicrobial properties of essential oil constituents. *Int. J. Aromather*, 11 : 126-133. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0962-4562\(01\)80048-5](https://doi.org/10.1016/S0962-4562(01)80048-5).
- Piochon M., Legault J., Pichette A. (2008). Chemical composition of the essential oil from *Solidago puberula* Nutt. growing wild in the north of Quebec. *J. Ess. Oil Res*, RN2783. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0962-4562\(01\)80048-5](https://doi.org/10.1016/S0962-4562(01)80048-5)
- Ponce A.G., Fritz R., Del Valle C., Roura S.I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 36(7): 679-684.
- Prashar A., Hili P., Veness R.G., Evans C.S. (2003). Antimicrobial action of palmarosa oil (*Cymbopogon martinii*) on *Saccharomyces cerevisiae*. *Phytochemistry*, (63): 569-575. DOI: 10.5897/AJMR12.118
- Quézel P., Santa S., (1962-1963). Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Vol. 1, éd. C.N.R.S, Paris, 636p.
- Rand K., Bar E., Ben-Ari M., Lewinsohn E., Inbar M. (2014). The mono and sesquiterpene content of aphid-induced galls on *Pistacia palaestina* is not a simple reflection of their composition in intact leaves, *J. Chem. Ecol*, 40: 632–642. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-014-0462-9>
- Rauf A., Patel S., Uddin G., Siddiqui B., Ahmad B., Muhammad N., Mabkhot Y., BenHadda T. (2017). Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus *Pistacia*, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 86: 393-404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.12.017>.
- Rayne S., Mazza G. (2007). Biological activities of extracts from Sumac (*Rhus* spp.): A review. *Plant Foods Hum Nutr* ; 62 : 165-175.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Reboud M.V. (1867). Note Sur Le Djedari (*Rhus Oxyacanthoides* Dum. -Cours.), Bulletin de la Société Botanique de France, 14 :2, pp. 31-34, DOI :10.1080/00378941.1867.10827474.
- Rejeb M.N. (2006). Guide des plantes médicinales et aromatiques, Imprimerie Maghreb Editions, p 93
- Rekik I., Ben Ameer R., Ayadi W., Soussi A., Gargouri A., Alloucha N. (2022). Anti-oxidant, anti-diabetic and anti-lipidemic activities of root bark extracts from *Rhus tripartitum* and cytotoxicity evaluation of isolated compounds. South African Journal of Botany, 147:71-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.038>
- Rezaie M., Farhoosh R., Sharif A. (2015). Chemical composition, antioxidant and antibacterial properties of Bene (*Pistacia atlantica* subsp. mutica) hull essential oil. J Food Sci Technol, 52: 6784–6790. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1789-0>
- Ridel R.V.B., Cioni P.L., Majo L., Pistelli L. (2017). Evolution of volatile emission in *Rhus coriaria* organs during different stages of growth and evaluation of the essential oil composition. Chem Biodiv 14 (11): 1-12. DOI: 10.1002/cbdv.201700270.
- Romagnolo D.F., Selmin O.I. (2012) Flavonoids and cancer prevention: a review of the evidence. J Nutr Gerontol Geriatr, 31: 206–238. DOI: 10.1080/21551197.2012.702534
- Rowe D.J. (2005). Introduction. In Chemistry and Technology of Flavours and Fragrances, Chap. 1, D.J. Rowe (ed.). Oxford: The Blackwell Publishing, 336p.
- Sahki A., Sahki R. (2004). Le Hoggar: promenade botanique. Atelier Ésope., pp.166-16.
- Salvador C. (2010). L'aromathérapie spirituelle histoire et bienfaits des huiles essentielles pour les maux du corps et de l'âme. Paris : G. Trédaniel, 213p.
- Sangwan N.S., Farooqi A.H.A., Shabih F., Sangwan R.S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regul, 34: 03-21. DOI: 10.1023/A:1013386921596.
- Saravanakumar K., Chelliah R., Hu X., Oh D.H., Kathiresan K., Wang M.H. (2019). Antioxidant, Anti-Lung Cancer, and Anti-Bacterial Activities of Toxicodendron vernicifluum. Biomolecules, 9(4). DOI: 10.3390/biom9040127
- Schulze-Kaysers N., Feuereisen M., Schieber A. (2015). Phenolic compounds in edible species of the Anacardiaceae family-a review. RSC Adv, 5: 73301-73314. DOI: 10.1039/c5ra11746a
- Sell C.S. (2006). The Chemistry of Fragrance. From Perfumer to Consumer. 2nd edition. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 329 p.
- Shahat A.A., Alsaid M.S., Rafatullah S., Al-Sohaibani M.O., Parvez M.K., AlDosari M.S., Exarchou V., Pieters L. (2016b). Treatment with *Rhus tripartita* extract curtails

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- isoproterenolelited cardiotoxicity and oxidative stress in rats. BMC complementary and alternative medicine: 1–11. DOI: 10.1186/s12906-016-1318-3
- Shahat A.A., Ibrahim A.Y., Al-Ghamdi A.A.M., Alsaïd M.S. (2016b). Phytochemical investigation of *Rhus tripartita* and its activity against cyclooxygenases and acetylcholinesterase. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 15, 1697–1706.
- Shahidi F., Zhong, Y. (2005). Lipid oxidation: measurement methods (Vol. 1). Ailey's industrial oil and fat products. DOI: <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio050>
- Shengming W., Maoting W. (2013). *Rhus chinensis* beverage, C.N. Patent CN 102676347 B.
- Shi L., Zheng L., Liu R., Chang M., Huang J., Zhao C., Jin Q., Wang X. (2019). Potential underutilized oil resources from the fruit and seed of *Rhus chinensis* Mill, Industrial Crops and Products, 129: 339-344. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.023>
- Sifi I., Gourine N., Gaydou E., Yousfi M. (2015). Chemotypes of essential oil of unripe galls of *Pistacia atlantica* Desf. from Algeria. Natural Product Research, 29(20): 1945-1949. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1012164>.
- Singh N.R., Singh M.S. (2009). Wild medicinal plants of Manipur included in the red list. Asian Agrihist, 13: 221-225.
- Singh O., Ali M., Akhtar N. (2011). New antifungal aromatic compounds from the seeds of *Rhus coriaria* L. Int Res J Pharm; 2(1): 188- 194.
- Sipailiene A., Venskutonis P.R., Baranauskienė R., Sarkinas A. (2006). Antimicrobial Activity of commercial samples of thyme and marjoram oils. Journal of Essential Oil Research, 18: 698-703. DOI:10.1080/10412905.2006.9699210
- Souza V.C, Lorenzi H. (2005). Botanica Sistemática. Ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII. Instituto Plantarum de Estudos da Flora LTDA, Nova Odessa. 640p.
- Spichiger R-E., Savolainen, V., Figeat M., Jeanmonod D. (2004). Botanique systématique des plantes à fleurs. Presses polytechniques et universitaires romandes. 413p.
- Svoboda K.P., Svoboda T.G., Syred A. (2000). Secretory structures of aromatic and medicinal plants. Microscopix Publications. 60p.
- Tan D., Yan Q., Ma X. (2015). Chemical constituents *Rhus chinensis*. Chemistry of Natural Compounds; 51(3). DOI 10.1007/s10600-015-1336-2
- Tebourbi O., Trabelsi C., Nasr C.B., Sakly M. (2006). Antioxidant activity of extract of *Rhus oxyacantha* root cortex. Indian J. Exp. Biol, 44: 246–249.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

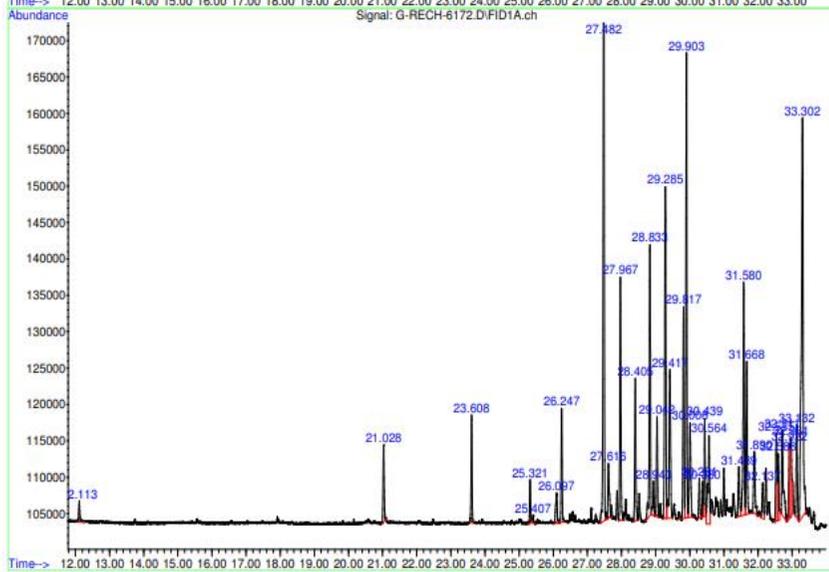
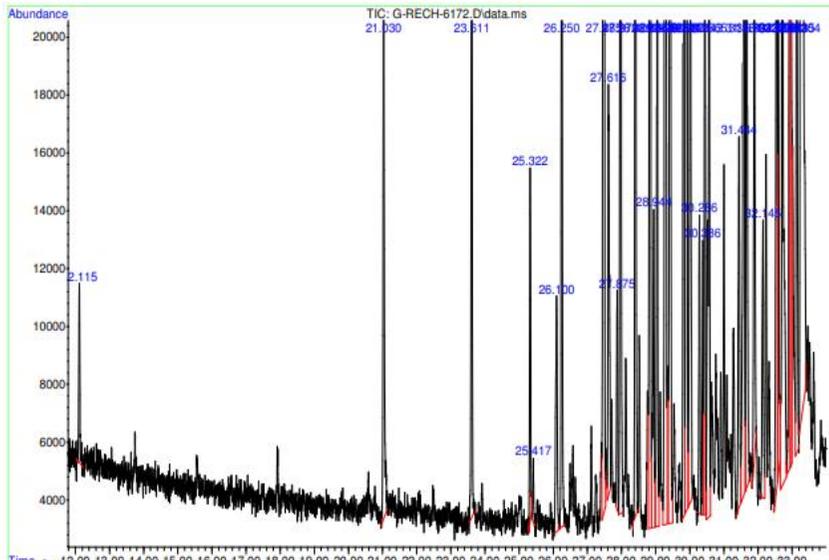
- Tian F., Li B., Ji B., Yang J., Zhang G., Chen Y., Luo Y. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of consecutive extracts from *Galla chinensis*: The polarity affects the bioactivities. *Food Chem*, 113 : 173-179. DOI : 10.1016/j.foodchem.2008.07.062
- Touaibia M. (2012). Composition chimique et activité antifongique de l'huile essentielle de *Myrtus communis* L. sur milieu de laboratoire et sur les fruits du fraisier. *Nature & Technology, Revue « Nature & Technologie »*. B- Sciences Agronomiques et Biologiques, 12 : 66 - 72
- Trovato E., Micalizzi G., Dugo P., Utczás M., Mondello L. (2020). Use of Linear Retention Indices in GC-MS Libraries for Essential Oil Analysis. 3rd Edition. CRC Press. Handbook of Essential Oils. Francis and Taylor, 23p.
- Villaño D., Fernández-Pachón M. S., Moyá M.L., Troncoso A.M., García-Parrilla M.C. (2007). Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71(1): 230–235.
- Wannan B.S., Quinn C. J. (1991), Pericarp structure and generic affinities in the Anacardiaceae. *Bot. J. Linn. Soc*, 103; 225-252.
- Weeks A., Zapata F., Pell S.K., Daly D.C., Mitchell J.D., Fine A. (2014) To move or to evolve: contrasting patterns of intercontinental connectivity and climatic niche evolution in “Terebinthaceae” (Anacardiaceae and Burseraceae). *Front Genet*, 5:1–19. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00409>
- Wehrli A., Kováts E. (1959). Gas-chromatographische Charakterisierung organischer Verbindungen. Teil 3: Berechnung der Retentionsindices aliphatischer, alicyclischer und aromatischer Verbindungen. *Helvetica*, 42(7) :2709-2736. DOI: <https://doi.org/10.1002/hlca.19590420745>
- Wei A., Shibamoto T. (2010). Antioxidant/Lipoxygenase Inhibitory Activities and Chemical Compositions of Selected Essential Oil. *J. Agric. Food Chem* ;58: 7218-7225. DOI: 10.1021/jf101077s
- Wetherilt H., Pala M. (1994). Herbs and spices indigenous to turkey in: *Species, Herbs and Edible Fungi: Developments in Food Science*, Charalambous G, Ed. Amsterdam: Elsevier. 285-307p.
- Wu-Yuan C.D., Chen C.Y., Wu R.T. (1988). Gallotannins inhibit growth, water-insoluble glucan synthesis, and aggregation of mutans streptococci, *J. Dent. Res*, 67: 51- 55. DOI: 10.1177/00220345880670011001
- Yan G., Feng J. (2002). Study on Wang Ruzun's hand - written copy of Dongyi Bogam (Precious mirror of oriental medicine). *Chinese journal of medical history*; 32(3), 151.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

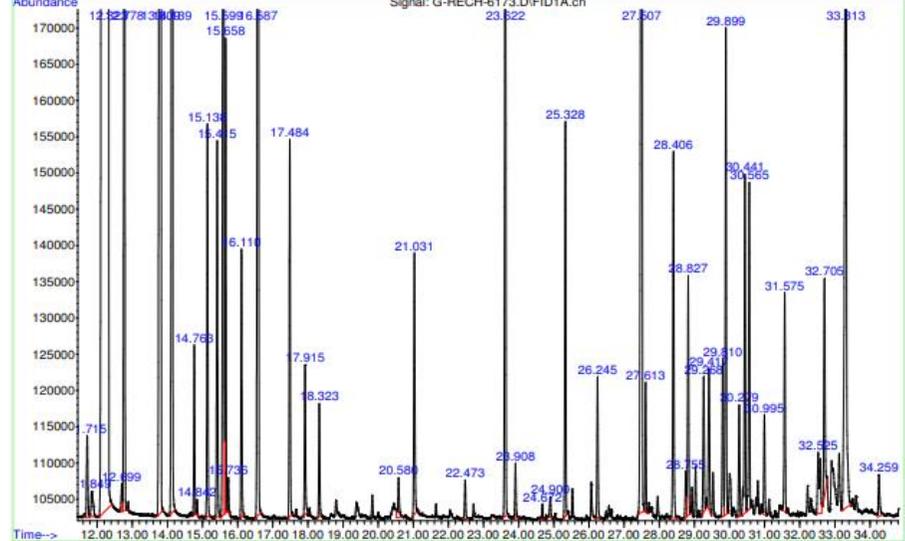
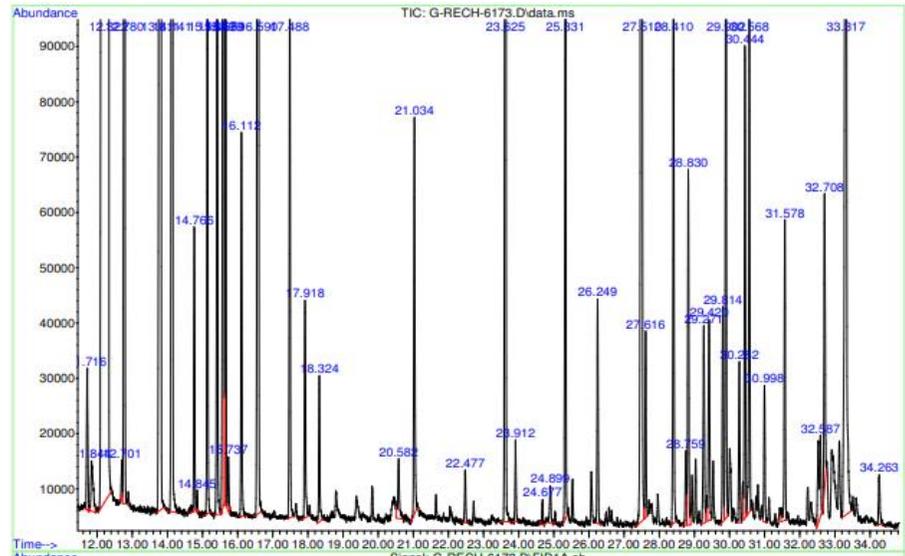
- Yang C., Hu Dh., Feng Y. (2015). Antibacterial activity and mode of action of the *Artemisia capillaris* essential oil and its constituents against respiratory tract infection-causing pathogens. *Molecular medicine reports*, 11: 2852-2860. DOI: <https://10.3892/mmr.2014.3103>
- Yang J., Kwon Y.S., Kim M.J. (2018). Antimicrobial activity and active compounds of a *Rhus verniciflua* Stokes extract. *Z Naturforsch C J Biosci*, 73(11-12): 457-463. DOI: [10.1515/znc-2018-0054](https://doi.org/10.1515/znc-2018-0054)
- Yang L., Wen K.S., Ruan X., Zhao Y.X., Wei F., Wang Q. (2018). Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors. *Molecules*, 23: 762. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>
- Zhaleh M., Sohrabi N., Zangeneh M., Zangeneh A., Moradi R., Zhaleh H. (2018) Chemical Composition and Antibacterial Effects of Essential Oil of *Rhus coriaria* Fruits in the West of Iran (Kermanshah), *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 21(2): 493-501, DOI: [10.1080/0972060X.2018.1462739](https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1462739)
- Zhu B., Ren Z., Nan P., Jiang M., Zhao J., Zhong Y. (2007). Chemical variation in leaf essential oils of *Rhus chinensis* from eight locations in Southern and Eastern China. *Chem Nat Comp* 43 (6): 741-43. DOI: [10.1007/s10600-007-0253-4](https://doi.org/10.1007/s10600-007-0253-4)
- Znini M., Cristofari G., Majidi L., Mazouzc H., Tomib P., Paolinib J., Costa J. (2011). Antifungal Activity of Essential Oil from *Asteriscus graveolens* against Postharvest Phytopathogenic Fungi in Apples. *NPC*, 6(11) :1763 - 1768. DOI : [10.1177/1934578X1100601147](https://doi.org/10.1177/1934578X1100601147).

ANNEXE

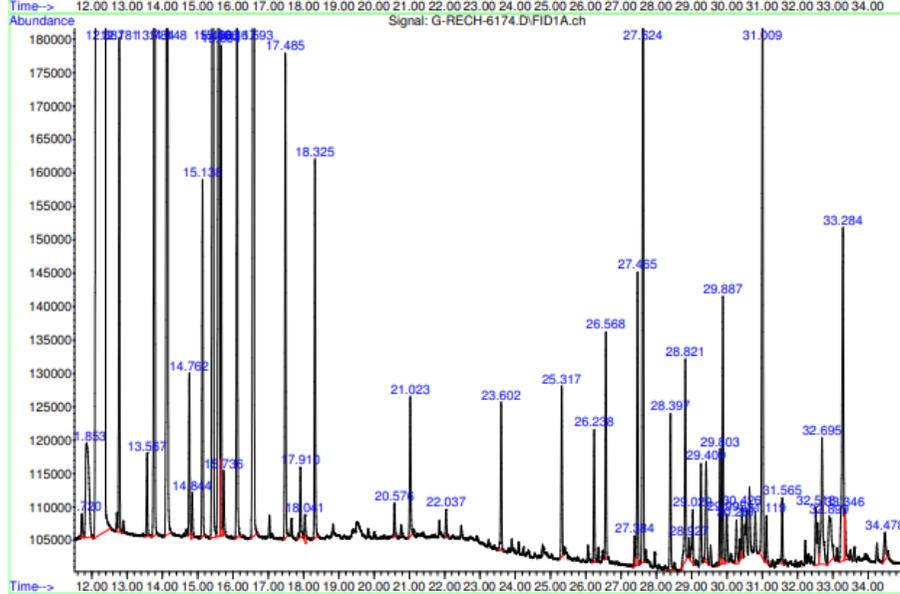
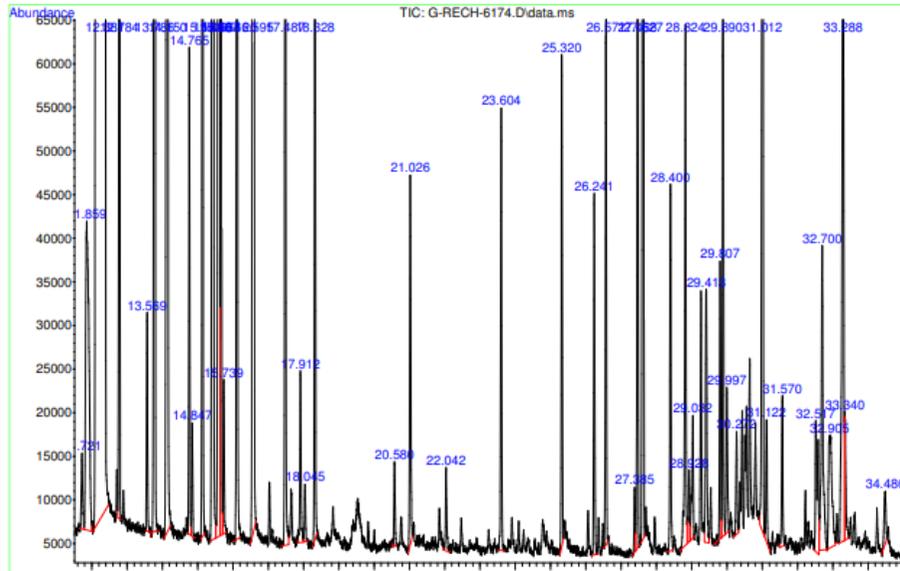
Sample Name: 1 R femelle KS
Misc Info :



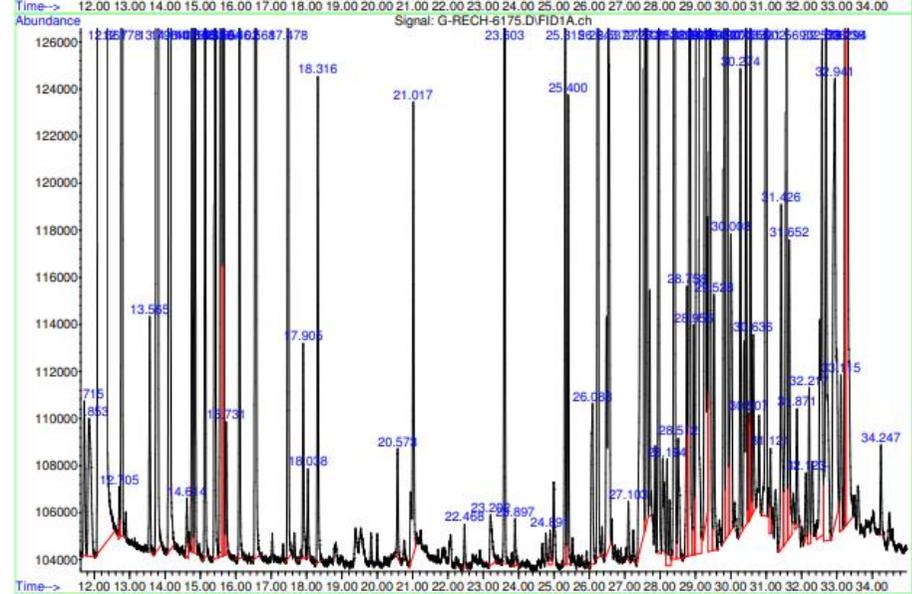
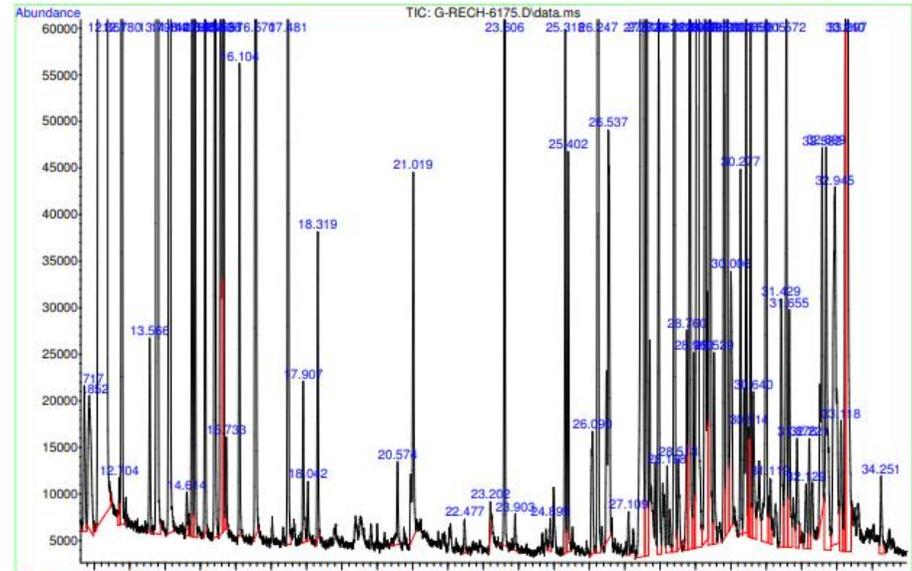
Sample Name: 2 R male cha
Misc Info :



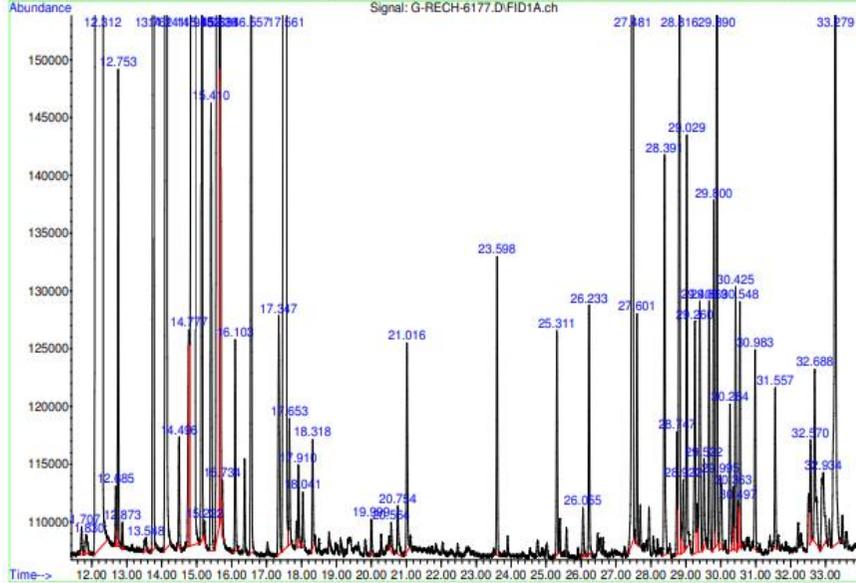
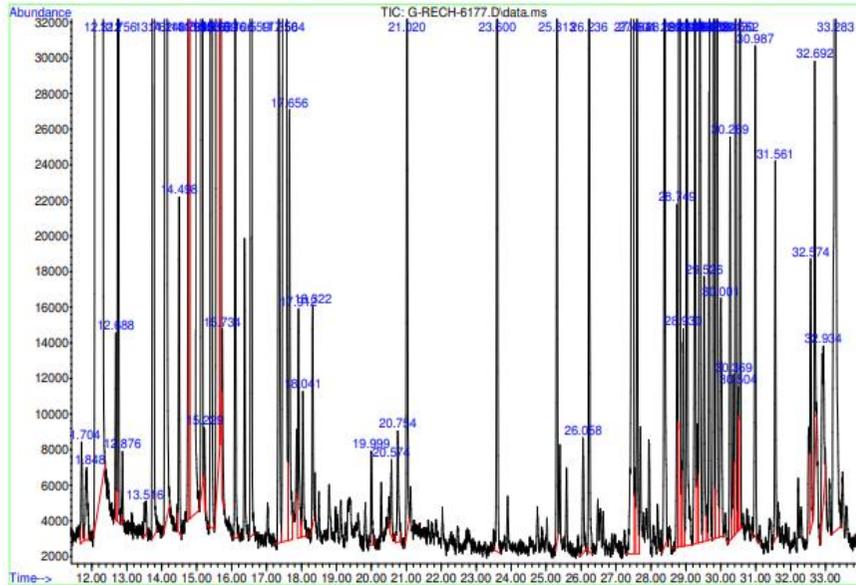
Sample Name: 3 R femelle Ch
Misc Info :



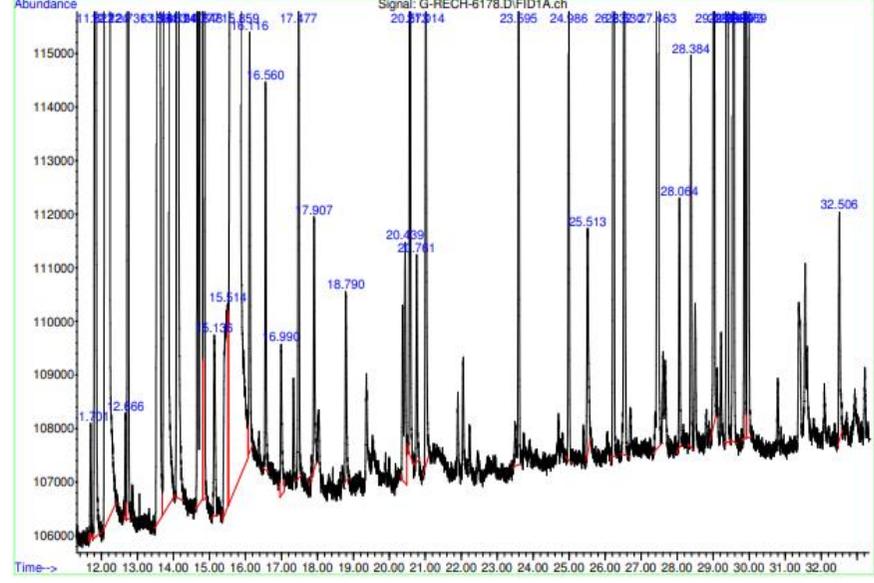
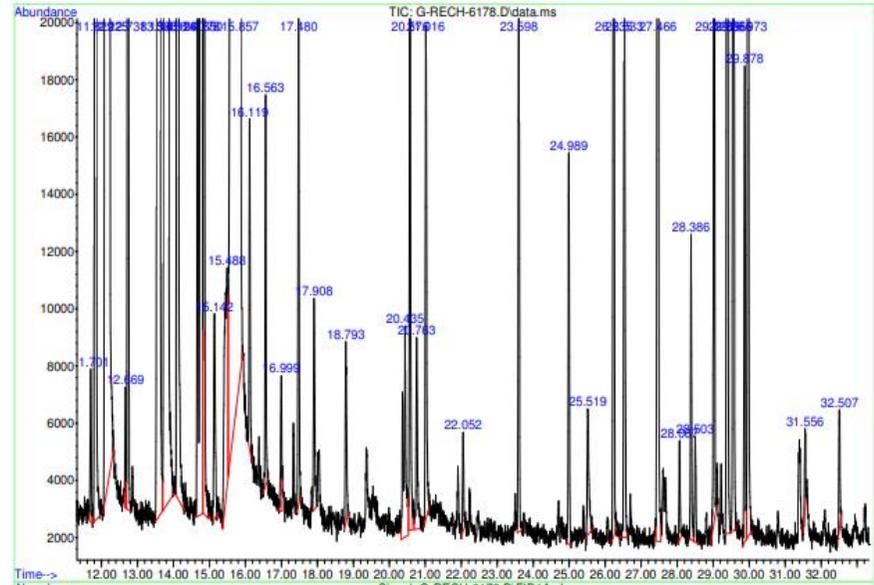
Sample Name: 4 R male KS
Misc Info :



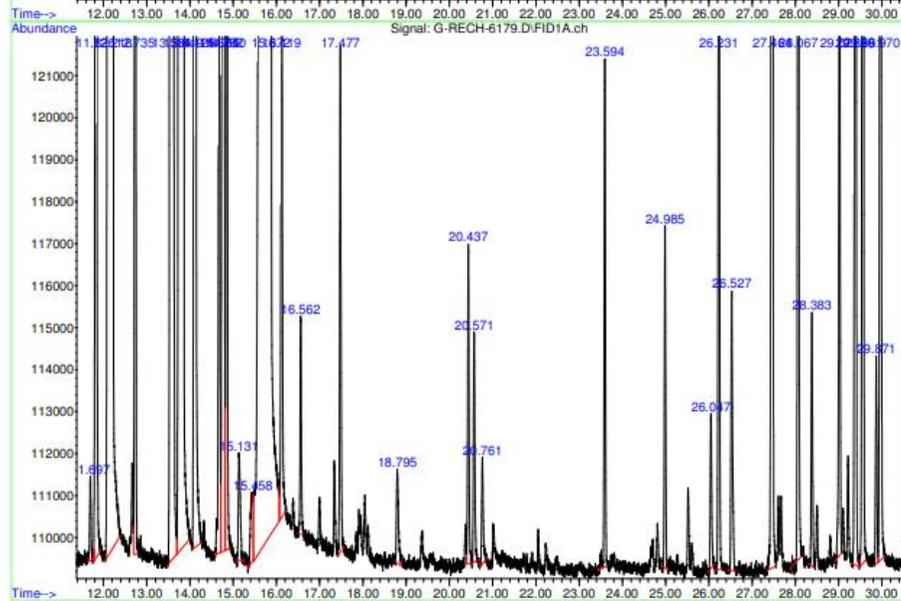
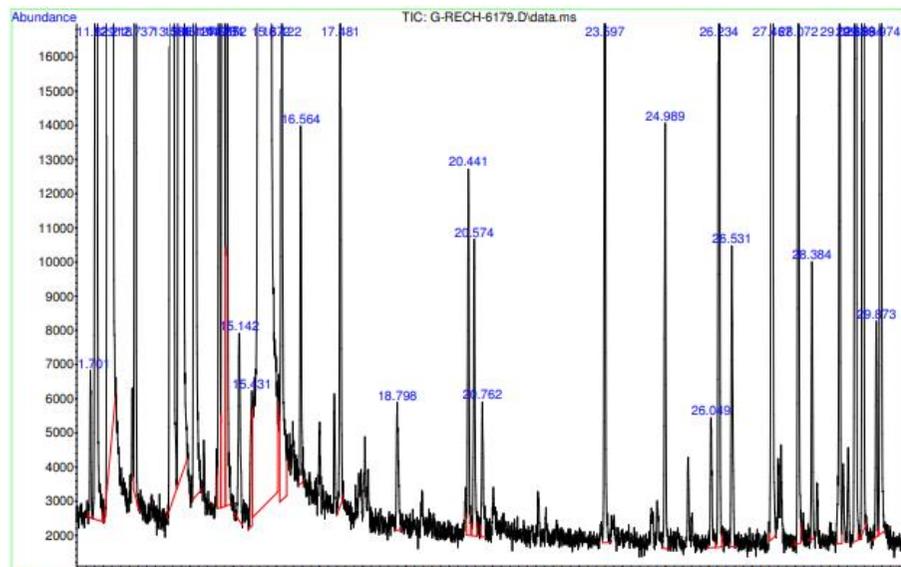
Sample Name: 6 Rh male MS
Misc Info :



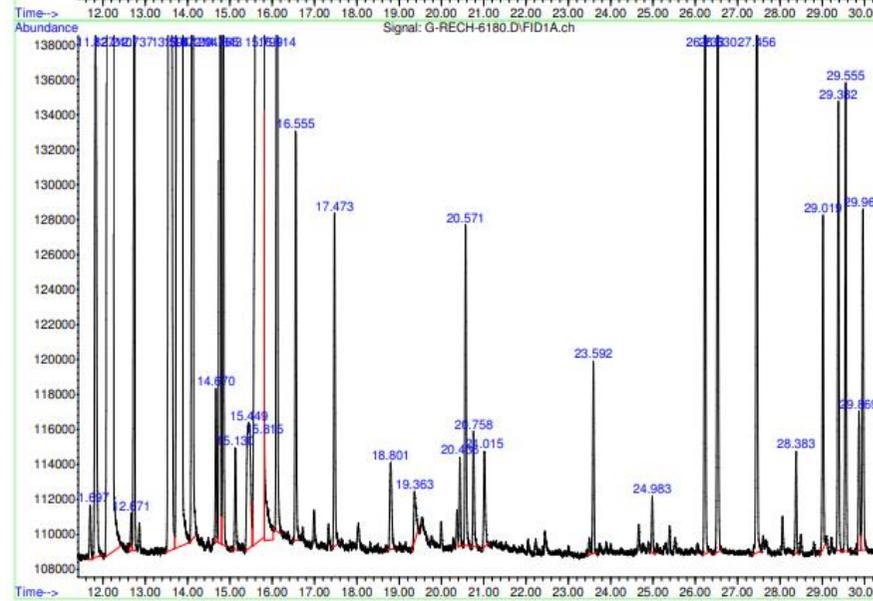
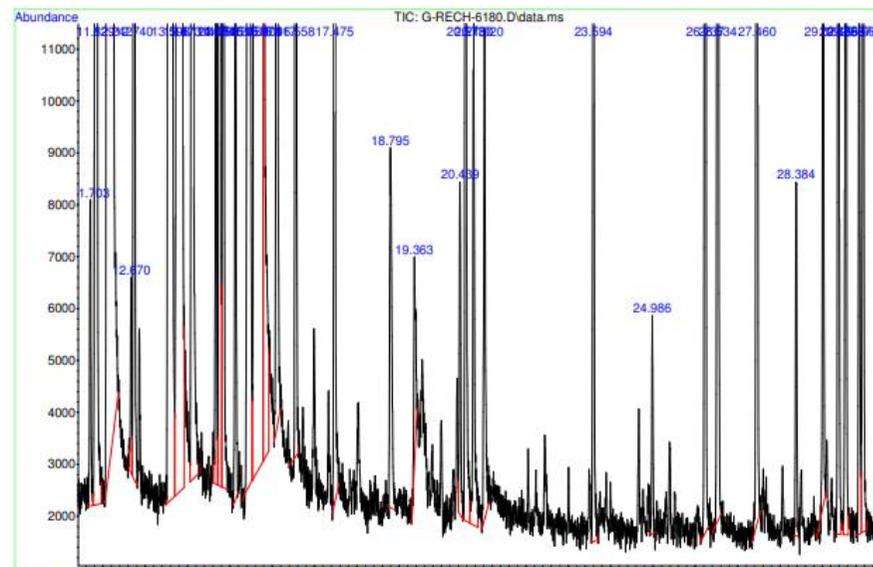
Sample Name: 7 Bp-f K4
Misc Info :



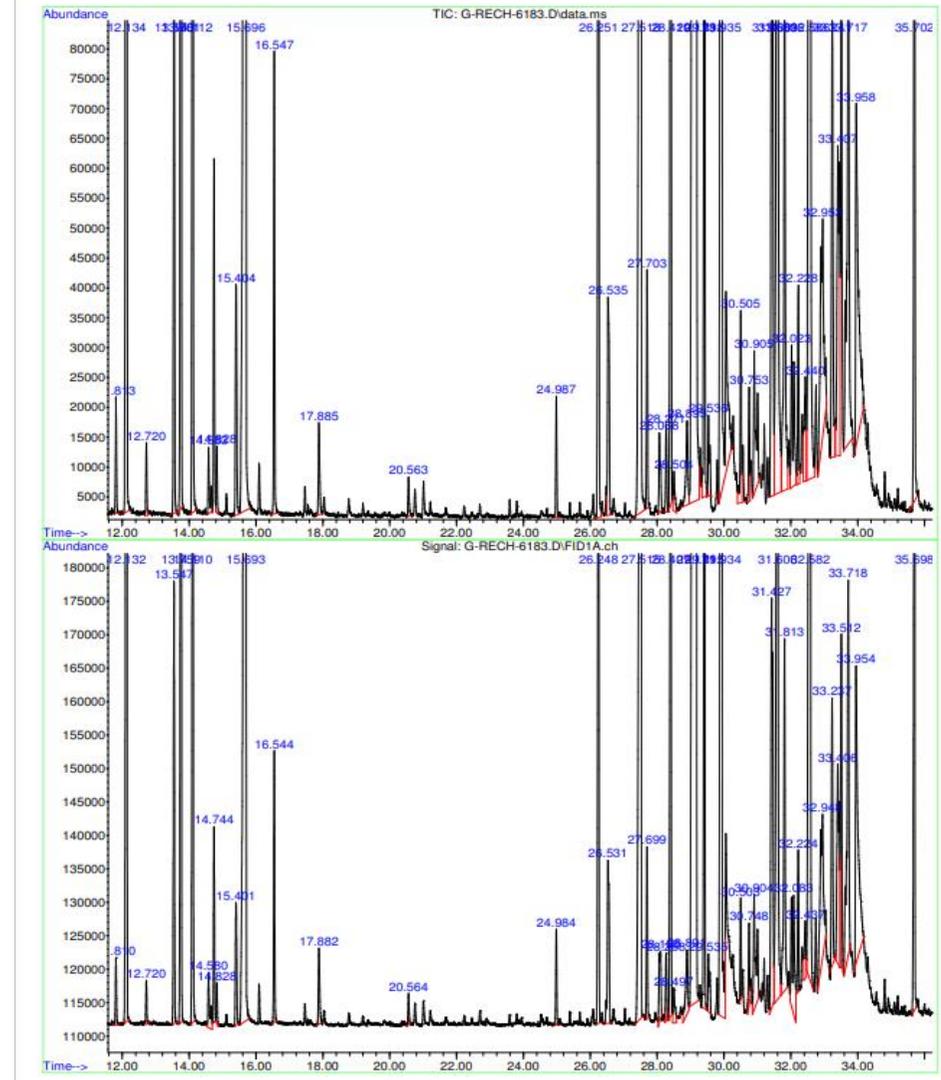
Sample Name: 8 Bp-f CC
Misc Info :



Sample Name: 9 Bp-f wp
Misc Info :



Sample Name: 12 BP-5f DJ
Misc Info :



Annexe 1: Chromatogrammes des huiles essentielles des populations du *R. tripartita*

Chemical composition and antibacterial activities of *Rhus tripartita* essential oils from Algeria

KHAOULA BENLEMBAREK¹, TAKIA LOGRADA¹, MESSAOUD RAMDANI¹ *, GILLES FIGUEREDO²,
PIERRE CHALARD³

¹Laboratory of Natural Resource Valorization, Faculty of Life and Natural Sciences, Ferhat Abbas University Setif-1. 19000 Setif, Algeria.
Tel.: +21-3658 101010, *email: ramdanimesaoud@yahoo.com, ramdanimesaoud@univ-setif.dz

²LEXVA Analytique, 460 Rue Du Montant, 63110 Beaumont, France

³Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, ICCF, F-63000 Clermont-Ferrand, France

Manuscript received: 10 November 2020. Revision accepted: 30 December 2020.

Abstract. Benlembarek K, Lograda T, Ramdani M, Figueredo G, Chalard P. 2021. Chemical composition and antibacterial activities of *Rhus tripartita* essential oils from Algeria. *Biodiversitas* 22: 480-490. The yield of *Rhus tripartita* essential oils in Algeria is low with an average of 0.16 ± 0.017 . The chemical composition of the oils was determined by GC-GC / MS analysis. Seventy-eight compounds were identified with an average of $92.3 \pm 26.4\%$ in the total oil. The α -pinene ($58.72 \pm 14.45\%$), Δ^3 -carene ($5.21 \pm 6.89\%$), caryophyllene-Z ($4.55 \pm 4.68\%$) and β -pinene ($3.07 \pm 1.85\%$) are the major components of the oils of *R. tripartita* populations. The results reveal a notable difference between the chemical composition of essential oils from male and female populations. The oils of this species are composed of four chemotypes, the Δ^3 -carene, α -pinene; limonene chemotype characterizes the male populations of Tamanrasset and Boussaada. The α -pinene - Δ^3 -carene - caryophyllene-Z chemotype characterizes the male populations of M'sila and Mergueb. The female M'sila population is characterized by the α -pinene - Δ^3 -carene - Δ -cadinene chemotype. The remaining populations show the α -pinene - β -pinene - caryophyllene-Z chemotype. The evaluation of antibacterial activities reveals that *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* and *Pseudomonas aeruginosa* are not sensitive to the essential oils of *R. tripartita*. In contrast, *Enterococcus faecalis* is the most sensitive to the oils.

Keywords: Algeria, essential oils, chemotypes, antibacterial activities, *Rhus tripartita*

INTRODUCTION

The *Rhus* (*Anacardiaceae*) consists of approximately 200 species distributed in different temperate zones (Giovannelli et al. 2017). In Algeria, the genus *Rhus* is represented by three species, *Rhus tripartita*, *R. coriaria*, and *R. pentaphylla* (Quézel and Santa 1962). The *Rhus tripartita* or *Searsia tripartita* (Ucria) Moffett is located in arid and semi-arid North Africa (Quézel and Santa 1962) and in the steppes of Western Asia (Idm'hand et al. 2019).

Rhus tripartita is widely used in traditional and modern medicine (Lee et al. 2010; Wu et al. 2013). It is used in southern Algeria to treat diabetes, bloating, fever, kidney disease, skin lesions, diarrhea and several gut diseases (Hadjadj et al. 2015). The fruits of *Rhus tripartita* are eaten fresh or mixed with water, honey, or milk; the leaves are also used as animal feed; the barks and roots are used in crafts to dye leather, wool and silk (Floch 1983; Ben Mahmoud et al. 2015). The products of secondary metabolism of *R. tripartita*, in particular the phenolic compounds, have anti-carcinogenic, anti-thrombotic and anti-inflammatory (Chung et al. 2010; Ben Barka et al. 2019), anti-nephritic, antimicrobial (Abbassi et al. 2012) activities; antioxidants and preventive properties of breast cancer (Wang et al. 2005; Amin et al. 2007; Shahat et al. 2016).

The chemical composition of the genus *Rhus* is not much studied. The essential oils of *R. coriaria* from Sicily present cembrene and β -caryophyllene as the majority

products of the leaves, while the flowers are characterized by the presence of α -pinene and tridecanoic acid (Ridel et al. 2017); the same results were obtained in Iran by Zhaleh et al. (2018). In a similar study in Turkey, the chemical profile of *R. coriaria* populations showed that the main components were α -pinene, β -caryophyllene and cembrene (Brunke et al. 1993). Palestinian, Jordanian, and Egyptian sumac (*R. coriaria*) are characterized by α -pinene, naphthalene and cymene-O, respectively (Farag et al. 2018). Work on the chemical composition of the leaves of *R. typhina* has shown that monoterpenes are in the majority (Bestmann et al. 1988). The analysis of essential oils from the leaves and flowers of *R. mysorensis* allowed the estimation of the abundance of α -pinene, limonene, sabinene and β -eudesmol (Srivastava et al. 2005).

The ethanolic extracts, from the aerial parts of *R. tripartita* from the Bechar region (Algeria), showed a weak antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae* and *Pseudomonas aeruginosa* (Bereksi et al. 2018). While the chloroform extracts from Tunisian populations presented a strong antibacterial activity against *S. aureus* and strong antifungal activity against the yeast *Candida albicans* (Abbasi and Hani 2011).

The *R. tripartita* leaves in Libya showed, that both ethanolic extracts and chloroformic solvents, have a low inhibitory effect against *E. coli* and *P. aeruginosa* (Habibi et al. 2015). On the other hand, the studies by Tlili et al.

(2019) show significant activity of leaf extracts against *Listeria monocytogenes*, *S. epidermidis*, and *S. aureus* (MRS); but they did not show any significant activity against Gram-negative bacteria. The hydro-methanolic extract of stems, roots and leaves of *R. tripartita* showed strong antimicrobial activity against *L. monocytogene* and *Bacillus cereus* (Benbarka et al. 2019).

The evaluation of the antibacterial activity of *R. tripartita* alcoholic extracts in Egypt showed significant antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and *S. aureus* (MRSA) (Abd El-Salam 2015). A similar study by Njoroge and Opiyo (2019) in Kenya shows that compounds from the root bark of *R. natalensis* exhibited moderate antibacterial and antifungal activity against *Staphylococcus*

aureus, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Penicillium notatum*, and *Aspergillus niger*. Zhaleh et al. (2018), by studying the antibacterial activity of essential oils of *Rhus coriaria* in Iran, showed that this species could be used as an antibiotic to treat bacterial infections.

The aim of this study is to analyze the essential oils of *Rhus tripartita* populations in Algeria, to compare the chemical composition of essential oils of populations, identify the chemotypes of this species and to study the antibacterial activities of different populations.

MATERIALS AND METHODS

Plant materials

The *Rhus tripartita* is an easily recognizable shrub due to its thorny branches and its small leaves, cut into three

folioles. It is a dioecious plant with small clusters of yellowish-white flowers. The fruit is a small drupe 3-5 mm in diameter with a single seed inside having a spherical shape and a red to black color (Quézel and Santa 1962; Furth 1985).

The aerial parts of *R. tripartita* were collected in the flowering stage from seven localities in East Algeria (Figure 1) in February and March 2020. The species *R. tripartita* is dioecious; from each station, both male and female populations were sampled. Geographic coordinates of the stations are listed in Table 1.

Table 1. Geographical coordinates of sampled stations

Localities	Populations	Long. E	Lat. N	Alt. (m)
M'sila	1. M'sila F	4°35'04"	35°49'	622
	M'sila M	4°35'04"	35°49'	619
	2. Mergueb F	3°57'22"	35°35'51"	630
	Mergueb M	3°57'22"	35°35'51"	628
	3. Maïtar F	4°06'42"	35°14'11"	610
	Maïtar M	4°06'42"	35°14'11"	604
	4. Boussaada F	4°09'52"	35°11'37"	596
	Boussaada M	4°09'52"	35°11'37"	590
Biskra	5. Ksaïate M	4°42'08"	34°49'18"	784
	6. Chaïba F	4°56'38"	34°49'39"	417
	Chaïba M	4°56'38"	34°49'39"	416
Tamanrasset	7. Tamanrasset	5°28'98"	24°24'17"	1140

Note: F = female population; M = male population

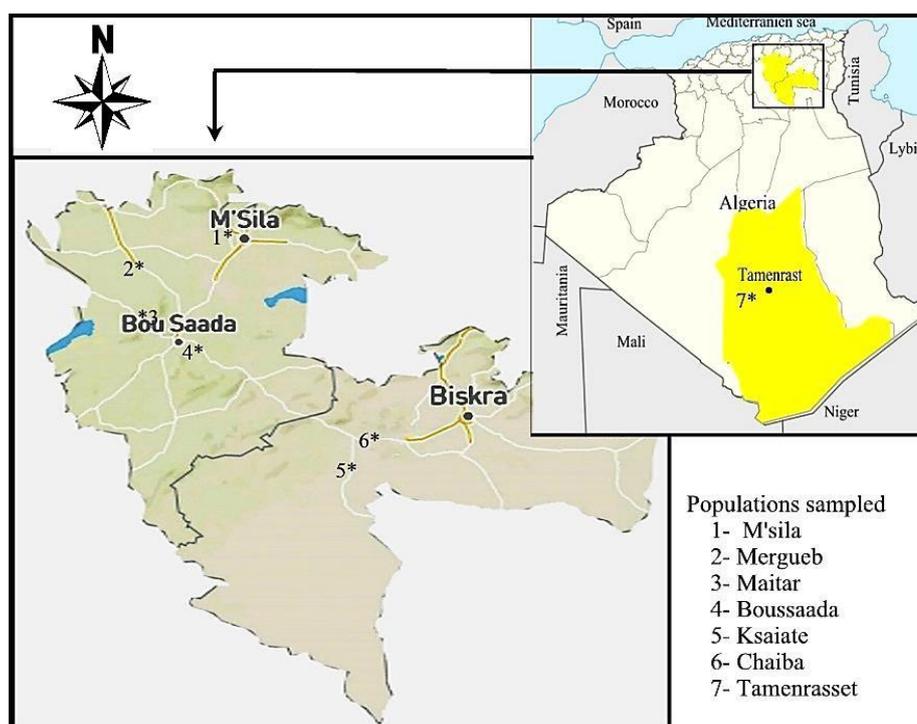


Figure 1. Populations of *Rhus tripartita* sampled in Algeria

Table 2. Chemical composition of *Rhus tripartita* essential oils in Algeria

Stations	IK	Tamanrasset	M' sila		Mergueb		Maitar		Ksaïate		Chaïba		Boussaâda		Average	SD
		M	F	M	F	M	F	M	M	F	M	F				
Nb of components		32	54	52	41	42	47	47	63	43	47	53	53	48	8	
Yields		0.15	0.16	0.17	0.19	0.18	0.16	0.17	0.15	0.13	0.14	0.16	0.17	0.16	0.02	
Total %		96.8	99.6	97.9	99.9	99.9	99.9	99.5	99.5	99.8	99.9	99.4	99.8	92.3	26.4	
Tricyclene	921	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	
α -thujene	927	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	
α -pinene	934	35.8	34.6	54.8	43.5	64.4	65.6	69.7	67.6	66.4	78.4	52.0	71.9	58.7	14.5	
α -fenchene	950	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Camphene	953	0.8	0.8	0.7	1.1	1.6	0.4	1.8	0.8	1.7	0.5	0.3	1.1	1.0	0.5	
Sabinene	973	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	
β -pinene	980	2.5	1.3	1.6	3.0	4.0	0.7	6.4	3.4	6.4	1.8	1.3	4.6	3.1	1.9	
Myrcene	989	2.4	0.5	1.5	7.7	5.3	0.7	1.0	2.4	2.7	2.8	3.3	2.1	2.7	2.1	
Δ 2-carene	999	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
α -phellandrene	1008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
Δ 3-carene	1009	22.3	6.2	8.3	7.1	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	15.3	2.4	5.2	7.2	
α -terpinene	1017	1.5	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.3	0.6	0.4	1.0	0.1	0.4	0.4	
Cymene-ortho	1026	0.6	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.6	2.1	0.4	0.2	0.5	0.5	
Limonene	1031	7.2	2.2	2.1	2.3	1.3	0.8	1.1	1.6	2.3	2.0	6.0	2.2	2.6	2.0	
β -phellandrene	1032	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.5	0.8	0.5	0.4	0.2	
β -ocimene-Z	1035	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	
β -ocimene-E	1046	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.2	1.1	0.2	0.4	
δ -terpinene	1058	1.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.0	1.2	2.8	2.5	0.6	0.1	0.8	1.0	
Terpinolene	1086	11.4	1.6	1.5	1.7	0.3	0.1	0.0	0.5	0.6	0.6	9.4	1.3	2.4	3.8	
Cymenene-para	1093	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	
Linalool alcool	1098	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	
Nonanal-n	1101	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
Fenchol	1125	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	0.1	0.3	0.2	0.3	
α -campholenal	1133	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	
Sabinol trans	1148	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	
Pinocarvone	1172	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Isoborneol	1182	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	
Terpinen-4-ol	1184	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2	0.4	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	
α -terpineol	1186	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	
Cymene 8-ol-para	1197	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Myrtenol	1206	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Isoborneol formate	1212	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	
Bornyl acetate	1288	0.6	1.1	0.0	1.6	1.2	0.0	1.5	0.4	1.4	0.2	0.2	0.4	0.7	0.6	
Pinocarvyl acetate	1297	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Δ -elemene	1354	0.0	0.4	0.6	0.7	0.3	0.8	0.6	0.2	0.6	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	
α -ylangene	1377	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	
α -copaene	1382	0.0	0.9	1.9	1.2	0.9	0.9	1.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.3	0.7	0.6	
β -bourbonene	1391	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	
β -elemene	1394	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	
Longifolene	1425	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Caryophyllene-Z	1433	2.8	17.2	1.3	7.0	3.1	10.5	0.8	4.0	3.7	0.4	1.8	1.9	4.6	4.9	
δ -elemene	1434	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.2	0.7	0.2	1.1	0.2	0.4	0.3	0.3	
Aromadendrene	1448	0.4	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	
α -humulene	1465	0.4	3.1	0.6	1.3	0.7	1.6	0.3	0.7	0.6	0.2	0.4	0.4	0.9	0.8	
Cadina-1 (6)-4- diene-T	1479	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	
δ -muurolene	1481	0.0	2.0	2.9	1.7	1.8	1.4	2.1	0.6	0.4	0.3	0.6	0.3	1.2	0.9	
α -amorphene	1485	0.0	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	
Germacrene-D	1489	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.7	0.2	3.1	0.0	0.1	0.3	1.2	0.6	0.8	
δ -cadinene	1498	0.1	1.0	0.2	1.0	1.2	1.0	1.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.5	0.5	
Muurola-4 (14)5- diene-T	1501	0.2	0.1	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	
δ -amorphene	1502	0.0	1.2	0.9	0.8	0.9	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	
α -muurolene	1505	0.9	1.3	1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	
Δ -amorphene	1509	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	
Δ -cadinene	1520	2.5	2.2	5.3	3.2	3.2	2.4	2.5	0.3	0.7	0.3	0.8	0.6	2.0	1.5	
γ -bisabolene- E)	1524	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	

Calamenene cis	1529	0.0	0.7	0.9	0.5	0.5	0.4	0.9	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	
Cadina-1,4-D-T	1539	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	
α -cadinene	1543	0.1	2.5	0.4	1.1	0.8	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.7	
Dauca-4 (11),7-diene-T	1546	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	
α -calacorene	1549	0.0	2.3	0.5	1.1	0.8	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	
Selina-3,7 (11)-diene	1552	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	
Germacrene-B	1570	0.0	0.6	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	0.6	0.2	0.8	0.2	0.3	0.3	0.3	
Hexenyl benzoate-3Z	1574	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
Spathulenol	1587	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	
Caryophyllene oxide	1593	0.0	3.9	0.6	3.5	0.7	2.0	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	1.0	1.3	
Globulol	1596	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Salvia 4 (14)en 1-one	1609	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Humulene epoxide II	1620	0.0	0.5	0.3	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
α -eudesmol-5-7-epi	1634	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Cubenol-1-epi	1636	0.0	0.6	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
β -muurola 4 (10) (14)dien-ol	1641	0.0	0.2	0.6	1.5	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	
δ -eudesmol	1642	0.0	1.2	0.0	0.3	0.2	0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	
α -muurolol	1650	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.2	0.4	0.2	0.3	
Muurolol epi	1652	0.2	0.5	0.0	0.3	0.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	
Desmethoxyencecalin	1660	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.3	
α -eudesmol-5-7-epi	1668	0.0	4.0	0.0	1.7	1.4	1.8	0.0	1.0	2.2	0.6	0.8	0.9	1.2	1.2	
Calamenene 10-ol	1673	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	
Germacra-4 (15),5,10 (14)-T	1677	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	
Chemical classes																
Hydrocarbon monoterpenes		86.6	48.0	71.4	67.9	78.8	69.6	81	79.9	85.6	93.2	91.2	87.9	78.4	12.7	
Oxygenated monoterpenes		0.8	2.9	2.9	1.8	1.6	1.5	3.3	0.9	2.4	0.9	0.6	1.4	1.8	0.9	
Hydrocarbon sesquiterpenes		9.1	36.8	20.2	22.5	16.4	23.1	13.6	15.5	8.6	4.4	6.2	7.4	15.3	9.3	
Oxygenated sesquiterpenes		0.4	11.9	3.4	7.8	3.2	5.6	1.9	2.9	3.2	1.3	1.4	2.1	3.8	3.3	
Aldehyde		0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	
Ester		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
Other		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.3	

Note: F = female population; M = male population

With an average of $58.72 \pm 14.45\%$, the α -pinene is the major component in all populations of *R. tripartita* studied; followed by Δ^3 -carene ($5.21 \pm 6.89\%$), caryophyllene-Z ($4.55 \pm 4.68\%$), β -pinene ($3.07 \pm 1.85\%$), myrcene ($2.69 \pm 1.96\%$), limonene ($2.59 \pm 1.88\%$), terpinolene ($2.40 \pm 3.64\%$) and Δ -cadinene ($2.02 \pm 1.45\%$). The terpenes composition of *R. tripartita* essential oils presents certain heterogeneity. The level of α -pinene in the populations of Tamanrasset male, M'sila male and Mergueb male is less than 50%, unlike in the other populations the rate varies between 52.02 and 71.88%.

The Δ^3 -carene, limonene and terpinolene are present with a significant percentage in Boussaada (male) and Tamanrasset populations. Male populations from M'sila, Maïtar and Mergueb show a high percentage of caryophyllene-Z. The highest percentage of Δ^3 -cadinene is observed in the female M'sila population with a rate of 5.33%; the remaining populations contain rates varying between 0.33% and 3.24%.

The essential oils of *Rhus tripartita* is rich in hydrocarbon monoterpenes and sesquiterpenes. The hydrocarbon monoterpenes are more abundant in the female populations, however; the male populations contain high levels of hydrocarbon sesquiterpenes.

The hydrocarbon monoterpenes are abundant in all populations with an average of $78.39 \pm 12.65\%$ (Figure 3), particularly in female populations. On the other hand male population's present high levels of hydrocarbon

sesquiterpenes.

The female Chaïba population reveals the highest value of hydrocarbon monoterpenes (93.22%), on the other hand, the lowest value was found in the samples of the male M'sila population with 47.98%. Hydrocarbon sesquiterpenes are present with an average of $15.32 \pm 9.3\%$. The aldehydes, esters and other components are present with low values in all the populations studied.

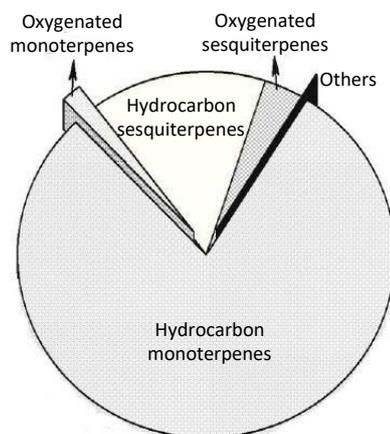


Figure 3. Chemical classes' distribution of essential oils of *Rhus tripartita*

The analysis of essential oils shows a difference between the chemical composition of male and female *R. tripartita* populations. The female populations are rich in α -pinene (54.80-78.43%) and β -pinene (1.62-6.40%), while the male populations show high levels of limonene (0.76- 6.03%), terpinolene (0.14-9.39%) and caryophyllene (Z) (1.80-17.19%). The statistical analysis (Box whisker) of the chemical composition of *Rhus tripartita* essential oils reveals a significant variability of the components; α - pinene with an average $58.72 \pm 14.45\%$, followed by Δ^3 - carene, caryophyllene-Z and terpinolene (Figure 4).

The three-dimensional spatial projection of populations based on the three main axes from the ACP shows that the populations studied are dispersed and remote from each other (Figure 5). They do not gather in homogeneous groups. We notice that certain populations are well individualized like the populations of Tamanrasset and Boussaada male.

The analysis of UPGMA clusters, based on the distance of linkage, indicates the presence of chemical variability between the populations studied. The analysis separated the twelve populations of *R. tripartita* into two main clusters (Figure 6).

The first cluster includes male populations characterized by the presence of low levels of α -pinene and high rate of Δ^3 -carene, limonene and caryophyllene-Z. It is divided into two groups, Tamanrasset and Boussaada male populations which are characterized by a very high rate of Δ^3 -carene (15.30 to 22.3%), α -pinene (35.84 to 52, 02%), limonene (6.03-7.23%) and terpinolene (9.39-11.41%). The second group is formed by the male populations of M'sila and Mergueb, which are characterized by α -pinene (34.57% - 43.50%), Δ^3 -carene (6.24% - 7.13%), and caryophyllene-Z (6.99% - 17.19%).

The second cluster, rich in α -pinene, is subdivided into two groups; the female M'sila population, characterized by α -pinene (54.80%), Δ^3 -carene (8.34%) and Δ -cadinene (5.33%), represents the first group. The second group,

formed mainly by female populations, is characterized by a high level of α -pinene (64.40-78.43%) associated with β -pinene (0.65-6.40%), caryophyllene-Z (0.37-10.50%) and myrcene (0.68-5.34%).

The chemical analysis and statistical analysis have enabled us to identify four chemotypes in the essential oils of our populations (Table 3). The first chemotype with Δ^3 -carene α -pinene - limonene characterizes the male populations of Tamanrasset and Boussaada. The second chemotype with α -pinene - Δ^3 -carene - caryophyllene-Z symbolised the male populations of M'sila and Mergueb. The female M'sila population is characterized by the α -pinene - Δ^3 -carene - Δ -cadinene chemotype. The remaining populations are characterized by the α -pinene - β -pinene - caryophyllene-Z chemotype.

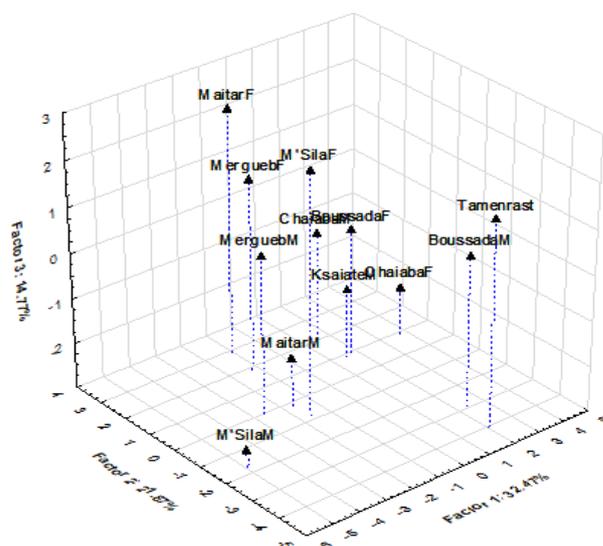


Figure 5. Spatial projection of the *Rhus tripartita* populations

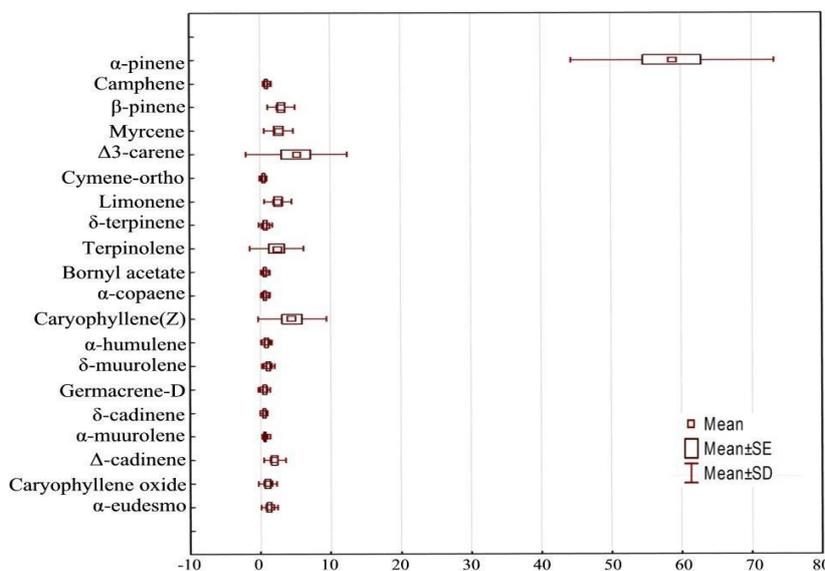


Figure 4. Chemical components variation of *Rhus tripartita* essential oils

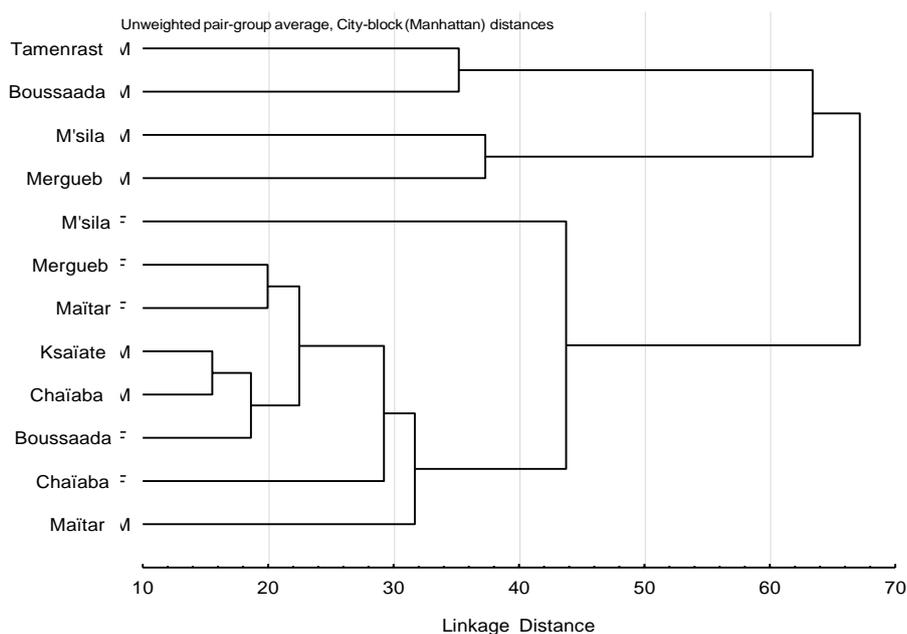


Figure 6. UPGMA cluster of populations of *Rhus tripartita* in Algeria

Table 3. Chemotypes of *Rhus tripartita*

Chemotypes	Populations
1 Δ^3 -carene, α -pinene, limonene	Tamanrasset and Boussaada male
2 α -pinene - Δ^3 -carene - caryophyllene-Z	M'sila and Mergueb male
3 α -pinene - Δ^3 -carene - Δ -cadinene	M'sila female
4 α -pinene - β -pinene - caryophyllene-Z	Boussaada female, Mergueb female, Maïtar (male and female), Ksaïate (male and female), Chaïba (male and female)

The antibacterial activity of *Rhus tripartita* essential oils was estimated using the disk diffusion method. After 24 hours of incubation at 37°C, the antibacterial activity was assessed by measuring the diameters of inhibition zone (Table 4). Antibacterial tests show that *S. aureus* and *E. coli* bacteria are sensitive to the antibiotics used, while *E. faecalis*, *P. mirabilis* and *P. aeruginosa* are resistant to Colistin. The most resistant bacterial strains to the essential oils of *R. tripartita* are *S. aureus* and *E. coli*. Pure essential oils are the most effective against *E. faecalis* and *P. aeruginosa*. The inhibition of bacterial growth is highly significant; especially in the oil from the Boussaâda male population, whose diameter of inhibition is 55.33 ± 1.52 mm.

The essential oils from the populations of Tamenrasset, M'sila, Ksaïate and Chaïba female showed low activity against *P. mirabilis* with an average zone of inhibition of 10.66 ± 1.5 mm, while the other populations did not affect the growth of this bacteria.

The *Rhus tripartita* essential oils from M'sila female

population exhibits a low antimicrobial activity against the strains tested with an average inhibition diameter of 12.76 mm, although the diameter of inhibition is the largest in the test series. The essential oils from the female population of Mergueb shows the lowest zone of inhibition with a diameter of 11.02 mm (Table 6).

The antibiotics used in this study were able to inhibit bacterial growth better than *R. tripartita* oils (Table 7). The diameter of inhibition of the essential oils of *R. tripartita* was lower than that of antibiotics with diameters of inhibition inferior of 4.93 mm. Therefore, these results are not significant in inhibiting the growth of bacteria tested.

The three-way analysis of variance revealed a very significant difference in the diameters of the inhibitory zones among the essential oils. The statistical analysis showed that the Main Effects (Populations, doses, bacterial species, and their interactions are highly significant ($P < 0.001$)) (Table 5).

The bacteria tested are not sensitive to the essential oils of *R. tripartita* (Table 8). The results reveal that *S. aureus*, *E. coli*, *P. mirabilis* and *P. aeruginosa* are the most not sensitive to the essential oils of *R. tripartita*. In contrast, *E. faecalis* is the most sensitive to oil.

The desirability profile of *Rhus tripartita* essential oils against the bacteria tested had a prediction value of 0.246 (Figure 7). The predictive value of essential oils was low. The doses of the oils used in this study have low activity against the bacteria tested, with values not much higher than the predicted value. The desirability test showed that the bacterial species used in this study have values greater than the predicted value, which confirms that these bacteria are resistant to the essential oils of *Rhus tripartita*.

Table 5. Main effects and interactions of *Rhus tripartita* essential oils

Sources	df	MS	F	P
Main effects				
Populations	11	41.49	97.45	.0000 ***
Bacteria	4	612.41	1438.43	.0000 ***
Doses	6	20744.71	48725.15	.0000 ***
Interaction				
Populations* Bacteria	44	56.15	131.90	.0000 ***
Populations * Doses	66	24.91	58.52	.0000 ***
Bacteria * Doses	24	1719.57	4038.94	.0000 ***
Populations* Bacteria * Doses	264	28.93	67.96	.0000 ***

Table 6 The effectiveness of *Rhus tripartita* essential oils from several sampling locations

Rank	Populations	Mean	n	Non-significant ranges
1	M'sila F	12.76	105	a
2	Boussaâda M	12.47	105	b
3	Chaiba F	12.45	105	b
4	Tamenrasset	12.26	105	c
5	Chaiba M	11.82	105	d
6	Mergueb M	11.81	105	d
7	Ksaïate F	11.73	105	d
8	Boussaâda F	11.45	105	e
9	Maitar M	11.20	105	f
10	M'sila M	11.10	105	f
11	Maitar F	11.07	105	f
12	Mergueb F	11.02	105	f

Note: LSD 0.05 = 0.1767

Table 7. Effect of oil dilutions on the inhibitory zone of bacteria tested

Rank	Doses	Mean	n	Non-significant ranges	S*
1	Gentamicin	26.43	195	a	+++
2	Cefotaxime	26	195	b	+++
3	Imipenem	11.6	195	c	+
4	Colistin	9.4	195	d	+
5	1	4.93	195	e	-
6	1/2	2.59	195	f	-
7	1/3	1.63	195	g	-

Note: LSD 0.05 = 0.129; * S= (+++) extremely sensitive, (+) sensitive, (-) not sensitive

Table 8. Effect of oil dilutions on the inhibitory zone of bacteria tested

Rank	Bacteria	Mean	n	Non-significant ranges
1	<i>S. aureus</i>	14.09	273	a
2	<i>E. coli</i>	12.43	273	b
3	<i>P. mirabilis</i>	11.36	273	c
4	<i>P. aeruginosa</i>	10.04	273	d
5	<i>E. faecalis</i>	10.06	273	e

Note: LSD 0.05 = 0.109

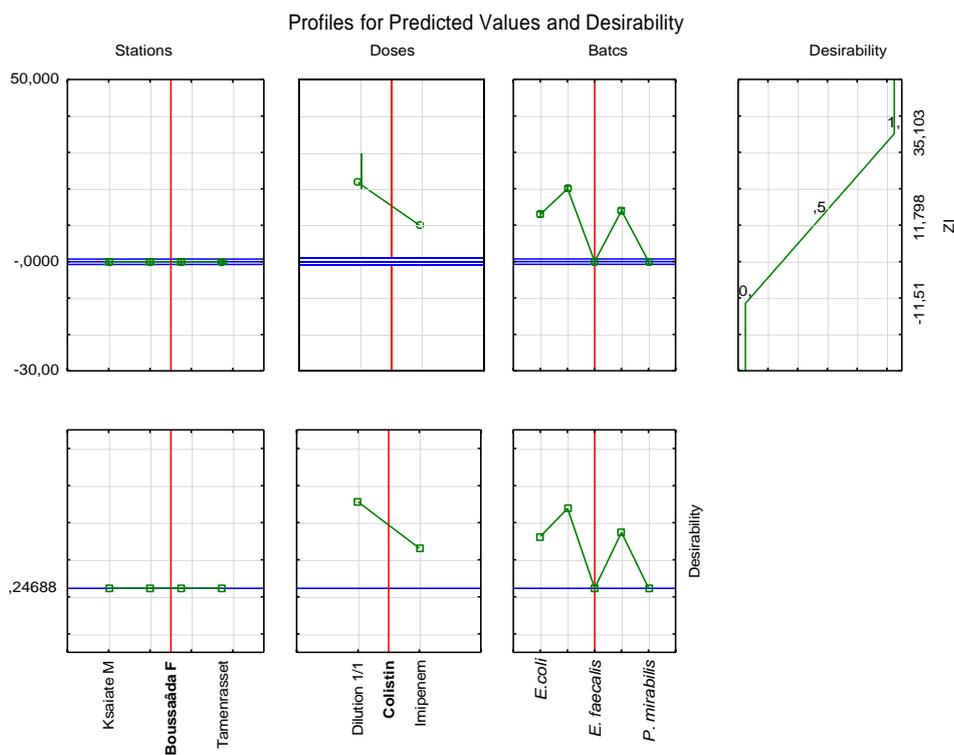


Figure 7. Profiles for predicted values and desirability for the inhibition zones induced by *Rhus tripartita* essential oils against bacteria

Discussion

The essential oils yield of the *Rhus tripartita* populations in Algeria is low (0.16%). This yield represents some similarity with the yield of *R. coriaria*, which varies between 0.04 and 0.19% (Morshedlooa et al. 2017). The essential oils yield variation is influenced by several environmental factors, such as drought and salinity (Aghaei et al. 2013; Sangwan et al. 2001); as well as the harvest after flowering, where 70% of essential oils are evaporated in the air (Salle and Pelletier 1991).

The results of the chemical composition of the essential oils of *R. tripartita* in Algeria show a certain resemblance to other *Rhus* species, especially in the major components, α -pinene, Δ^3 -carene, caryophyllene-Z, limonene, and Δ^3 -cadinene. Egyptian sumac is rich in cymene-o, β -ocimene and limonene, while Jordanian and Palestinian *Rhus* specimens are rich in α -pinene and naphthalene (Farag et al. 2018).

The essential oils of *R. coriaria* from Turkey are characterized by α -pinene, limonene, nonanol, β -caryophyllene, α -terpineol and carvacrol (Kurucu et al. 1993). The chemical composition analysis of essential oils of *R. coriaria* by Brunke et al. (1993) in Turkey, showed the dominance of hydrocarbon monoterpenes (α -pinene and limonene), followed by hydrocarbon sesquiterpenes (β -caryophyllene) and oxygenated sesquiterpenes (caryophyllene oxide and β -caryophyllene alcohol).

The analysis of flowers and leaves oils of *Rhus coriaria* of Italy showed that hydrocarbon sesquiterpenes are dominant in leaves, while hydrocarbon monoterpenes are major constituents of the flowers (Reidel et al. 2017), on the other hand, the essential oils of *Rhus coriaria* fruit in Sicily presented an abundance of non-terpene compounds (Giovanelli et al. 2017). Zhu et al. (2007) made the same findings on the chemical composition of *Rhus typhina* leaves in China. This variation in chemical composition is caused by variations in habitat, climatic conditions, as well as sampling conditions and genetic factors (Morshedlooa et al. 2017). The richness of *R. tripartita* in hydrocarbon monoterpenes, as well as aromatic monoterpenes such as limonene, γ -terpinene, and terpinolene explains the characteristic therapeutic properties of this species (Deschepper 2017; Thormar 2011).

The chemotypes of *R. tripartita*, identified in our study, are based on two major components (α -pinene and Δ^3 -carene), followed by limonene and caryophyllene-Z, while the chemotypes identified in the Iranian populations of *R. coriaria* are characterized by caryophyllene-E, α -pinene and cembrene (Morshedlooa et al. 2017). The results of the antibacterial activity showed that the bacteria tested are moderately sensitive to the *R. tripartita* essential oils. The bacteria *E. faecalis* and *P. aeruginosa* are the most sensitive to the oil, while *P. mirabilis*, *S. aureus* and *E. coli* are the most resistant to oils from all populations.

Our results are in agreement with the work of Bereksi et al. (2019), which showed that extracts from the aerial parts of *R. tripartita* have weak antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli*. On the other hand, the results of Tlili et al. (2019) confirm that the methanolic extracts of *R.*

tripartita have a weak activity on Gram-negative bacteria. Chloroform extracts of *R. tripartita* have significant activity against *S. aureus* and moderate activity against *E. coli* (Abbasi and Hani 2012), while methanolic extracts from the roots, stems and leaves of *R. tripartita* have significant antibacterial activity against *P. aeruginosa* (BenBarka et al. 2019).

In conclusion, the analysis of *Rhus tripartita* essential oils by GC/MS, allowed us to identify seventy-eight compounds of which α -pinene is the major component, along with Δ^3 -carene and caryophyllene-Z. The results reveal a notable difference between the chemical composition of essential oils of male populations and female populations. In this study, four chemotypes were identified in *R. tripartita*. The essential oils of *R. tripartita* shows moderate activity against the bacterial strains tested.

E. faecalis and *P. aeruginosa* are the most sensitive to oils, while *S. aureus*, *E. coli* and *P. mirabilis* are the most resistant.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported financially by MESRS of Algeria (Project code No. D01N01UN190120200005); and no potential conflicts of interest.

REFERENCES

- Abbasi F, Hani K. 2012. In vitro antibacterial and antifungal activities of *Rhus tripartita* used as anti-diarrheal in Tunisian folk medicine. *Nat Prod Res* 26 (23): 2215-2218. DOI: 10.1080/14786419.2011.639072.
- Abd El-Salam IM. 2015. Phytoconstituents and the study of antioxidant, antimalarial and antimicrobial activities of *Rhus tripartita* growing in Egypt. *J Pharmacogn Phytochem* 4 (2): 276-81.
- Adams RP. 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured Publishing Corporation, Illinois.
- Amin A, Mousa M. 2007. Merits of anti-cancer plants from the Arabian Gulf region. *Cancer Ther* 5: 55-66.
- Ben Barka ZB, Lahbib K, Aouadhi C, Ladjimi MH, Miled HB, Rhouma KB, Sakly M, Maaroufi A, Schneider YJ, Tebourbi O. 2019. Antioxidant, Antimicrobial and Anti-Inflammatory Activities of Edible *Rhus tripartita* (Ucria) Hydromethanolic Extracts. *J Pharm Pharmacol Res* 3 (3): 074-087. DOI: 10.26502/jppr.0022
- Ben Mahmoud S, Saad H, Charrier B, Pizzi A, Rode K, Ayed N, Charrier B. 2015. Characterization of sumac (*Rhus tripartita*) root barkstannin for a potential use in wood adhesives formulation. *Wood Sci Technol* 49 (1): 205-221. DOI: 10.1007/s00226-014-0686-4
- Bereksi MS, Hassaine H, Bekhechi C, Abdelouahid DE. 2018. Evaluation of antibacterial activity of some medicinal plants extracts commonly used in Algerian Traditional Medicine against some pathogenic bacteria. *Pharmacogn J* 10 (3): 507-512. DOI: 10.5530/pj.2018.3.83
- Bestmann HJ, Classen B, Kobold U, Vostrowsky O, Klingauf F, Steinb U. 1988. Steam volatile constituents from leaves of *Rhus typhina*. *Phytochemistry* 27 (1): 85-90. DOI: 10.1016/0031-9422(88)80595-8
- Brunke EJ, Hammerschmidt FJ, Schmaus G, Akgul A. 1993. The essential oil of *Rhus coriaria* L. fruits. *Flavour Fragrance J* 8 (4): 209-214. DOI: 10.1002/ffj.2730080408.
- Chung KT, Wong TY, Huang YW, Lin Y. 2010. Tannins and human health: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 38 (6): 421-464. DOI: 10.1080/10408699891274273
- Deschepper R. 2017. Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chimiotype en aromathérapie. [Dissertation]. Sciences pharmaceutiques, Université d'Aix-Marseille, Marseille. [France]

- Farag MA, Fayek NM, Abou Reidah I. 2018. Volatile profiling in *Rhus coriaria* fruit (sumac) from three different geographical origins and upon roasting as analyzed via solid-phase microextraction. PeerJ 6: e5121. DOI: 10.7717/peerj.5121.
- Furth DG. 1985. The Natural History of A Sumac Tree, With An Emphasis on the Entomofauna. (Vol. 46). Archon Books, Hamden.
- Giovanellia S, Giusti G, Cioni P, Minissale P, Ciccarelli D, Pistelli L. 2017. Aroma profile and essential oil composition of *Rhus coriaria* fruits from four Sicilian sites of collection. Industr Crops Prod 97: 166-174. DOI: 10.1080/10412905.2014.882278.
- Habibi AA, Zubek SA, Abushhiwa MA, Ahmed MO, El-Khodery SA, Osman HY, Bennour EM. 2015. Antibacterial activity of selected Libyan medicinal plants against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. J Pharmacogn Phytochem 3 (6): 197-201.
- Hadjadj S, Bayoussef Z, Ould El Hadj-Khelil A, Beggat H, Bouhafs Z, Boukaka Y, Khaldi I, Mimouni S, Sayah F, Tey M. 2015. Ethnobotanical study and phytochemical screening of six medicinal plants used in traditional medicine in the North-eastern Sahara of Algeria (area of Ouargla). J Med Plants Res 8 (41): 1049-1059. DOI: 10.5897/JMPR2015.5932.
- Idm'hand E, Msanda F, Cherifi K. 2019. *Searsia tripartita* (Ucria) Moffett: phytochimie, pharmacologie et usages traditionnels. Phytothérapie: 1-5. DOI: 10.3166/phyto-2019-0167.
- Kurucu S, Koyuncu M, Güvenç A, Baser KHC, Özek T. 1993. The essential oils of *Rhus coriaria* L. (Sumac), J Essential Oil Res 5 (5): 481-486. DOI: 10.1080/10412905.1993.9698267.
- Le Floch E. 1983. Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. National Government Publication, Tunisia.
- Lee SK, Jung HS, Eo WK, Lee SY, Kim SH, Shim BS. 2010. *Rhus verniciflua* stokes extract as a potential option for treatment of metastatic renal cell carcinoma: Report of two cases. Annals of Oncology 21 (6): 1383-1385. DOI: 10.1093/annonc/mdq154.
- Masada Y. 1976. Analysis of essential oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry. John Wiley & Sons, New York.
- Morshedloo MR, Maggi F, Neko HT, Aghdam MS. 2017. Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. Industr Crops Prod 111: 1-7. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.10.002.
- NIST. 2002. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, vers. 2.0. fiveash data, USA.
- Njoroge PW, Opiyo SA. 2019. Some antibacterial and antifungal compounds from root bark of *Rhus natalensis*. Amer J Chem 9 (5): 150-158. DOI: 10.5923/j.chemistry.20190905.03.
- Ponce AG, Fritz R, Del Valle C, Roura SI. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 36 (7): 679-684. DOI: 10.1016/S0023-6438(03)00088-4.
- Quézel P, Santa S. 1963. Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. 2 Vol. C.N.R.S, Paris.
- Ridel RVB, Cioni PL, Majo L, Pistelli L. 2017. Evolution of volatile emission in *Rhus coriaria* organs during different stages of growth and evaluation of the essential oil composition. Chem Biodiv 14 (11): 1-12. DOI: 10.1002/cbdv.201700270.
- Saadatian M, Aghaei M, Farahpour M, Balouchi Z. 2013. Chemical composition of lavender (*Lavandula officinalis* L.) extraction extracted by two solvent concentrations. Global J Med Plant Res 1 (2): 214-217.
- Salle JL, Pelletier J. 1991. Les huiles essentielles, synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathicothérapie. Frison- Roche, Paris.
- Sangwan NS, Farooqi AHA, Shabih F, Sangwan RS. 2001. Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regul 34: 03-21. DOI: 10.1023/A:1013386921596.
- Shahat AA, Alsaid MS, Rafatullah S, Al-Sohaibani MO, Parvez MK, Al-Dosari MS, Exarchou V, Pieters L. 2016. Treatment with *Rhus tripartita* extract curtails isoproterenol-elicited cardiotoxicity and oxidative stress in rats. BMC Compl Altern Med 16 (351): 1-11. DOI: 10.1186/s12906-016-1318-3.
- Srivastava S, Mallavarapu GR, Rai SK, Singh D, Mishra R, Pandey-Rai S, Kumar S. 2006. Composition of the essential oils of the leaves and flowers of *Rhus mysurensis* Heyne ex Wight & Arn growing in the Aravalli mountain range at New Delhi. Flav Fragr J 21: 228-229. DOI: 10.1002/ffj.1561.
- Thormar H. 2011. Lipids and Essential oils as Antimicrobial Agents. Wiley, Chichester.
- Tlili H, Marino A, Ginestra G, Cacciola F, Mondello L, Miceli N, Taviano MF, Najjaa H Nostro A. 2019. Polyphenolic profile, antibacterial activity and brine shrimp toxicity of leaf extracts from six Tunisian spontaneous species. Nat Prod Res 10 (3): 507-512. DOI: 10.1080/14786419.2019.1616725.
- Wang Y, Chan FL, Chen S, Leung LK. 2005. The plant polyphenol butein inhibits testosterone-induced proliferation in breast cancer cells expressing aromatase. Life Sci 77 (1): 39-51. DOI: 10.1016/j.lfs.2004.12.014.
- Wu T, Callum JL, Wang S, Liu R, Zhu H, Tsao R. 2013. Evaluation of antioxidant activities and chemical characterisation of staghorn sumac fruit (*Rhus hirta* L.). Food Chem 138 (2-3): 1333-1340. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.10.086.
- Zhaleh M, Sohrabi N, Zangeneh M, Zangeneh A, Moradi R, Zhaleh H. 2018. Chemical composition and antibacterial effects of essential oil of *Rhus coriaria* fruits in the West of Iran (Kermanshah). J Essential Oil Bearing Plants 21 (2): 493-501. DOI: 10.1080/0972060X.2018.1462739.
- Zhu B, Ren Z, Nan P, Jiang M, Zhao J, Zhong Y. 2007. Chemical variation in leaf essential oils of *Rhus chinensis* from eight locations in Southern and Eastern China. Chem Nat Comp 43 (6): 741-43. DOI: 10.1007/s10600-007-0253-4.

الملخص

Rhus tripartita (Ucria) grande أو ما يعرف باسم السماق الأفريقي هو شجيرة تنمو في البيئات الجافة وشبه الجافة في الجزائر. في إطار تطوير وتثمين النباتات الطبيعية، أجرينا دراسة على التركيب الكيميائي والأنشطة البيولوجية لأربعة عشر مجموعة من نبات *R. tripartita*. تم إخضاع الأجزاء الهوائية للنبات لعملية التقطير المائي متبوعا بعملية تحليل التركيب الكيميائي بواسطة CPG/SM. يتميز الزيت العطري المتحصل عليه بلون أصفر باهت، رائحة قوية ومردود منخفض قدر ب $(0.01 \pm 0.16) (\%/w/w)$. تم تحديد ثلاثة وسبعين مكوناً بمتوسط خمسة وأربعين مكوناً لكل مجموعة. α -pinène بنسبة $58.40 \pm 10.73 \%$ ، يعتبر المكون الرئيسي الموجود في جميع عينات *R. tripartita* متبوعا ب caryophyllène-Z, $\Delta 3$ -carène, β -pinene, myrcène, limonène, terpinolène, Δ -cadinène. تحصلنا على النمط الكيميائي $\Delta 3$ -carene - α -pinene - limonene / النمط الكيميائي $\Delta 3$ -carene - α -pinene - limonene - Δ -cadinene والنمط الكيميائي α -pinene - $\Delta 3$ -carene - caryophyllene-Z. تم اختبار سبع سلالات بكتيرية. أظهر الزيت العطري الغير مخفف ل *R. tripartita* نشاطا كبيرا ضد البكتيريا *B. Cereus* بينما كانت البكتيريا *E. coli* أكثر مقاومة. أظهرت *C. albicans* حساسية جد عالية لزيوت *R. tripartita* على عكس الفطريات الأخرى: *Alternaria alternata*, *Fusarium solani graminum* و *Phytophthora infestans* التي كانت مقاومة. أظهر نشاط أسر الجذور أن الزيوت الأساسية لـ *R. tripartita* تتميز بنشاط متوسط فقد تم تسجيل أعلى نشاط أسر للجذور في المجموعة المؤنثة في بوسعادة مع IC_{50} تقدر ب $1,77 \pm 0,88$ مل/مغ. **الكلمات المفتاحية:** *Rhus tripartita*، تحليل كيميائي GC/MS، نشاط مضاد للبكتيريا، نشاط مضاد للفطريات، نشاط أسر للجذور.

Résumé

Rhus tripartita (Ucria) Grande ou sumac africain est un arbuste des régions arides et semi-arides de l'Algérie. Dans le cadre de valorisation des plantes naturelles, nous avons mené une étude phytochimique et des activités biologiques de quatorze populations du *R. tripartita*. Les huiles essentielles des parties aériennes du *R. tripartita* ont été obtenues par hydrodistillation et soumis à l'analyse GC/MS. L'huile essentielle obtenue est de couleur jaune pâle, d'odeur forte et un rendement faible de $(0,16 \pm 0,01\%) (w/w)$. Soixante-treize composants avec une moyenne de 45 composants pour chaque population ont été déterminés. L' α -pinène ($58,40 \pm 10,73\%$) est le composant majoritaire, suivi par le caryophyllène-Z, le $\Delta 3$ -carène, le β -pinène, le myrcène, le limonène, le terpinolène et le Δ -cadinène. Quatre chémotypes ont été déterminé (chémotype $\Delta 3$ -carène- α -pinène-limonène ; chémotype α -pinène- $\Delta 3$ -carène-caryophyllène-Z ; chémotype α -pinène- $\Delta 3$ -carène- Δ -cadinène et chémotype α -pinène- β -pinène-caryophyllène-Z). Sept souches bactériennes ont été testées. L'huile essentielle pure de *R. tripartita* montre une activité importante contre *Bacillus cereus* ; *Escherichia coli* est plus résistante à l'huile. *Candida Albicans* est très sensible à l'huile essentielle du *R. tripartita*. Les champignons *Alternaria alternata*, *Fusarium graminum*, *Fusarium solani* et *Phytophthora infestans* sont tolérants. Les huiles essentielles montrent une activité anti radicalaire moyenne. L'activité la plus élevé est enregistré chez la population femelle de Boussaâda avec une IC_{50} de $1,77 \pm 0,81$ (mg/ml).

Mots clés : *Rhus tripartita*, Huiles essentielles, Activité antibactérienne, Activité antifongique, Activité anti-radicalaire, Algérie.

Abstract

Rhus tripartita (Ucria) Grande or African sumac is a shrub of the arid and semi-arid regions of Algeria. As part of the valorization of natural plants, we conducted a study on the phytochemical and the biological activities of fourteen populations of *R. tripartita*. The essential oils of the aerial parts of *R. tripartita* were obtained by hydrodistillation and subjected to GC/MS analysis. The essential oil obtained is characterized by pale yellow color, strong odor and a low yield of $(0.16 \pm 0.01\%) (w/w)$. Seventy-three compounds with an average of 45 compounds for each population were determined. α -pinene ($58.40 \pm 10.73\%$) is the major compound, followed by caryophyllene-Z, $\Delta 3$ -carene, β -pinene, myrcene, limonene, terpinolene and Δ -cadinene. Four chemotypes were determined ($\Delta 3$ -carene - α -pinene - limonene; chemotype α -pinene - $\Delta 3$ -carene - caryophyllene-Z; chemotype α -pinene - $\Delta 3$ -carene - Δ -cadinene and chemotype α -pinene - β -pinene - caryophyllene-Z). Seven bacterial strains were tested. Pure essential oil of *R. tripartita* shows significant activity against *Bacillus cereus* while *Escherichia coli* showed lower activity. *Candida albicans* is very sensitive to the essential oil of *R. tripartita*. However, the other fungi *Alternaria alternata*, *Fusarium graminum*, *Fusarium solani* and *Phytophthora infestans* are tolerant. Antiradical activity showed that essential oils have medium activity. The highest Antiradical activity is recorded in the female population of Boussaâda with an IC_{50} of 1.77 ± 0.81 (mg/ml).

Keywords: *Rhus tripartita*, Essential oils, Antibacterial activity, Antifungal activity, Antiradical activity, Algeria.