

N°d'ordre 3438

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Structure de Recherche : Centre de Biotechnologies Végétale et Microbienne,
Biodiversité et Environnement

Discipline : Biologie

Spécialité : Biologie Végétale, Environnement et Gestion des Ressources
Naturelles

Présentée et soutenue le 06 Mars 2021 par :

Moulay Rchid ISMAILI

GESTION DURABLE DES MATORRALS DE ROMARIN, *ROSMARINUS
OFFICINALIS L.*, DE LA REGION DE L'ORIENTAL ET VALORISATION
DE LEURS HUILES ESSENTIELLES

JURY

| | | | |
|----------------------|-----|--|-----------------------|
| Jamal AURAG | PES | Université Mohamed V - Rabat, Faculté des sciences | Président |
| Mohamed RAHOUTI | PES | Université Mohamed V - Rabat, Faculté des sciences | Directeur de Thèse |
| Bousselham KABOUCHI | PES | Université Mohamed V - Rabat, Faculté des sciences | Co-Directeur de Thèse |
| Souad EL HAJAJI | PES | Université Mohamed V - Rabat, Faculté des sciences | Rapporteur/ Examineur |
| El Aïd HLAL | PES | École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé | Rapporteur/ Examineur |
| Mohammed Sghir TALEB | PH | Université Mohamed V - Rabat, Institut Scientifique | Rapporteur/ Examineur |
| Hassan RAMZI | PH | École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé | Examineur |
| Mohamed ABERCHANE | Dr | Centre de Recherche Forestière de Rabat | Invité |

Année Universitaire : 2020 - 2021

DEDICACE

A vant tout, mes remerciements infinis sont adressés à « Dieu le Tout Puissant » de m'avoir donné le courage et la santé pour achever ce travail.

À mes très chers parents ISMAILI Moulay Kaddour et ISMAILI Yamina

À ma femme Yamna et mes enfants Ismail et Fatima Zahrae

À mes très chers frères et sœurs Moulay Chrif, Moulay Ahmed, Hassane, Abdellah, Mohammed, Khadija, Malika, Fatima et Roquia

À mon petit frère Simohammed

À toute la famille

Vous avez été pour moi au long de mes études le plus grand symbole d'amour, de dévouement qui ont ni cessé ni diminué. Vous avez toujours été à mes cotés, votre amour et votre soutien m'ont poussé vers l'avant. Vos prières m'ont été d'un grand soutien au cours de ce long parcours. J'espère de tout mon coeur qu'en ce jour vous êtes fières de moi, et que je réalise l'un de vos rêves. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon grand amour que je n'ai su exprimer avec les mots.

À tous mes collègues,

À tous ceux qui me sont chers

À tous mes amis

J'espère que vous trouverez dans cette thèse l'expression de mon affection pour vous. Que Dieu vous protège et vous accordent un brillant avenir avec une vie pleine de joie, de bonheur et succès.

AVANT PROPOS

Le travail présenté dans cette thèse a été réalisé sous la direction des Professeurs RAHOUTI Mohamed et KABOUCHI Bousselham au sein de l'Equipe de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques (BOVAREF), affiliée au Centre de Biotechnologies Végétale et Microbienne, Biodiversité et Environnement (BIOBIO) - Faculté des Sciences de Rabat, et du Service de Technologie du Bois et Valorisation des Produits Forestiers - Centre de Recherche Forestière de Rabat dans le cadre d'une collaboration scientifique entre ces deux établissements.

Au terme de ce travail, je remercie mon Directeur de Thèse Monsieur RAHOUTI Mohamed, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, d'avoir dirigé ce travail, pour sa disponibilité et les conseils très précieux qui m'ont beaucoup aidé à surmonter les difficultés. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements d'avoir suivi et orienté ce travail.

J'adresse mes profonds remerciements à mon Co-Directeur de Thèse Monsieur KABOUCHI Bousselham, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, d'avoir co-dirigé ce travail. Son aimabilité, son dynamisme, son dévouement pour le travail et sa compétence ont suscité mon admiration. Veuillez trouver dans ce travail, très cher professeur, le témoignage de ma profonde gratitude et l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

Mes sincères remerciements pour Monsieur Jamal AURAG, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, d'avoir bien voulu examiner ce travail et de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse.

Je remercie vivement Madame Souad EL HAJJAJI, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, en acceptant d'être le rapporteur de ce travail. Je suis très heureux de bénéficier de ses observations et je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance pour cette marque d'intérêt.

Je remercie sincèrement Monsieur El Aïd HLAL, Professeur à l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, qui a accepté d'être le rapporteur de ce travail et pour m'avoir toujours encouragé depuis ma formation d'ingénieur.

Que Monsieur Mohammed Sghir TALEB, Professeur Habilité à l'Institut Scientifique de Rabat, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail. Je suis très heureux de bénéficier de ses observations.

Je suis également très reconnaissant à Monsieur Hassan RAMZI, Professeur Habilité à l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, pour avoir accepté de juger ce travail et pour son aide dans les études menées en collaboration.

Monsieur Mohamed ABERCHANE, Docteur-Chercheur au Centre de Recherche Forestière, a toujours manifesté à mon égard sympathie et bienveillance. Je lui témoigne ici de mon profond attachement et je le remercie d'avoir accepté de participer à ce jury.

Je remercie tout particulièrement l'équipe du Service de Technologie et de Valorisation des Produits Forestiers qui m'ont toujours soutenu dans mes choix, et qui ont été présent chaque fois que cela a été nécessaire.

Je tiens également à remercier l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé pour l'aide et le soutien qui m'ont été apportés lors des expérimentations menées en collaboration pour l'étude de la bioactivité des HE.

Ce travail a bénéficié d'un soutien financier du Ministère de l'Education Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, du Centre National Pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) et de l'Agence Nationale des Plantes Médicinales et Aromatiques-Taounate (ANPMA) dans le cadre du programme de recherche dans le domaine de la valorisation des plantes médicinales et aromatiques (Projet n° PMA 2019/3). Nous tenons, à cette occasion, remercier vivement les responsables de ces organismes nationaux.

Résumé

Au Maroc, les faciès de romarin sont menacés par les pratiques actuelles qui compromettent leur durabilité. Les expérimentations menées dans cette étude ont montré que l'exploitation du romarin pendant l'été a un impact négatif sur sa régénération, une période de mise en repos de juillet à août est nécessaire. En revanche, la coupe rase pendant l'hiver permet le rajeunissement des touffes lignifiées et améliore leur productivité. Comme technique de bonne pratique de récolte, nous recommandons la coupe de la moitié de la touffe au ras du sol pour ses avantages en termes de productivité et de conciliation avec les autres usages (apiculture). La partie non exploitée de la plante peut produire des fleurs et les semences nécessaires à la régénération naturelle. Aussi, nos investigations ont montré que le romarin de la région de l'Oriental est pourvu d'huiles essentielles (1,73 à 3,13%) et riche en 1,8-cinéole et en camphre. Les analyses statistiques ont révélé que ces huiles sont influencées par le bioclimat, l'orographie et la géographie de la région. Au niveau rucher, les huiles du romarin ont manifesté une bioactivité importante contre *Varroa destructor*. Cette ressource abondante dans la nature constitue un potentiel intéressant pour le développement de biopesticides.

Mots-clés : *Rosmarinus officinalis* ; Technique d'exploitation ; Huile essentielle, *Varroa destructor* ; Biopesticide ; Gestion des ressources naturelles ; développement durable.

Abstract

In Morocco, the sustainability of rosemary stands is threatened by current practices. Experiments carried out in this study have shown that harvesting operations must be avoided in summer regarding their negative effect on the vegetative growth. So, we recommend a rest period from July to August. However, Clear-cutting during winter allows a good rejuvenation of the lignified rosemary clumps and improves their productivity. The half cutting of the clumps close to the ground is then recommended as suitable practice due to its benefits in terms of productivity and reconciliation with other uses (beekeeping), since the preserved part is to come into bloom and ensure the production of seeds for natural regeneration. Also, our investigations have shown that all rosemary wild populations investigated in the Eastern Region of Morocco contained high levels of essential oils (1.73 to 3.13%) and are rich in 1,8-cineole and camphor. Production and chemical composition of these oils are influenced by bioclimatic factors and by the orography and geography of this region. In the beehive assays, rosemary oils showed significant bioactivity against *Varroa destructor* mite. The use of these oils is an interesting prospect for the development of biopesticides.

Key-words: *Rosmarinus officinalis*; harvest practice; Essential oil; *Varroa destructor*; Biopesticide; natural resource management; Sustainable development.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----|
| AVANT PROPOS..... | ii |
| Résumé..... | iii |
| Abstract..... | iv |
| SOMMAIRE..... | v |
| Liste des abréviations..... | ix |
| Liste des tableaux..... | x |
| Liste des figures..... | xi |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| PARTIE I - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE..... | 5 |
| CHAPITRE 1. Généralités sur <i>Rosmarinus officinalis</i> L. | 6 |
| 1.1. Etude botanique du romarin..... | 6 |
| 1.1.1. Caractères botaniques des <i>Lamiacées</i> | 6 |
| 1.1.2. Caractères botaniques du genre <i>Rosmarinus</i> | 7 |
| 1.1.3. Description du romarin..... | 8 |
| 1.2. Biogéographie, utilisations et importance du romarin dans la région de l’Oriental.. | 11 |
| 1.2.1. Biogéographie et phytosociologie..... | 11 |
| 1.2.2. Utilisations de <i>Rosmarinus officinalis</i> | 12 |
| 1.3. Importance et modalités d’exploitation du romarin dans la région de l’Oriental..... | 15 |
| 1.4. Le bouturage et la culture du romarin naturel (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)..... | 17 |
| CHAPITRE 2. Les huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> L. | 18 |
| 2.1. Généralités sur les huiles essentielles..... | 18 |
| 2.1.1. Définitions..... | 18 |
| 2.1.2. Biosynthèse des huiles essentielles..... | 19 |
| 2.1.3. Structures chimiques des huiles essentielles..... | 21 |
| 2.1.4. Répartition, localisation et rôle des huiles essentielles dans la plante..... | 22 |
| 2.2. Rendement et composition chimique des huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> | 23 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.2.1. | Rendement en huiles essentielles | 23 |
| 2.2.2. | Composition chimique des huiles essentielles | 25 |
| 2.2.3. | Effets des méthodes de transformation et de conditionnement sur les HE de romarin | 28 |
| 2.3. | Activités biologiques et applications actuelles et potentielles du romarin | 30 |
| | | |
| CHAPITRE 3. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre le <i>Varroa destructor</i> , parasite d' <i>Apis mellifera</i> | | |
| 32 | | |
| 3.1. | Le Varroa, parasite redoutable des abeilles | 32 |
| 3.1.1. | Historique de la varroise | 32 |
| 3.1.2. | Description du <i>Varroa destructor</i> | 34 |
| 3.1.3. | Ontogénèse du <i>Varroa destructor</i> et son impact sur <i>Apis mellifera</i> | 35 |
| 3.2. | Méthodes de lutte et utilisation des huiles essentielles contre le <i>Varroa</i> | 38 |
| 3.2.1. | Les moyens de lutte technologique et biologique | 39 |
| 3.2.2. | Les moyens de lutte chimique | 40 |
| 3.2.3. | Les HE, un moyen de lutte plus sûr contre le varroa | 42 |
| | | |
| PARTIE II - MATERIEL ET METHODES | | |
| 46 | | |
| 1. | Introduction sur les principes d'expérimentation..... | 47 |
| 2. | Etude de l'effet des méthodes de coupes sur la régénération des touffes de <i>R. officinalis</i> dans la forêt de Debdou (région de l'Oriental) | 48 |
| 2.1. | Présentation de la zone d'étude | 48 |
| 2.2. | Dispositif expérimental..... | 50 |
| 2.3. | Dispositif de suivi de la floraison des touffes de romarin | 53 |
| 3. | Etude de la variabilité des huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> dans la région de l'Oriental au Maroc | 54 |
| 3.1. | Matériel végétal | 55 |
| 3.2. | Extraction des huiles essentielles | 56 |
| 3.3. | Analyses chimiques de la composition des huiles essentielles..... | 57 |
| 4. | Etude de l'activité acaricide des HE de <i>R. officinalis</i> contre <i>Varroa destructor</i> | 61 |
| 4.1. | Evaluation du taux d'infestation du varroa..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. Essais de traitements aux huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> | 64 |
| 5. Analyse des données | 66 |
| PARTIE III – RESULTATS ET DISCUSSION..... | 69 |
| CHAPITRE 1. Contribution à l’amélioration des techniques d’exploitation du romarin dans la région de l’Oriental au Maroc | 70 |
| 1.1. Evaluation de la production en biomasse végétale du romarin | 70 |
| 1.2. Effet de la méthode de coupe et de la période de récolte sur la régénération des touffes de romarin | 73 |
| 1.3. Détermination de la période propice pour l’apiculture dans les faciès de romarin ... | 76 |
| 1.4. Planification d’un itinéraire de bonnes pratiques de récolte pour l’exploitation des matorrals de romarin dans la région de l’Oriental au Maroc | 78 |
| 1.4.1. Modalités actuelles d’exploitation des nappes de romarin au Maroc | 78 |
| 2.1.1. Recommandations sur les bonnes pratiques d’exploitation du romarin..... | 80 |
| CHAPITRE 2. Etude de la variabilité chimique des HE de <i>R. officinalis</i> dans la région de l’Oriental au Maroc | 84 |
| 2.1. Etude de la variabilité des rendements en HE de romarin..... | 84 |
| 2.1.2. Effet du stade végétatif sur le rendement en HE | 84 |
| 2.1.3. Effet de quelques paramètres bioclimatiques sur le rendement en HE | 86 |
| 2.1.4. Effet de la provenance sur le rendement en HE | 87 |
| 2.1.5. Effet de quelques paramètres géographiques et orographiques sur le rendement en HE | 89 |
| 2.2. Caractérisation et étude de la variabilité de la composition chimique des HE de romarin | 90 |
| 2.2.1. Variabilité de la composition des HE de romarin au cours d’un cycle végétatif | 93 |
| 2.2.2. Variabilité de la composition des HE de romarin selon la provenance | 95 |
| 2.2.3. Effet des facteurs abiotiques sur la composition chimique des HE de romarin . | 97 |
| Conclusion..... | 103 |
| CHAPITRE 3. Etude de la bioactivité des huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> contre <i>Varroa destructor</i> | 104 |
| 3.1. Evaluation de l’infestation au rucher | 104 |

| | |
|---|-----|
| 3.2. Evaluation des potentialités acaricides des HE de <i>R. officinalis</i> | 106 |
| Conclusion..... | 111 |
| CONCLUSION GENERALE | 112 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 116 |
| ANNEXES | 130 |
| ANNEXE 1 : Le bouturage et la culture du romarin naturel (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) . | 131 |
| ANNEXE 2 : Variation de la concentration de quelques composés de l'HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet..... | 137 |
| ANNEXE 3 : Analyses statistiques..... | 138 |

Liste des abréviations

| | |
|---------|--|
| ACP | analyse en composantes principales |
| ANOVA | analysis of variance |
| BPs | bio-pesticides |
| CMM | comparaison multiple des moyennes |
| CPG-DIF | chromatographie en phase gazeuse avec détection à ionisation de flamme |
| CPG-SM | chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse |
| CPS | cahier des prescriptions spéciales |
| DMAPP | diméthylallyle pyrophosphate |
| EO | essential oil |
| FDA | Food and Drug Administration |
| FPP | farnésyl pyrophosphate |
| GGPP | géranylgeranyl pyrophosphate |
| GPP | géranyl pyrophosphate |
| HE | Huile essentielle |
| IPP | isopentényle pyrophosphate |
| MH | Monoterpènes hydrocarbonés |
| MO | Monoterpènes oxygénés |
| PAM | Plantes Aromatiques et Médicinales |
| SH | Sesquiterpènes hydrocarbonés |
| SO | Sesquiterpènes oxygénés |
| USAID | United States Agency for International Development |
| USDA | United States Department of Agriculture |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1. Le romarin dans la classification des végétaux | 6 |
| Tableau 2. Caractéristiques botaniques de <i>Rosmarinus officinalis</i> L. et de <i>Rosmarinus eriocalyx</i> | 8 |
| Tableau 3. Répartition de la superficie des faciès à romarin par province dans la région de l'Oriental | 16 |
| Tableau 4. Les différentes classes de terpénoïdes | 20 |
| Tableau 5. Rendement en huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> L. selon la localité de récolte au Maroc. | 24 |
| Tableau 6. Rendement en huiles essentielles de romarin selon l'origine géographique | 25 |
| Tableau 7. Composition chimique des huiles essentielles de <i>Rosmarinus officinalis</i> de différentes origines au Maroc. | 26 |
| Tableau 8. Variation de la composition chimique de l'huile essentielle de romarin en fonction de l'origine géographique de la plante. | 27 |
| Tableau 9. Liste de produits ayant montré une efficacité significative contre le varroa | 41 |
| Tableau 10. Inventaire du nombre de touffes de romarin par unité expérimentale | 52 |
| Tableau 11. Quelques caractéristiques des populations étudiées de romarin | 56 |
| Tableau 12. Quantités (kg/ha) en biomasse foliaire et productivité du romarin dans le site expérimental | 70 |
| Tableau 13. Quantités (kg/ha) en biomasse foliaire et productivité moyenne du romarin selon la saison et la méthode de coupe | 72 |
| Tableau 14. Taux de reprise moyen des touffes de romarin (moyenne de 3 compagnes d'exploitation) | 74 |
| Tableau 15. Analyse de la variance des taux de reprises issue du dispositif en "Split-plot " | 75 |
| Tableau 16. Floraison de <i>Rosmarinus officinalis</i> selon différentes études | 77 |
| Tableau 17. Variation du rendement en HE du romarin au cours d'un cycle végétatif complet et paramètres bioclimatiques de la station de Debdou | 85 |
| Tableau 18. Rendement en HE de <i>R. officinalis</i> par province et par origine dans la région de l'Oriental au Maroc | 87 |
| Tableau 19. Composition chimique des HE de <i>R. officinalis</i> selon l'origine et la période de récolte | 91 |
| Tableau 20. Matrice de corrélation (r) entre la composition chimique et les paramètres géographiques et bioclimatiques | 98 |
| Tableau 21. Résultats de l'évaluation des taux d'infestation par les varroas phorétiques avant traitement | 104 |
| Tableau 22. Résultat des essais de traitements contre <i>Varroa destructor</i> | 107 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. <i>Rosmarinus officinalis</i> | 6 |
| Figure 2. Planche botanique de <i>R. officinalis</i> | 9 |
| Figure 3. Coupe transversale de la feuille de <i>R. officinalis</i> | 10 |
| Figure 4. Coupe histologique de la tige de <i>R. officinalis</i> | 10 |
| Figure 5. Répartition de <i>Rosmarinus officinalis</i> | 11 |
| Figure 6. Compartimentation des voies de biosynthèse des terpènes | 20 |
| Figure 7. Condensation de motifs isopréniques | 21 |
| Figure 8. Localisation des huiles essentielles en fonction des différentes parties de plantes | 22 |
| Figure 9. Répartition géographique de <i>Varroa destructor</i> | 34 |
| Figure 10. L'acarien <i>Varroa destructor</i> , observé sur une micrographie électronique à balayage | 34 |
| Figure 11. Processus d'entrée de la fondatrice <i>V. destructor</i> dans la cellule de couvain | 36 |
| Figure 12. Modélisation de la dynamique de population de <i>Varroa destructor</i> au cours d'une année | 37 |
| Figure 13. Cartographie des faciès de romarin dans la région de l'Oriental et emplacement du site expérimental sur les techniques d'exploitation | 49 |
| Figure 14. Faciès à romarin dans la zone d'étude | 50 |
| Figure 15. Méthodes de coupe testées pour l'exploitation des touffes de romarin | 51 |
| Figure 16. Plan factoriel du dispositif sur les techniques d'exploitation de <i>R. officinalis</i> dans la forêt de Debdou | 52 |
| Figure 17. Plan du dispositif de suivi de la floraison du romarin | 54 |
| Figure 18. Principe de la chromatographie en phase gazeuse | 59 |
| Figure 19. Chromatogramme type d'une huile essentielle de romarin analysée par CPG-FID | 60 |
| Figure 20. Spectre de masse du 1,8-cinéole (Eucalyptol) contenu dans l'HE de <i>R. officinalis</i> identifié par CPG-SM | 61 |
| Figure 21. Abeilles adultes immergées dans l'alcool et varroas phorétiques séparés des abeilles | 63 |
| Figure 22. Insertion d'un lange graissé à la margarine au fond d'une ruche | 64 |
| Figure 23. Plan expérimental | 65 |
| Figure 24. Lanière en papier absorbant imbibée d'HE et installée entre les cadres de la ruche. | 65 |
| Figure 25. Biomasse initiale et productions annuelles de romarin par saison de récolte | 71 |
| Figure 26. Evolution des taux de reprise des touffes de romarin au cours des 3 campagnes d'exploitation | 74 |
| Figure 27. Evolution de la floraison du romarin au cours d'un cycle de croissance complet dans la forêt de Debdou (région Oriental du Maroc) | 77 |
| Figure 29. Evolution du rendement en HE et du taux de floraison des touffes de romarin au cours d'un cycle végétatif complet | 84 |
| Figure 30. Corrélations entre les paramètres climatiques et le rendement en HE de <i>R. officinalis</i> dans la région de l'Oriental | 86 |
| Figure 31. Corrélation entre la position géographique et le rendement en HE de <i>R. officinalis</i> dans la région de l'Oriental du Maroc | 89 |
| Figure 32. Chromatogramme typique de l'HE de <i>R. officinalis</i> analysée par CPG-FID | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figure 33. Diagrammes d'ACP de la composition chimique des HE de <i>R. officinalis</i> au cours d'un cycle végétatif complet | 94 |
| Figure 34. Diagrammes d'ACP de la composition chimique des HE de <i>R. officinalis</i> selon l'origine de récolte | 96 |
| Figure 35. Relation entre les facteurs bioclimatiques et les constituants les plus sensibles de l'HE de <i>R. officinalis</i> | 100 |
| Figure 36. Relation entre les paramètres géographiques et les constituants les plus sensibles de l'HE de <i>R. officinalis</i> | 102 |
| Figure 37. Evolution des effectifs de varroa selon le cycle de l'abeille (abeilles adultes et couvain) | 105 |
| Figure 38. Relation entre chute naturelle journalière et la population totale de <i>V. destructor</i> | 106 |

INTRODUCTION GENERALE

En tout temps, les plantes aromatiques et médicinales (PAM) ont constitué un patrimoine humanitaire et communautaire. Actuellement environ 80 % de la population mondiale se soigne exclusivement avec des plantes médicinales (purs, en infusion, leurs extraits ou leurs huiles essentielles); en Europe, 35 % des médicaments prescrits par les médecins sont d'origine naturelle et plus de 50 % des médicaments en vente libre sont à base de plantes médicinales. Outre en pharmacie, ces substances naturelles ont regagné au cours du temps des intérêts multiples dans l'industrie, en alimentation, en cosmétologie, etc. (Lehmann, 2014).

En Afrique, on dénombre une diversité importante de plantes médicinales (Jiofack *et al.*, 2009 ; 2010 ; Dibong *et al.*, 2011), et dans le pourtour méditerranéen, le Maroc dispose d'un patrimoine en PAM diversifié et unique (Benabid, 2000 ; Fennane, 2004 ; El Oualidi *et al.*, 2012 ; Tahri *et al.*, 2012 ; Fennane & Rejdali, 2016 ; Ouziki & Taiqui, 2016) en plus d'un savoir-faire traditionnel reconnu (Scherrer *et al.*, 2005). Sur les 4200 espèces végétales présentes dans notre pays, 600 espèces sont reconnues pour leur utilisation médicinale ou aromatique (Benabid, 2000). Ce gisement en PAM reste néanmoins menacé. Le Maroc connaît en effet une dépendance humaine importante vis-à-vis de ces ressources ainsi qu'une demande de plus en plus accrue par des industries utilisatrices de ces plantes, auxquelles s'ajoutent une intense dégradation des écosystèmes naturels. Différentes lois et stratégies sont élaborées et mises en œuvre par différents départements gouvernementaux pour organiser et développer la filière des PAM (Naggar & Iharchine, 2015). Toutefois, les données restent encore insuffisantes pour établir des programmes adéquats d'exploitation, de protection et de conservation de ce patrimoine.

Sur la diversité des plantes cultivées ou spontanées au Maroc, le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) est de loin la plus prépondérante. Taxonomiquement, il appartient à la famille des *Lamiacea*, et se présente comme un arbuste vert touffu de 1 à 2 m de hauteur. C'est une plante méditerranéenne à feuilles persistantes qui pousse également à l'état sauvage en Espagne, au Portugal, en France, en Italie, au Maroc, en Algérie, au Liban et en Tunisie. Il est également cultivé dans de nombreux pays comme les États-Unis, l'Espagne, la Yougoslavie et l'Inde pour la production d'huiles essentielles (HE) (Apostolides *et al.*, 2013 ; Begum *et al.*, 2013 ; Singh & Guleria, 2013). C'est l'une des principales PAM marocaines qui forment des matorrals importants en basses et moyennes montagnes dans la partie orientale et méditerranéenne du pays (Naggar & Iharchine, 2015 ; Fennane & Rejdali, 2016).

Le romarin, *Rosmarinus officinalis* L., le mot latin "ros-marinus", qui signifie "rosée de mer" (Pintore *et al.*, 2002 ; Begum *et al.*, 2013), est connu depuis les anciennes civilisations pour ses propriétés culinaires, médicinales et cosmétiques dans l'Egypte antique, la Mésopotamie, la Chine et l'Inde (Holmes, 1999 ; Stefanovits-Bányai *et al.*, 2003). Le romarin a été utilisé depuis l'antiquité pour ses effets antimicrobiens, antioxydants, toniques et stomachiques; en raison de ses composés phénoliques et volatils bénéfiques pour la santé humaine (Begum *et al.*, 2013 ; Arranz *et al.*, 2015). Au Maroc, les matorrals de romarin sont très prisés pour la production des HE et largement utilisés par les apiculteurs pour la production de miel (Naggar & Iharchine, 2015 ; Ismaili *et al.*, 2017).

Au cours de ces dernières années, plusieurs activités biologiques du romarin ont été reconnues, comme anti-tumorale (Valdés *et al.*, 2012 ; Kontogianni *et al.*, 2013 ; Vicente *et al.*, 2013), anti-inflammatoire (Arranz *et al.*, 2015), anti-diabétogène (Cui *et al.*, 2012), anti-ulcérogène (Amaral *et al.*, 2013), antidépresseur (Machado *et al.*, 2013) et antithrombotique (Naemura *et al.*, 2008). Actuellement, les HE de romarin sont aussi utilisées dans le mélange de plusieurs pesticides contre les moustiques, les tiques, les moucheron, les mouches et autres insectes volants, et pour tuer les œufs exposés, les larves et les stades adultes d'insectes et d'acariens (Pavela, 2016). Le romarin est considéré comme une source très prometteuse pour le développement de bio-pesticides (BP). En plus, il existe un grand potentiel pour la production de ces HE dans plusieurs pays, dont le Maroc (Singh & Guleria, 2013 ; Ismaili *et al.*, 2017). Il est donc nécessaire de maîtriser la qualité de ces HE pour une production industrielle commode.

Dans la pratique, les industriels utilisent l'action synergique des HE, composés de mélanges complexes de plusieurs substances actives, pour renforcer l'action biocide de leurs produits et contrer le phénomène de résistance (Attia *et al.*, 2013). Ce phénomène a fait l'objet de recherches au cours des dernières années, indiquant de grandes perspectives pour les HE en tant qu'ingrédients actifs dans la production des pesticides botaniques (Pavela, 2014 ; 2015 ; Islam *et al.*, 2016 ; Ramzi *et al.*, 2017). C'est un avantage par rapport aux produits synthétiques, car il est difficile pour les insectes de développer la résistance à de tels produits. En plus de cela, les HE sont reconnues comme étant sûrs car elles posent moins de risques pour la santé des humains (Islam *et al.*, 2016).

Au Maroc, la production des feuilles et des HE de romarin, destinée aux marchés local et international, provient uniquement de la récolte à partir des peuplements spontanés. Cependant, en raison de la forte demande sur le marché international, les matorrals de romarin sont actuellement surexploités. En plus, les techniques utilisées pour l'exploitation, tel que le

niveau et la fréquence des coupes, ne sont pas pratiquées dans un cadre maîtrisé, ce qui limite la régénération et contribue à la dégradation et à la réduction des faciès naturels de cette ressource. Cette exploitation massive conjuguée à la pression du parcours et à la parcimonie de la régénération naturelle, présente une réelle menace quant à la pérennité de l'espèce (Zrira *et al.*, 1997 ; Benjilali & Zrira, 2005 ; PNUD, 2012 ; Naggar & Iharchine, 2015).

De nombreuses études ont été menées sur le romarin au Maroc. Cependant, des insuffisances demeurent dans la littérature quant à la variation de sa composition chimique en fonction de l'origine et des périodes de récolte. La pluparts de ces travaux ont investigué uniquement une ou deux périodes de récolte et n'ont pas couvert tout le cycle végétatif de la plante. Aussi, les paramètres environnementaux, bioclimatiques, géographiques et orographiques n'ont pas été pris en compte auparavant (El Amrani *et al.*, 2000 ; Fechtal *et al.*, 2001a).

Cette plante est également très prisée et largement utilisée par les apiculteurs pour améliorer la production de miel. Comme dans de nombreux autres pays, le parasite acarien, *Varroa destructor* Anderson & Trueman (Acari, Varroidae) cause d'importants dégâts aux colonies d'abeilles au Maroc, obligeant les apiculteurs à utiliser de nombreux acaricides synthétiques qui se sont avérés toxiques et persistants dans le miel (Souza Tette *et al.*, 2015). Parmi les extraits de plantes, les HE des PAM se sont avérées une alternative de lutte très prometteuse. A l'instar d'autres PAM (Ramzi *et al.*, 2017), les HE de romarin pourraient également fournir des principes actifs pour lutter contre ce ravageur.

Dans ce contexte et pour apporter des éléments indispensables pour la mise en œuvre d'une stratégie durable pour la conservation, l'exploitation et la valorisation du patrimoine "Romarin" au Maroc, le présent travail s'est fixé les objectifs suivants :

- i. Mettre en place un procédé technique permettant d'assurer une production optimale et une meilleure régénération des matorrals de romarin au Maroc. En ce sens, diverses méthodes de coupe et différentes périodes de récolte ont été testées pour estimer la production, les taux de reprise à différentes saisons de l'année ;
- ii. Appréhender les changements qui surviennent dans le rendement et la composition chimique en HE de romarin le long d'un cycle végétatif complet de la plante;
- iii. Evaluer l'influence des facteurs bioclimatiques et biogéographiques sur la composition en HE du romarin marocain au niveau de dix populations naturelles originaires de trois zones biogéographiques : Rif Oriental, la Chaîne des Horst et les Hauts Plateaux de l'Oriental ;
- iv. Explorer l'activité bioacaricide de l'HE du romarin contre le varroa au rucher, selon la composition chimique et la dose d'application.

Ainsi la première partie de ce manuscrit a été consacrée à la revue bibliographique des connaissances concernant le romarin, ses huiles essentielles et leurs importances et utilisations, aussi qu'une description de l'acarien *Varroa destructor* et des moyens de lutte utilisés pour son contrôle.

La deuxième partie a été réservée à la présentation des méthodes et outils d'investigation utilisés dans cette étude. Elle comporte une description du protocole expérimental adopté pour l'évaluation des techniques d'exploitation, des méthodes d'échantillonnages et des techniques d'extraction et d'analyse utilisées pour l'étude des HE, ainsi que le mode opératoire appliqué dans les traitements au niveau du rucher contre le varroa. La collecte des données et leur interprétation sont deux aspects pratiques majeurs des investigations scientifiques. Par ailleurs, dans cette partie une attention particulière a été donnée aux outils statistiques utilisés pour le traitement et l'analyse des données.

La troisième partie comporte la présentation et l'interprétation des résultats obtenus et leur comparaison avec ceux précédemment publiés par d'autres auteurs, une description des avantages et inconvénients des techniques d'exploitations expérimentées dans cette étude, ainsi qu'une analyse critique des modalités actuelles utilisées pour l'exploitation des nappes de romarin au Maroc. Ensuite, la variabilité des HE de romarin en rapport avec sa phénologie (stade végétatif) et les facteurs abiotiques (position géographique et conditions climatiques) de son environnement et les résultats du biotest contre le varroa ont été examinés de façon détaillée.

Une conclusion générale est donnée à la fin du document de thèse. Des recommandations et des perspectives sont proposées pour la valorisation et l'exploitation durable des nappes de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc.

PARTIE I - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1. Généralités sur *Rosmarinus officinalis* L. (Linné 1707-1778)

1.1. Etude botanique du romarin

Le romarin est un arbrisseau vert touffu de la famille des *Lamiaceae* (tableau1), poussant à l'état sauvage sur le pourtour méditerranéen. On le trouve principalement dans les terrains arides et ensoleillés au niveau des matorrals et steppes de basses et moyennes altitudes, en général en mélange avec le thuya, le pin d'Alep ou le chêne vert.

Tableau 1. Le romarin dans la classification des végétaux

| | |
|---------------|----------------------|
| Règne | <i>Plantae</i> |
| Embranchement | <i>Spermaphyta</i> |
| Division | <i>Magnoliophyta</i> |
| Classe | <i>Magnoliopsida</i> |
| Sous-Classe | <i>Asteridae</i> |
| Ordre | <i>Lamiales</i> |
| Famille | <i>Lamiaceae</i> |
| Genre | <i>Rosmarinus</i> |
| Espèce | <i>Officinalis</i> |



Figure 1. *Rosmarinus officinalis*

Nom en français : Romarin

Nom local en arabe : Azir, Iklil Aljabal, lhalhal

1.1.1. Caractères botaniques des *Lamiacées*

L'ancien nom des *Lamiaceae*, Labiées dérive du nom latin "*labium*" qui signifie lèvre, en raison de la forme particulière des corolles. C'est l'une des familles les plus répandues dans le règne végétal. Elle possède une grande importance aussi bien pour son utilisation traditionnelle qu'industrielle (agro-alimentaire, parfumerie, pharmaceutique). Elle est l'une des familles les plus utilisées comme source mondiale d'épices et d'extraits à fort pouvoir antibactérien, antifongique, anti-inflammatoire et antioxydant. C'est la sixième plus grande famille d'angiospermes (*Magnoliophyta*) comprenant 236 genres et plus de 7 000 espèces (Frezza *et al.*, 2019), qui est représentée au Maroc par 207 espèces réparties en 29 genres.

Ce sont des plantes herbacées ou plus ou moins ligneuses plus rarement des arbres (*Tectona grandis* L.f.), à feuilles opposées sans stipule, à tiges souvent quadrangulaires et à fleurs hermaphrodites, groupées en cymes compactes ou, plus rarement, solitaires en position axillaire. Elles sont recouvertes de poils glanduleux renfermant une HE (Benabid, 1997). Le calice, persistant, est pentamère et possède cinq dents ou lobes et peut être bilabié. La corolle

est constituée de pétales soudés entre eux qui forment deux lèvres, la lèvre supérieure est entière ou échancrée et la lèvre inférieure comporte trois lobes (rarement cinq). Les étamines au nombre de quatre (rarement deux), dont les deux plus grandes sont soudées à la corolle. Le connectif tend à séparer les deux sacs polliniques. Il y a souvent un disque nectarifère à la base du pistil. Le nectar est riche en saccharose. L'ovaire a deux carpelles divisés en deux parties, d'où semble sortir le style. Celui-ci se termine par un stigmate divisé en deux parties. Le fruit est un tétrakène, se dissociant à maturité en quatre méricarpes indéhiscent renfermant chacun une graine possédant très peu ou pas d'albumen. Ces caractéristiques botaniques définies pour la famille des *Lamiaceae* présentent des variations en fonction des différents genres. Ces genres sont classés en neuf groupes suivant des détails anatomiques communs. Ainsi les genres *Rosmarinus* et *Salvia* forment un groupe et possèdent le caractère commun de n'avoir que deux étamines (les deux autres étant stériles) (Bonnier, 1934 ; Benabid, 2000).

1.1.2. Caractères botaniques du genre *Rosmarinus*

La systématique du genre *Rosmarinus* n'a pas été toujours homogène. De nombreux noms d'espèces ne sont plus utilisés actuellement. Parmi ces appellations : *Rosmarinus officinalis*, *R. tournefortii*, *R. angustifolius*, *R. eriocalyx*, *R. laxiflorus*, *R. chilensis*, *Rosmarinus lavandulaceus*, *R. latifolius*, etc. (Arnold *et al.*, 1997 ; El Amrani *et al.*, 2000 ; Angioni *et al.*, 2004 ; Rosselló *et al.*, 2006 ; Upson, 2006 ; Zaouali *et al.*, 2010).

La Flore du Maroc (Fennane *et al.*, 2007) a décrit deux espèces, *Rosmarinus officinalis* et *R. eriocalyx*. Sur le plan morphologique, on distinguera rapidement ces deux espèces, *R. officinalis* possède un port dressé, des feuilles plus longues et assez larges, alors que *R. eriocalyx* possède un port courbé et des feuilles plus courtes (5 à 15 mm) et plus étroites (tableau 2), et sa répartition géographique est limitée à l'Espagne, au Maroc et à l'Algérie (Tutin *et al.*, 1972).

Cependant, la systématique infra-spécifique est confuse et incertaine (Pintore *et al.*, 2002 ; Zaouali *et al.*, 2010 ; Begum *et al.*, 2013). Plus de 20 types et variétés différents de *R. officinalis* peuvent être distingués en fonction de descripteurs morphologiques, tels que le calice, la corolle, la dimension de la feuille, l'inflorescence et la présence de trichomes glandulaires (Zaouali *et al.*, 2010 ; Begum *et al.*, 2013).

Tableau 2. Caractéristiques botaniques de *Rosmarinus officinalis* L. et de *Rosmarinus eriocalyx* J. & F. (Hoefler, 1994)

| <i>R. officinalis</i> L., | <i>R. eriocalyx</i> J. & F |
|---|--|
| Arbuste pouvant atteindre 2 mètres de hauteur | Arbuste pouvant atteindre 2 m de hauteur |
| Branches brunes dressées vers le haut ou rarement courbées vers le bas | Branches velues grises habituellement courbées vers le bas. |
| Feuilles sessiles de 15 à 40 mm de long sur 1,2 à 3,5 mm de large, droites, coriaces, à bords enroulés, d'un vert brillant et rugueuses sur la face supérieure, blanches et velues sur la face inférieure. | Feuilles de 5 à 15 mm de long sur 1 à 2 mm de large, glabres et vertes, ou grisâtres et velues. |
| Présent sur sol sec. D'origine méditerranéenne, présent au Portugal, en Espagne, dans les îles Baléares, en France, en Corse, en Sardaigne, à Malte, en Sicile, en Italie, en ex-Yougoslavie, en Grèce, dans les îles de l'Égée orientale, en Turquie d'Asie, à Chypre, en Libye, en Tunisie, en Algérie et au Maroc. | Présent sur terrain calcaire et rocheux. Présent et indigène en Espagne, au Maroc et en Algérie. |
| synonymes : | synonymes : |
| <i>R. lavandulaceus</i> De Noé | <i>R. tournefortii</i> (Murb.) |
| <i>R. laxiflorus</i> De Noé | <i>R. tomentosus</i> (Huber-Morath et Maire) |

1.1.3. Description du romarin

Sous-arbrisseaux odorant à feuilles linéaires, coriaces, sessiles, opposées, à bords repliés verdâtre en dessus plus ou moins hispides blanchâtre en dessous dépassant 15 mm de long ; les rameaux sont brunâtres. La formule florale de cette espèce est constituée de cinq sépales, cinq pétales, deux étamines et deux carpelles. Le calice est bilabié, la lèvre supérieure est fortement concave tridenté, l'inférieure est bifide. On note la présence de poils duveteux d'un blanc laiteux visibles à l'œil nu. La fleur est ouverte dotée d'une corolle bilabiée d'un bleu pâle, rarement blanchâtre. Les 2 étamines sont plus longues que la corolle ; les filets comportent une petite dent à leur base et les anthères soudées. Le fruit est un tétrakène brun de forme ovale située au fond du calice (figure 2) (Köhler, 1890 ; Fennane *et al.*, 2007).

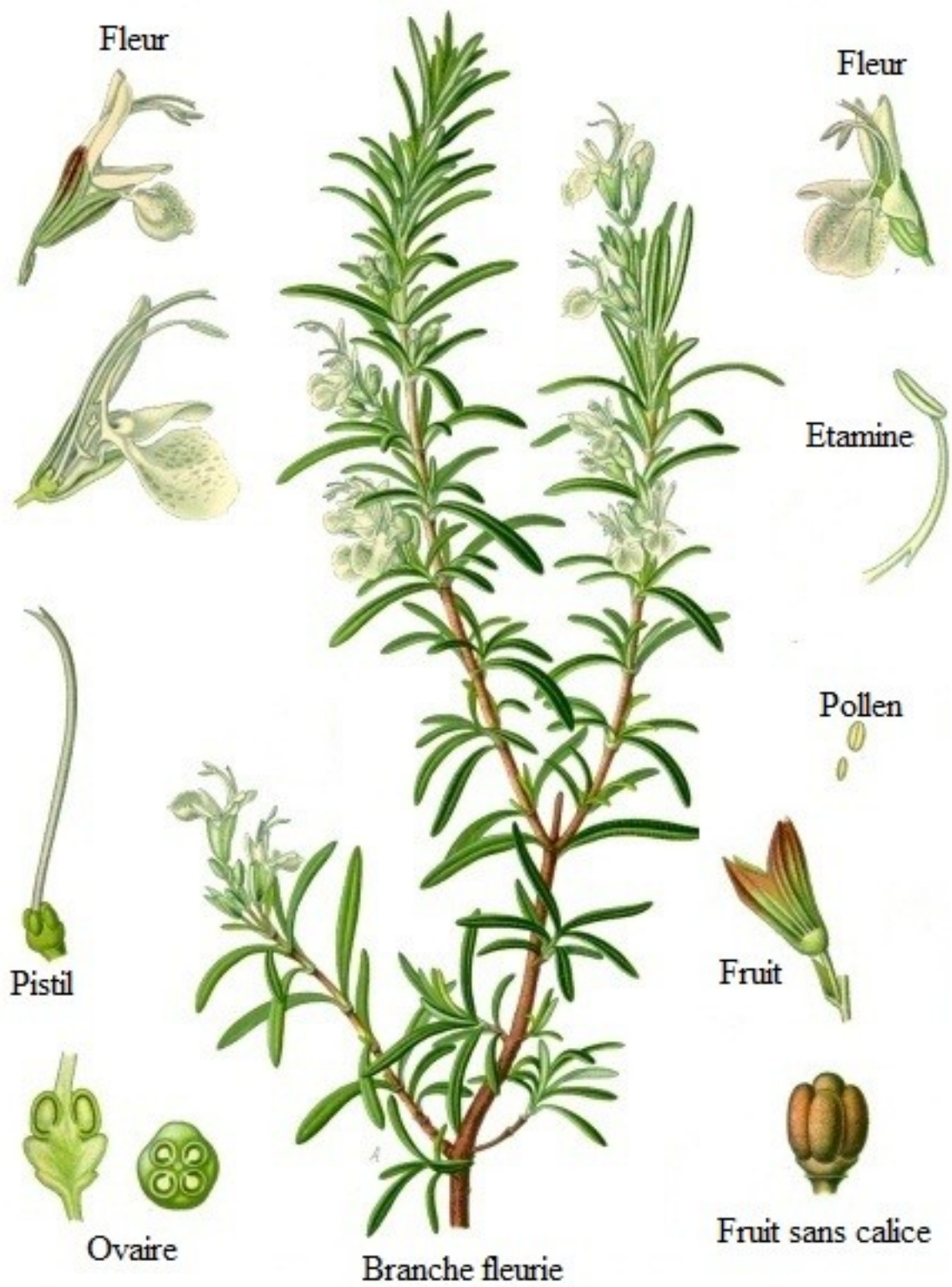


Figure2. Planche botanique de *R. officinalis* (Köhler, 1890)

La feuille de romarin, par la structure de sa cuticule épaisse sur la face supérieure et sa forme à bords enroulés vers l'intérieur, est adaptée à la sécheresse. Sur la face inférieure de la feuille, on note la présence de poils tecteurs de type "candélabre" qui limitent la perte d'eau par évaporation. Les cellules épidermiques inférieures sont sinueuses et présentent de nombreux stomates diacytiques sur la surface inférieure uniquement. Des poils sécréteurs glanduleux sont présents sur les 2 épidermes. La nervure médiane est bien saillante sur la face inférieure (figure 3) (Hoefler, 1994 ; Moussi, 2015).

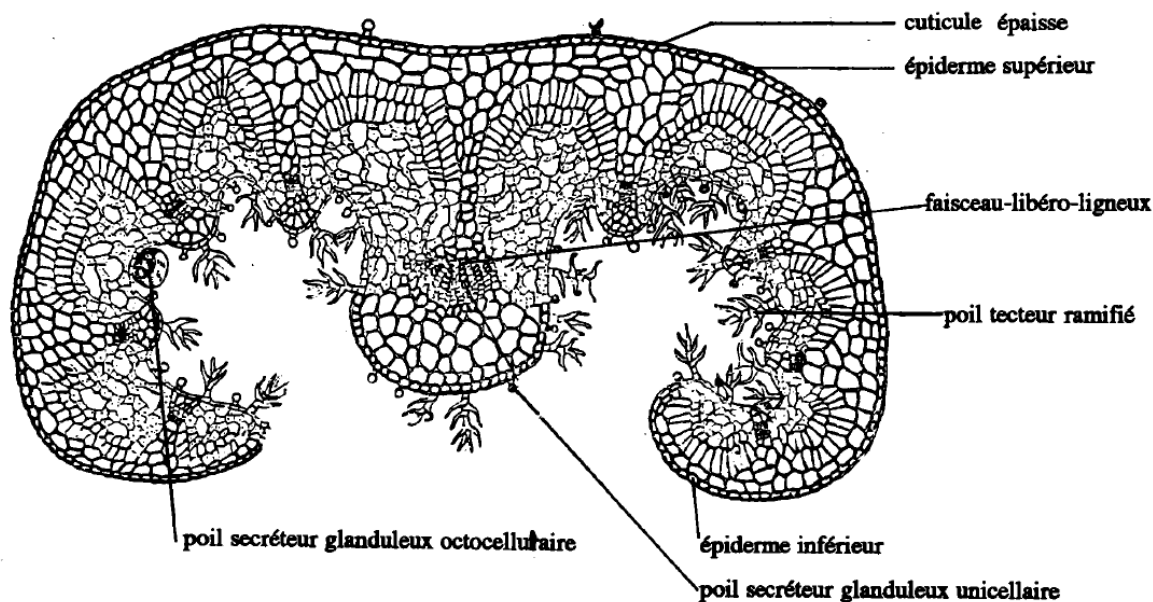


Figure 3. Coupe transversale de la feuille de *R. officinalis* (Balansard, 1953 in Hoefler, 1994)

La tige est munie d'une épaisse cuticule jaune verdâtre et de nombreux poils. Elle est de forme sub-cylindrique et possède quatre bosses légèrement marquées. Ces dernières sont remplies de collenchyme qui apparaît sous un épiderme net. Des îlots de sclérenchyme constituent les fibres péryclics un peu plus en profondeur (figure 4) (Hoefler, 1994 ; Moussi, 2015).

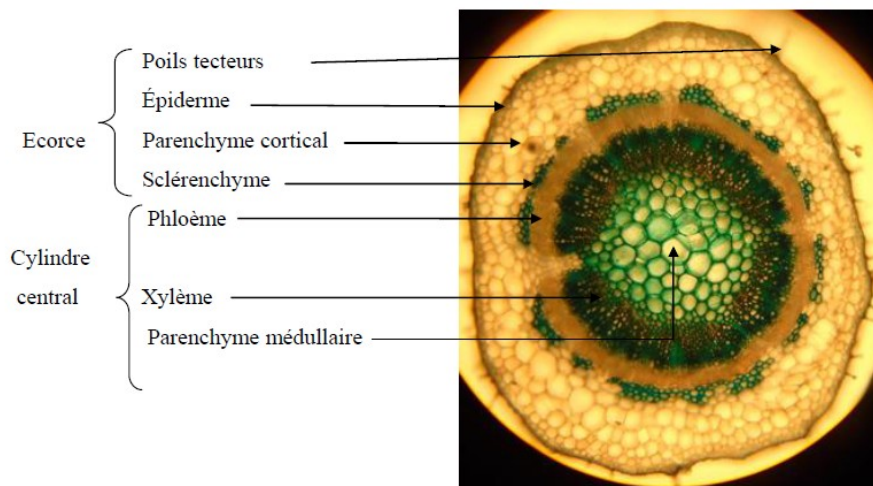


Figure 4. Coupe histologique de la tige de *R. officinalis* (Moussi, 2015)

1.2. Biogéographie, utilisations et importance du romarin dans la région de l'Oriental

1.2.1. Biogéographie et phytosociologie

R. officinalis est une plante indigène aux pays méditerranéens tels que le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, l'Égypte, l'Espagne, le Portugal, l'Italie, l'Ex-Yougoslavie, l'Albanie, la Palestine, la Grèce, l'île de Chypre et s'étend jusqu'en Asie mineure (figure 5). De par ces exigences, elle est plus particulièrement proche du littoral surtout sur sol calcaire, à de faibles altitudes et en climat ensoleillé et modérément sec (Begum *et al.*, 2013 ; Ferrer-Gallego *et al.*, 2014).

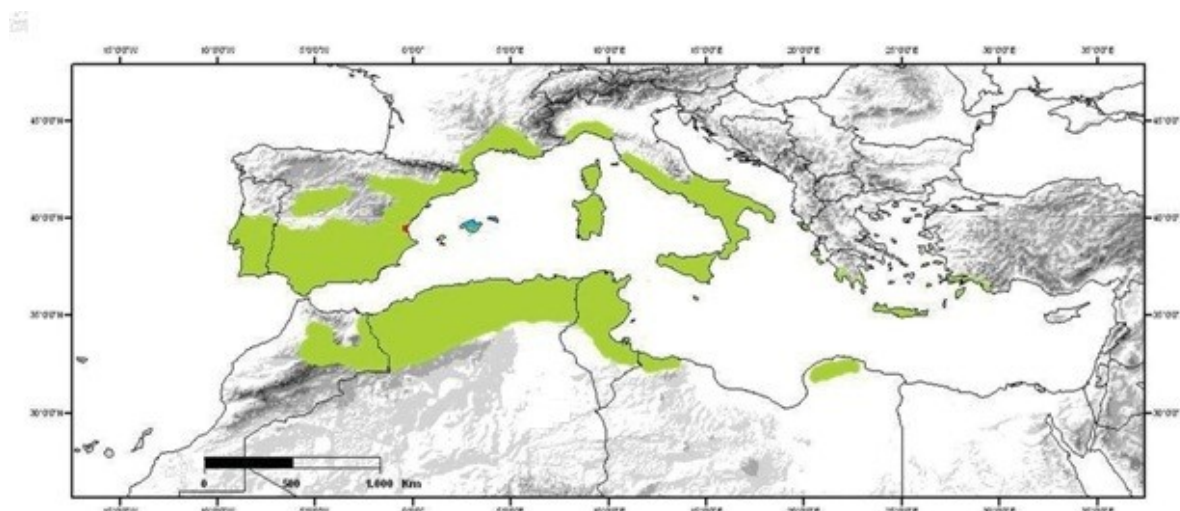


Figure 5. Répartition de *Rosmarinus officinalis* L. (Ferrer-Gallego *et al.*, 2014)

Le genre *Rosmarinus* est représenté au Maroc par deux espèces, *R. officinalis* et *R. eriocalyx*. On le rencontre surtout de l'aride supérieur au subhumide de type chaud à frais dans le thermoméditerranéen et le mésoméditerranéen. Il est indifférent aux qualités chimiques du sol, cependant il présente une certaine préférence pour les sols carbonatés et bien drainés (Benabid, 1997). Cette plante se développe sous des précipitations allant de 200 à 500 mm, et supporte des températures variant de -2 à 39°C (Naggar & Iharchine, 2015).

Le romarin officinal forme des nappes importantes dans la partie orientale et méditerranéenne du Maroc, on le rencontre surtout dans des peuplements clairs et matorrals des basses et moyennes altitudes. Il est fréquent dans l'Atlas Rifain oriental, cependant il est rare dans la partie occidentale du Rif (vallée d'Amétrasse). Dans le Moyen Atlas, on le rencontre dans le col de Feggous, Taouarit Tamokrant, chaînes du Gueb-er-Rahal et du Bou-Iblane, le mont Ouarirt au sud-est de Taza et Vallée de Oued Atchane près de Boulmane (Maire & Jahandiez, 1934 ; Fennane *et al.*, 2007). Dans le Haut Atlas, il est fréquent dans la partie orientale à partir de Jbel Ayachi, Titahouine, Tizi-n-Telghemt. On le rencontre aussi dans l'Atlas Saharien dans les monts de Figuig (Maire & Jahandiez, 1934 ; Fennane *et al.*, 2007). Il est surtout abondant

dans la région de Missour et dans la chaîne des Horst depuis le mont de Debdou jusqu'à Jerada, et rare dans la partie occidentale du pays (Emberger, 1939 ; Fennane *et al.*, 2007).

Le romarin forme de nombreuses associations telles que : *Paeonio maroccanae-Quercetum rotundifoliae* Barbero, Quézel et Rivaz Martinez 1981 ; *Smilaci mauritanicae-Quercetum rotundifoliae* Barbero, Quézel et Rivaz Martinez 1981 ; *Rusco hypophylli-Quercetum cocciferae* Benabid 1984 ; *Calycotomo intermediae-Tetraclinetum* Barbero, Quézel et Rivaz Martinez 1981 et *Rosmarino officinalis-Tetraclinetum articulatae* Fennane 1988 (Fennane, 2003).

Emberger (1939) a décrit trois variétés de *R. officinalis* au Maroc :

| | |
|-------------------------------|--|
| Var. <i>Typicus</i> Batt | Atlas, Rif oriental Vallée d'Amtras |
| Var. <i>Lavendulaceus</i> | Jbel Lahmar Col de Feggous, chaîne d'Er-Rahal, Oued Settout |
| Var. <i>Laxiflorus</i> de Noé | Col de Feggous |

1.2.2. Utilisations de *Rosmarinus officinalis*

Rosmarinus officinalis est une plante aromatique et médicinale utilisée depuis des milliers d'années dans les préparations culinaires et médicinales, principalement en raison de ses constituants phénoliques et volatils présents dans la plante (Babovic *et al.*, 2010 ; Teixeira *et al.*, 2013 ; Arranz *et al.*, 2015). Le romarin contient aussi des protéines, des fibres, des vitamines et des minéraux réputés pour leur capacité à prévenir les maladies (Département de l'Agriculture des États-Unis [USDA], 2019). Il est utilisé frais, séché, sous forme d'extrait ou d'huile essentielle (Szumny *et al.*, 2010 ; Amaral *et al.*, 2013 ; Barreto *et al.*, 2014).

L'huile essentielle et l'extrait de romarin sont actuellement reconnus comme étant généralement sûrs pour l'usage auquel ils sont destinés, au sens de l'article 409 de la loi intitulée "Food and Drugs Administration" et conformément à la directive de la Commission européenne de 2010/67/UE et la directive 2010/69 /UE, respectivement (Santos *et al.*, 2015).

- *Historique*

Les anthropologues et les archéologues ont trouvé des preuves de l'utilisation de *R. officinalis* à des fins culinaires, médicinales et cosmétiques dans l'Égypte ancienne, la Chine, l'Inde et la Mésopotamie (Stefanovits-Bányai *et al.*, 2003). Le botaniste-médecin Prospero Alpini (1553-1617 apr. J.C.) a découvert des rameaux de romarin dans un tombeau de l'Égypte Ancienne

(2000 ans av. J.C.). Le romarin a figuré également parmi d'autres plantes alimentaires sur des papyrus et des peintures murales à Louxor (vers 1400 av. J.C) (Delaveau, 1987).

Dans la Grèce antique et à Rome, le romarin était considéré comme une plante qui renforçait la mémoire, ce qui explique son surnom de plante du souvenir et de la fierté. Hippocrate (460-377 av J.C.), Dioscoride (25-90 apr. J.C.) et Galen (129-210 apr. J.C.) ont également prescrit du romarin pour des problèmes de foie (Begum et *al.*, 2013).

En Médecine Islamique (X^{ème} Siècle), le romarin était considéré comme plante expectorante et bonne pour les coliques. Il était utilisé aussi dans le traitement des abcès, des piqûres de scorpions et pour expulser le pus des ulcères. Ibn Roshd al Jadd dans son ouvrage "Kitab Al Kolliat" cite le romarin comme une plante utile pour le mal de tête et diurétique (Hoefler, 1994).

Le Médecin-Botaniste Ibn Al Baytar (1197-1248) attribue au romarin, dans son ouvrage "Kitāb al-Ġāmi li-mufradāt al-adwiya wal-aġdiya", plusieurs propriétés. Il purifie les poumons, il est utile contre les palpitations, l'asthme, la toux, l'hydropisie et l'ascite. Il résout l'obstruction du foie et de la rate et provoque l'écoulement de l'urine et des règles. Les chasseurs l'utilisaient aussi pour arrêter le développement de la putréfaction en le mettant dans le ventre des animaux (Hoefler, 1994).

- Utilisation en médecine traditionnelle

Le romarin a de nombreuses utilisations traditionnelles basées sur ses propriétés antibactériennes et spasmolytiques. Utilisé par voie orale pour le traitement des complications dyspeptiques, et dans des applications externes pour le traitement des rhumatismes et des troubles circulatoires (Blumenthal, 1998). Il est aussi utilisé comme cholagogue, diaphorèse, digestif, diurétique, emménagogue, laxatif et tonique (Bedevian, 1994), également utilisé dans le traitement des maux de tête, troubles menstruels, fatigue, troubles de la mémoire, entorses et bleus (Begum et *al.*, 2013).

Les indications thérapeutiques rassemblées ci-après font, pour la plupart, référence à son usage pratiqué en Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) :

- ✓ Affections du cerveau et du système nerveux (En général, débilité, maladie physique ou nerveuse à long terme). Le romarin est utilisé comme stimulant en cas de surmenage ou d'asthénie, pour améliorer la mémoire et soulager les fatigues mentales, les maux de tête, les migraines et les tensions nerveuses. Il possède un effet réparateur sur le système nerveux, apaise les nerfs, stimule le cerveau et le système nerveux (Begum et *al.*, 2013).

Le romarin est notamment utilisé pendant les convalescences après une fièvre typhoïde. Il s'emploie aussi contre la paralysie et l'épilepsie et contre les phénomènes de "débilité de tous genres" (Hoeffler, 1994).

- ✓ Affections des reins. Le romarin est utilisé comme diurétique surtout dans les cas d'hydropisie et d'œdème.
- ✓ Affections cardiovasculaires. Il améliore la circulation, augmente la pression artérielle et stimule le cœur faible sujet aux palpitations lorsqu'il est consommé à petites doses.
- ✓ Système circulatoire gastro-intestinal. Il favorise une digestion appropriée et possède un effet tonifiant et calmant sur la digestion. Il est utilisé aussi contre les maux d'estomac, les vomissements et les fermentations intestinales.
- ✓ Santé féminine. Il régule le cycle menstruel (emménagogue). Le romarin provoquerait des contractions utérines et de ce fait serait abortif. Dans le Sahara algérois, il est utilisé en décoction pour faciliter l'accouchement et purifier le sang de la mère (Doreau, 1961).
- ✓ Affections hépatiques. Il incite la fonction hépatique et favorise la production de bile. Le romarin est indiqué dans le cas de cholécystites chroniques, d'ascites et d'ictères pour ses propriétés cholagogues et cholérétiques (Heinrich *et al.*, 2006).
- ✓ Système respiratoire (Rhumes et coliques). Les feuilles de romarin en infusion ont une action calmante sur la toux et s'emploient également dans d'autres affections bronchiques comme l'asthme et la coqueluche.
- ✓ En usage externe. Il est utilisé pour traiter les morsures et les piqûres. Il s'emploie aussi comme cicatrisant, mélangé à de l'huile ou réduit en poudre, pour les plaies récentes comme la circoncision.

En aromathérapie, l'HE est utilisée comme décongestionnant, comme inhalant, pour l'épuisement, pour les maux de tête, afin d'améliorer la mémoire et la concentration.

L'HE est aussi utilisée dans la fabrication des huiles ou lotions pour l'arthrite, les ecchymoses, l'eczéma, la goutte, les douleurs musculaires, les névralgies, les membres paralysés, le rhumatisme, la polyarthrite rhumatoïde, la sciatique, les plaies scrofuleuses, pour stimuler l'activité des cheveux et pour prévenir la calvitie prématurée (Hoeffler, 1994 ; Begum *et al.*, 2013).

- **Utilisation non médicinales de *R. officinalis***

- ✓ Utilisations culinaires et alimentaires. Les deux formes de base d'utilisation du romarin dans les préparations culinaires sont les feuilles fraîches et séchées en poudre. Il a un goût amer et astringent et il est aromatique. Il est fréquemment utilisé dans la cuisine

méditerranéenne traditionnelle pour aromatiser des aliments comme condiment (Szumny *et al.*, 2010; Peter & Babu, 2012). Le romarin peut être ajouté au poisson, à la viande, à la volaille, aux soupes, aux ragoûts, aux sauces, aux vinaigrettes, aux conserves et aux confitures cuits (Peter & Babu, 2012). Il existe du miel spécialement produit à partir du nectar des fleurs de romarin. Ce miel très parfumé est appelé miel de romarin (Bonnier, 1934).

- ✓ En parfumerie et cosmétique. L'huile essentielle de romarin est utilisée dans l'industrie de la savonnerie, de la parfumerie, en cosmétique. Elle sert pour la préparation des dentifrices, eaux de toilettes et shampoings (Richard & Vernon, 1976 ; Begum *et al.*, 2013).
- ✓ Agent antioxydant. Dans la tradition, le romarin est employé pour ses propriétés antioxydantes dans la conservation des aliments et des graisses. En Afrique du Nord, le romarin était utilisé pour éviter le rancissement du beurre fondu dans les outres. Bien avant, dans le "Traité des Simples", Ibn Al Baytar (XIII^{ème} siècle) rapporte que le romarin s'employait pour arrêter le développement de la putréfaction dans les ventres des animaux tués à la chasse. C'est à la fois son action antimicrobienne et antioxydante qui serait exploitées (Hoefler, 1994).

Le romarin est également une plante ornementale, fourragère et aussi employé pour la fixation des berges marneuses surtout en milieu semi-aride (Chablou, 1996).

1.3. Importance et modalités d'exploitation du romarin dans la région de l'Oriental

Actuellement, on considère que les PAM, tel que le romarin, jouent un rôle important au Maroc dans l'économie rurale et nationale par la création d'activités génératrices de revenus au profit de la population locale et à la consolidation de leur équilibre commerciaux. En effet, le Maroc exporte environ l'équivalent de 300 millions de dirhams en PAM sous différentes formes et environ 165 millions de dirhams d'HE, soit un total d'environ 465 millions de dirhams (USAID, 2006). Le Maroc est classé 12^{ème} exportateur mondial des PAM et dispose encore d'un grand potentiel d'expansion vers un marché mondial estimé à 15 milliards de dollars (Naggar & Iharchine, 2015).

Parmi les PAM marocaines, le romarin serait la plus importante espèce en termes de potentialités. Il s'étend sur une superficie d'environ 1 million d'hectares et produit en moyenne l'équivalent d'environ 60 tonnes d'HE (USAID, 2006).

Dans la région de l'Oriental, le romarin est très répandu dans la chaîne des Horst depuis le mont de Rchida jusqu'à Jerada. Il forme des nappes importantes dans le Rif Oriental (Ain

Zohra), dans le Moyen Atlas Oriental (Berkine), au niveau des Beni Znassen et dans la partie sud des Haut Plateaux. La superficie déjà cartographiée s'élève à plus de 450.000 ha. Cependant, on estime que la superficie réelle dépasserait les 600 000 ha (tableau 3).

Tableau 3. Répartition de la superficie des faciès à romarin par province dans la région de l'Oriental (Naggar & Iharchine, 2015)

| Province | Forêt /nappes romarin | Superficie (ha) |
|--------------|---|-----------------|
| Taourirt | Debdou, Lamkam, El Ayate et Nerguechoum | 150 000 |
| Jerada | Béni yaâla, Gafaït et Labkhata | 50 000 |
| Figuig | Ait Sergouchen et Talsint | 250 000 |
| Nador | Ain Zohra | Non estimée |
| Guerçif | Mezguitem, Berkine, Rchida | Non estimée |
| Total | | Plus de 450 000 |

Au cours du dernier siècle, Les peuplements de romarin ont été fortement exploités pour la production des huiles essentielles et de la feuille sèche. Le système de cession qui était adopté ne tenait pas en compte des risques de dégradation. Par exemple, la période d'exploitation des faciès à romarin était fixée à 3 ans. Durant cette courte période, l'intérêt de l'industriel était d'exploiter le maximum de matière première sans se soucier de la pérennité des nappes, ce qui a causé la dégradation des peuplements de romarin dans plusieurs régions. Le niveau et la fréquence de coupes qui étaient pratiqués limitaient la régénération des peuplements (Zrira *et al.*, 1997). En effet, dans la plupart des cas, les cueilleurs se limitaient à l'arrachage pour extraire le maximum de biomasse, cette façon de faire arrangeait les distillateurs, dans la mesure où ils fournissaient, à un prix bas, des quantités importantes de produits, dont la matière ligneuse était utilisée comme source d'énergie pour l'opération de distillation (Ismaili, 2000).

Pour palier à ce problème, les gestionnaires pensaient à la prolongation de la durée de cession à 10 ans, pour encourager les exploitants à gérer minutieusement les ressources mises à leur disposition et éventuellement participer à leur préservation. En 2008, l'administration des eaux et forêts a mis au point une stratégie nationale pour le développement du secteur des plantes aromatiques et médicinales au Maroc. Cette stratégie est axée sur 5 mesures : la consolidation et le développement des connaissances spécifiques aux PAM marocaines, la

valorisation de l'offre, l'organisation, la promotion et le développement durable de la filière PAM.

Plusieurs coopératives, qui ont été créées dans la région d'Oriental, exploitent dans le cadre de conventions de partenariat avec l'administration forestière. L'objectif était de faire participer les usagers à la gestion des ressources mises à leur disposition et d'adopter des règles de culture permettant d'assurer la conservation et la reconstitution des nappes de romarin (Naggar & Iharchine, 2015).

Dès lors, les règles d'exploitation des nappes de romarin au Maroc ont changé. Ainsi, la durée de cession des lots a été prolongée à 9 ans correspondant à 9 campagnes de récolte organisées selon un système triennal de rotation : une année d'exploitation suivie de deux années de repos végétatif. Le nouveau cahier des prescriptions spéciales (CPS), qui régit les règles d'exploitation des nappes, interdit les mauvaises pratiques autrefois pratiquées, comme l'arrachage des touffes, et préconise l'utilisation du sécateur au lieu de la faucille pour la réalisation des coupes. Toutefois, ces pratiques sont loin d'être adoptées par les ramasseurs. Les techniques d'exploitation et de transformation du romarin présentent plusieurs maillons faibles que ce soit à l'amont ou à l'aval de la filière. Le système d'exploitation est souvent trait à une exploitation minière et la filière ne dispose d'aucune politique des prix ni de veille technologique d'accompagnement, qui constitue un frein pour le développement surtout pour les coopératives dans la région de l'Oriental.

Malgré ces faiblesses, la filière Romarin reste un secteur prometteur au niveau de la région de l'Oriental au Maroc et mérite ainsi une attention particulière.

1.4. Le bouturage et la culture du romarin naturel (*Rosmarinus officinalis* L.)

Pour préserver les faciès de romarin au Maroc et maintenir une activité durable de son exploitation, il faut absolument procéder à la régénération assistée des populations naturelles, à mettre au point des techniques de bonnes pratiques de récolte et à procéder à la domestication et la culture de cette plante sauvage pour passer de l'économie de cueillette à celle de la production.

Une note sur les techniques de multiplication et de culture du romarin naturel marocain est présentée en annexe 1.

CHAPITRE 2. Les huiles essentielles de *R. officinalis* L.

2.1. Généralités sur les huiles essentielles

2.1.1. Définitions

Les plantes à HE ont, à toutes époques, occupé une place importante dans la vie quotidienne des hommes qui les utilisaient autant pour se parfumer, aromatiser la nourriture ou même se soigner. Avicenne, médecin et philosophe (980-1037), fut le premier à produire la première HE pure, une HE de roses extraite de *Rosa centifolia*, en utilisant le procédé de distillation par la vapeur d'eau. Il a produit ainsi des HE pures de très nombreuses plantes (Zhiri, 2006).

Les HE sont extraites de diverses plantes aromatiques généralement localisées dans des pays tempérés à chauds tels que les pays méditerranéens et tropicaux où elles représentent une partie importante de la pharmacopée traditionnelle (Bakkali *et al.*, 2008).

Durvelle (1930), a défini les HE (ou essences ou huiles volatiles) à partir de leurs caractéristiques : ce sont des substances odorantes huileuses, volatiles, peu solubles dans l'eau, plus ou moins solubles dans l'alcool et dans l'éther, incolores ou jaunâtres, inflammables. Elles sont liquides à la température ordinaire, quelques unes sont solides ou en partie cristallisées. Elles n'ont pas le toucher gras et onctueux des huiles fixes dont elles se distinguent par leur volatilité, leur odeur est plus ou moins forte, suave, piquante ou désagréable et elles n'imprègnent pas le papier durablement.

Evans (1996) a défini les HE comme étant des extraits végétaux volatiles et odorants, appelées également substances organiques aromatiques liquides, présentes naturellement dans diverses parties des arbres et des plantes, elles sont volatiles et sensibles à l'effet de la chaleur.

Le terme HE a été défini selon la norme ISO 9235 comme un « produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, après séparation de la phase aqueuse par des procédés physiques, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus, soit par distillation sèche. »

La définition retenue par la Commission de la Pharmacopée Européenne (2008) est très proche de celle de la norme ISO 9235 : « *Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition* ».

Ces définitions spécifiques sont restrictives dans la mesure où elles excluent les produits obtenus par extraction à l'aide de solvant et ceux obtenus par tout autre procédé (gaz sous pression, enfleurage), bien que ceux-ci occupent une place importante sur les marchés. Ce sont des définitions pour des usages spécifiques en pharmaceutiques et cosmétiques ou pour des usages aromatiques et alimentaires. Par ailleurs, tout produit obtenu par d'autres procédés n'est pas considéré comme HE.

2.1.2. Biosynthèse des huiles essentielles

Les HE sont des mélanges de molécules variées, comprenant en particulier des terpènes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (beaucoup moins fréquents). On compte huit classes principales : les carbures sesquiterpéniques et terpéniques, les alcools, les esters, les aldéhydes, les cétones, les phénols, les éthers et les peroxydes (Figueredo, 2007).

Les terpènes sont des produits naturels très largement représentés dans le monde végétal. Malgré leur grande diversité structurale et leur complexité chimique, ils possèdent une origine biosynthétique commune et sont regroupés en une seule et même famille. Les terpènes ne sont pas formés à partir de l'isoprène C_5H_8 bien qu'ils aient pour formule de base des multiples de celle-ci. Le précurseur fondamental de tous les terpènes correspond à l'isopentényle pyrophosphate (ou isopentényle diphosphate ou IPP). Celui-ci résulte de la phosphorylation, la décarboxylation et l'élimination d'un phosphate de l'acide mévalonique, dont provient le nom de cette voie de biosynthèse de l'IPP : voie de biosynthèse acétate-mévalonate. En revanche, l'isoprène est facilement obtenu par dégradation des terpènes. Aujourd'hui, il est admis que la voie de l'acide mévalonique conduit à la formation des terpènes. Cet acide est obtenu à partir du métabolisme des sucres après formation de l'acétyl coenzyme A (Figueredo, 2007).

De ce fait, une classification rationnelle, basée sur le nombre d'unités isopréniques qu'elle renferme, est possible. Ainsi, on distingue les hémiterpènes (C_5), les monoterpènes (C_{10}), les sesquiterpènes (C_{15}), les diterpènes (C_{20}), les sesterpènes (C_{25}), les triterpènes (C_{30}), les caroténoïdes (C_{40}) et les polyisoprènes (C_n).

La voie métabolique responsable de la synthèse des sesquiterpènes et des triterpènes est cytoplasmique (cytosol et réticulum endoplasmique), tandis que la voie responsable de la biosynthèse de l'isoprène, des mono et diterpènes ainsi que des caroténoïdes prend place dans les plastides.

La condensation d'une unité diméthylallyle pyrophosphate (DMAPP) avec une unité IPP donne lieu à une unité géranyl pyrophosphate GPP, précurseur des monoterpénoïdes (C_{10})

(figures 6 et 7). Le farnésyl pyrophosphate FPP, précurseur des sesquiterpénoïdes (C15) provient, quant à lui, de la condensation d'une unité GPP avec une unité IPP. Quelques sesquiterpènes acycliques sont connus, mais la grande majorité d'entre eux sont cyclisés par toutes sortes de réactions impliquant différentes enzymes, menant ainsi à un grand nombre de structures sesquiterpéniques différentes.

Ce procédé de condensation est répété et ainsi l'ajout d'une unité IPP à une unité FPP produit un géranylgeranyl pyrophosphate GGPP, précurseur direct des diterpénoïdes (C20) et précurseur indirect des tétraterpénoïdes (C40) (tableau 4). En général, seuls les terpènes de poids moléculaire faible, de 10 à 20 atomes de carbones, sont présents dans les huiles essentielles.

Tableau 4. Les différentes classes de terpénoïdes (Figueredo, 2007)

| | | |
|-----------------------|--|---|
| C5 | Hemiterpénoïdes | - |
| C10 | Monoterpénoïdes | constituants odorants des essences végétales |
| C15 | Sesquiterpénoïdes | constituants odorants des essences végétales |
| C20 | Diterpénoïdes | constituants de résines |
| C25 | Sesterterpénoïdes | encore rares - constituants de cires d'insectes ou de microorganismes |
| C30 | Triterpénoïdes | constituants de résines |
| C40 | caroténoïdes/ tétraterpénoïdes | - |
| C5n (n > 8) | Polyprénoïdes | ex: caoutchouc |

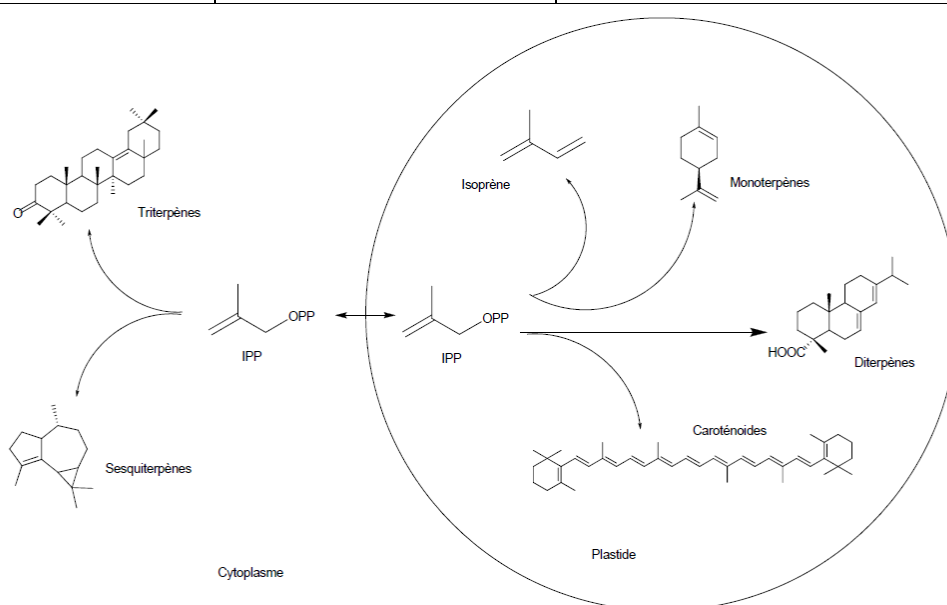


Figure 6. Compartimentation des voies de biosynthèse des terpènes (d'après McCaskill & Croteau, 1998)

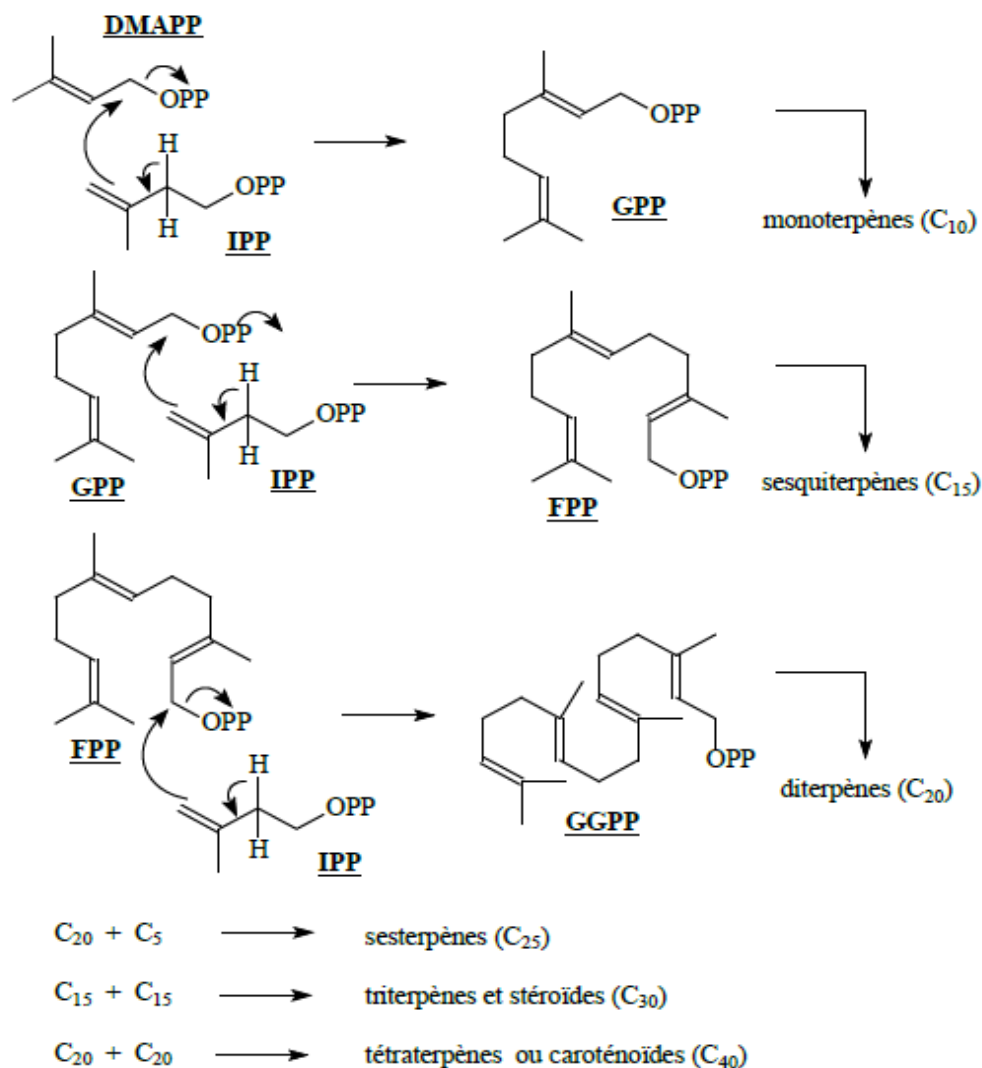


Figure 7. Condensation de motifs isopréniques (Mann, 1987)

2.1.3. Structures chimiques des huiles essentielles

Les composés des HE peuvent être des hydrocarbures classiques (terpènes):

- acycliques (myrcène, ocimène),
- monocycliques (α et γ -terpinène, para-cymène, δ -élémane),
- bicycliques (α et β -pinène, δ -3-carène, camphène, β -caryophyllène).

Ou fonctionnalisés (terpénoïdes) :

- alcools : acycliques (géraniol, linalol, citronellol), monocycliques (menthol, α -terpinéol), bicycliques (bornéol, fenchol),
- cétones : acycliques (tagétone), monocycliques (menthone, carvone), bicycliques (camphre, fenchone, thuyone),
- aldéhydes : généralement acycliques (géraniol, néral, citronellal),

- esters : acycliques (acétate ou propionate de linalyle, acétate de citronellyle), monocycliques (acétate de menthyle, d' α -terpinyle), bicycliques (acétate d'isobornyle),
- éthers : 1,8-cinéole,
- peroxydes : ascaridol,
- phénols : thymol, carvacrol.

2.1.4. Répartition, localisation et rôle des huiles essentielles dans la plante

Les HE n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs (exclusivement les Spermaphytes). Les genres capables d'élaborer les constituants qui composent les huiles essentielles sont répartis dans un nombre limité de familles : *Lamiaceae*, *Lauraceae*, *Asteraceae*, *Rutaceae*, *Myrtaceae*, *Poaceae*, *Cupressaceae*, *Piperaceae*, *Pinaceae*, etc. (Figueredo, 2007). Les teneurs en HE sont généralement très faibles, à l'exception du bouton floral du giroflier où le rendement atteint largement les 15% (Makhlouf, 2002).

Tous les organes végétaux peuvent contenir des HE (figure 8) :

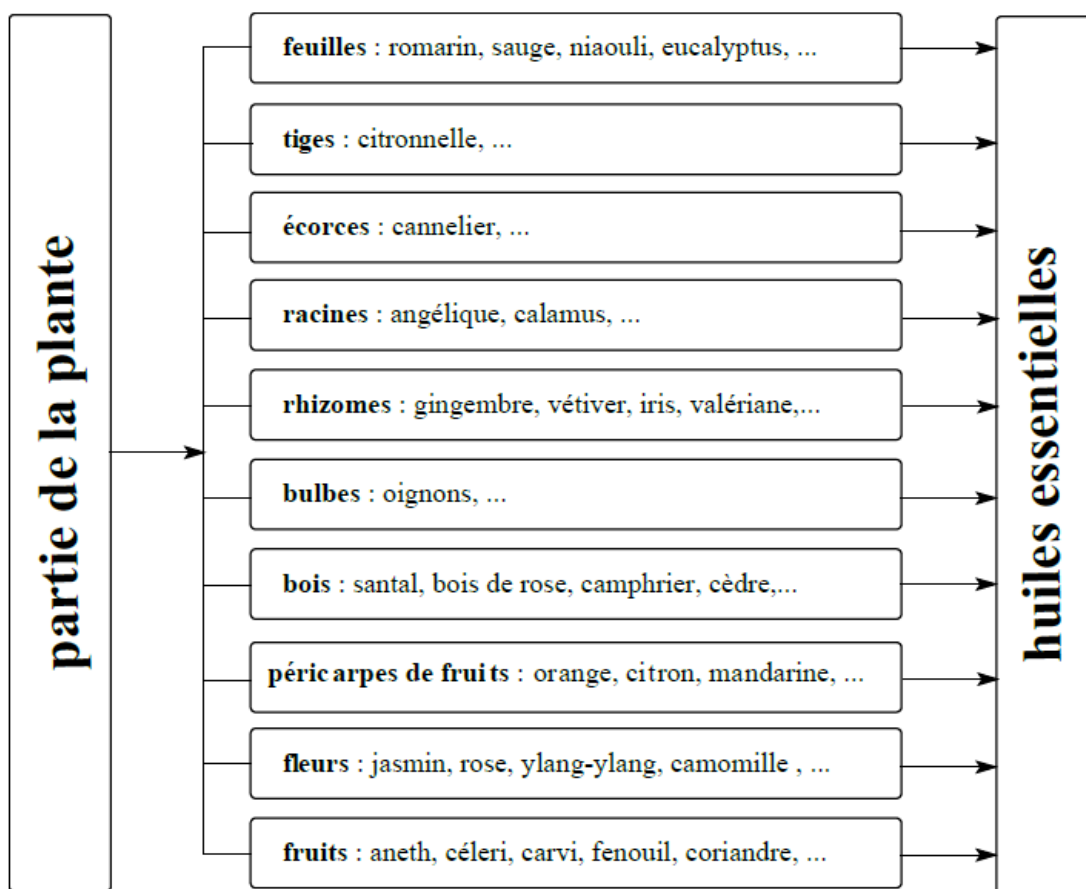


Figure 8. Localisation des huiles essentielles en fonction des différentes parties de plantes (Figueredo, 2007)

Différentes structures histologiques spécialisées sont associées à la synthèse et le stockage des HE chez les végétaux. Ces structures sont souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante. Ce sont des cellules à HE chez les *Lauraceae* et les *Zingiberaceae*, des poils sécréteurs chez les *Lamiaceae*, des poches sécrétrices chez les *Myrtaceae* et les *Rutaceae* ou des canaux sécréteurs chez les *Apiaceae* et les *Asteraceae* (Svoboda *et al.*, 2000 ; Figueredo, 2007).

Dans la nature, les HE jouent un rôle important dans la protection des plantes en tant qu'antibactériens, antiviraux, antifongiques, insecticides et aussi contre les herbivores en réduisant leur appétit pour ces plantes. Ils peuvent également attirer certains insectes pour favoriser la dispersion des pollens et des graines, ou repousser d'autres indésirables (Bakkali *et al.*, 2008).

2.2. Rendement et composition chimique des huiles essentielles de *R. officinalis*

2.2.1. Rendement en huiles essentielles

Plusieurs études ont été réalisées sur les HE de *R. Officinalis* L. dans différentes régions du Maroc et différents pays du monde. Les résultats de ces travaux sont résumés dans les tableaux 5 et 6.

D'après ces études, on remarque que le rendement en HE varie d'une région à une autre. Les plus faibles rendements ont été enregistrés pour la provenance Tafersoust (0,53%) (Sud de Sefrou - Moyen Atlas) et pour la provenance Souk Elhad (0,65%) située au niveau du Rif central. Alors que, les meilleurs teneurs en HE ont été obtenus à partir des échantillons de romarin récoltés à Ouazzane et Laksar Lekbir (2,73%) et dans la région de l'Oriental au Maroc à El Ateuf (2,69%). Plusieurs facteurs agissent sur la production en HE. D'une part, la période de récolte et les conditions environnementales dans lesquelles la plante se développe (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012 ; Jordán *et al.*, 2013a). D'autre part, les conditions de récolte, de transport, de séchage et d'extraction peuvent considérablement influencer le rendement en HE. En effet, Verma *et al.* (2011) ont constaté une perte importante dans la teneur en huiles essentielles dans la biomasse de romarin juste après la récolte, 15,4% de perte d'huile 48 heures après récolte pour le romarin stocké à l'ombre et 15,4% seulement 24 heures après récolte pour le romarin séché sous le soleil. Par ailleurs, les teneurs en HE mentionnées dans les travaux cités au niveau du tableau 5, dont la plupart des auteurs ont procédé à un séchage de la matière première avant la distillation, sont sous estimés.

Tableau 5. Rendement en huiles essentielles de *R. officinalis* L. selon la localité de récolte au Maroc

| Localité | Rdt | Période de récolte | Références |
|---|-------|--------------------|-----------------------------------|
| Ksar El Kbir (Rif) | 2,73% | Mars – 2013 | Hannour <i>et al.</i> , 2018 |
| Ouezzane (Rif) | 2,73% | NP - NP* | Bouyahya <i>et al.</i> , 2017 |
| El Ateuf (Oriental) | 2,69% | Mai – NP | El Amrani <i>et al.</i> , 1997a |
| Sefrou (Moyen Atlas) | 2,40% | Mars – 2012 | Megzari <i>et al.</i> , 2015 |
| Tizi n'Telghemt (Moyen Atlas) | 2,30% | Mars – 2013 | Hannour <i>et al.</i> , 2018 |
| El Ayate (Oriental) | 2,23% | Juil – 1999 | Fechtal <i>et al.</i> , 2001a |
| Rchida (Oriental) | 2,21% | Mars – 2010 | Khia <i>et al.</i> , 2014 |
| Oued Laou (Rif) | 1,90% | Mars – 2012 | Megzari <i>et al.</i> , 2015 |
| Berkine (Moyen Atlas) | 1,87% | Mars – 2010 | Khia <i>et al.</i> , 2014 |
| Ayoun Charkiya (Oriental) | 1,80% | Mars – 2012 | Megzari <i>et al.</i> , 2015 |
| Guerss Allalen | 1,62% | Déc - 1991 | Hmamouchi <i>et al.</i> , 1997 |
| Debdou (Oriental) | 1,61% | Mai – 2000 | Ismaili, 2000 |
| Debdou (Oriental) | 1,60% | Avr – 1994 | El Amrani <i>et al.</i> , 1997b |
| Tincherfi (Oriental) | 1,43% | Déc – 1991 | Hmamouchi <i>et al.</i> , 1997 |
| Aknoul (Rif Oriental) | 1,29% | Mars – 2010 | Khia <i>et al.</i> , 2014 |
| Rchida (Oriental) | 1,27% | Nov – 1993 | El Amrani <i>et al.</i> , 1997c |
| Oulad Ali (Oriental) | 1,07% | Déc – 1991 | Hmamouchi <i>et al.</i> , 1997 |
| Aknoul (Rif Oriental) | 0,87% | Nov – 1993 | El Amrani <i>et al.</i> , 1997c |
| Taza (Moyen Atlas) | 0,86% | Fév – 2012 | Chahboun <i>et al.</i> , 2014 |
| Errachidia (Moyen Atlas) | 0,85% | Mai – 2002 | Mouchid <i>et al.</i> , 2004 |
| Beni Boudass (Rif) | 0,82% | NP – NP | Fechtal <i>et al.</i> , 1997 |
| Boulemane (Moyen Atlas) | 0,80% | Oct – 2013 | El Ghadraoui <i>et al.</i> , 2015 |
| Souk Elhad (Rif) | 0,65% | NP – NP | Fechtal <i>et al.</i> , 1997 |
| Tafersoust (Sud de Sefrou, Moyen Atlas) | 0,53% | Mars – 2009 | Derwich <i>et al.</i> , 2011 |

* NP. Période de récolte non précisée

Tableau 6. Rendement en huiles essentielles de romarin selon l'origine géographique

| Pays | Rendement en HE | Références |
|-------------------|-----------------|---|
| Maroc | 0,5-2,73% | Voir Tableau 5 |
| Algérie | 0,3-1,8% | Boutekedjiret <i>et al.</i> , 2005 ; Outaleb <i>et al.</i> , 2015 |
| Tunisie | 0,45-1,43% | Ayadi <i>et al.</i> , 2011 ; Zaouali <i>et al.</i> , 2013 |
| Portugal | 0,3-1,4% | Miguel <i>et al.</i> , 2007 |
| Espagne | 1,26-3,21% | Jordán <i>et al.</i> , 2013b ; Sotomayor <i>et al.</i> , 2009 |
| France | 0,50-0,60 | Casanova & Tomi, 2018 |
| Italie (cultivar) | 0,48-4,07% | Mulas <i>et al.</i> , 2002 ; Angioni <i>et al.</i> , 2004 |
| Croatie | 0,9-2,3% | Lakusic <i>et al.</i> , 2012 |
| Monténégro | 0,9-1,6% | Lakusic <i>et al.</i> , 2012 |
| Grèce | 2,80% | Lakusic <i>et al.</i> , 2012 |
| Serbie | 0,5-0,7% | Lakusic <i>et al.</i> , 2012 |
| Liban | 1,60% | Hilan <i>et al.</i> , 2006 |
| Inde (cultivar) | 1,3-2,7% | Verma <i>et al.</i> , 2011 |

Le rendement en HE de romarin est compris en général entre 1 et 3% pour le romarin naturel. Les teneurs en dessous de 1% ont été généralement enregistrés pour des variétés cultivées, à l'exception du clone (ORS1) sélectionné à partir de pied-mère provenant de la région de la Sardaigne en Italie dont le rendement a atteint une valeur de 4,07% (tableau 6). Cette variabilité dans la teneur en huiles est essentiellement la conséquence de facteurs intrinsèques (génétique) et extrinsèques (conditions édaphoclimatiques et orographiques) (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012).

2.2.2. Composition chimique des huiles essentielles

Le romarin possède une composition qualitativement semblable dans ses HE, mais les taux et la proportion relative des constituants peuvent varier considérablement. Les tableaux 7 et 8 donnent la liste des composés les plus fréquemment répertoriés dans l'HE de *R. officinalis* récolté dans différentes régions du Maroc et différents pays du monde. Ces composés sont présents dans l'HE obtenue par distillation de la biomasse foliaire de *R. officinalis*.

Tableau 7. Composition chimique des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* de différentes origines au Maroc

| Constituant | Origine | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Tricyclène | - | - | - | - | 0,2 | 0,2 | - | 0,1 | - | - | 1,7 | 0,3 | - | - | - |
| α -Thujène | 0,1-0,4 | 0,3 | - | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | - | - | 0,5 | - | 0,1 | - | 0,3 | 0,5 |
| α -Pinène | 2,5-7,9 | 6,7 | 1,9 | 9,6 | 13,8 | 12,5 | 6,3 | 16,3 | 11,9 | 16,6 | 14,1 | 12,2 | 9,2 | 18,3 | 15,8 |
| Camphène | 1,2-2,9 | 3,1 | 2,6 | 3,9 | 5,6 | 4,3 | 3,5 | 3,5 | 4,6 | 13,7 | 2,7 | 6,8 | 7,4 | 5,0 | 13,1 |
| Sabinène | - | - | 1,5 | - | 0,1 | - | - | 8,6 | - | 6,0 | 0,3 | 0,4 | 1,6 | 0,4 | 7,11 |
| β -Pinène | 2,9-6,1 | 8,7 | 5,6 | 9,2 | 7,8 | 9,5 | 4,3 | - | 7,7 | - | 0,1 | 4,1 | 8,6 | 4,6 | - |
| 3-Octanone | - | - | - | - | 0,1 | - | - | - | - | - | 0,2 | - | 0,8 | - | - |
| Myrcène | 1-3,1 | 1,4 | - | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,2 | - | 1,4 | - | - | 5,1 | - | - | - |
| α -Phellandrène | - | - | 0,2 | - | - | 0,2 | 0,1 | - | - | - | 0,2 | 1,3 | 0,1 | - | - |
| α -Terpinène | 0,1-0,3 | - | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| p-Cymène | 0,2-1,5 | - | - | - | - | 0 | 1 | - | 1 | - | 0 | - | 2 | 2 | - |
| 1,8-Cinéole | 58,7-63,7 | 50,8 | 46,2 | 44,8 | 42,7 | 42,4 | 42,4 | 42,2 | 42,0 | 35,9 | 23,7 | 18,4 | 17,0 | 5,3 | 1,2 |
| (Z)- β -Ocimène | - | 0,21 | - | - | 0,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (E)- β -Ocimène | - | 0,9 | - | 1,1 | 0,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| γ -Terpinène | 0,3-0,8 | 0,5 | - | 0,3 | 0,2 | - | - | - | 0,9 | - | 0,5 | - | - | - | - |
| trans-Sabinène hydrate | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0 |
| Terpinolène | - | 0,3 | - | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | - | 0,4 | - | 1,5 | - | - | 0,1 | - |
| Linalol | 1,1-1,5 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | - | 0,9 | - | 0,1 | - | 0,4 | 0,2 | - |
| Camphre | 5,3-12,3 | 7,4 | 17,3 | 11,7 | 11,9 | 12,4 | 16,2 | 10,8 | 14,0 | 6,4 | 18,7 | 22,1 | 21,3 | 6,0 | 3,3 |
| Bornéol | 2,6-6,7 | 5,7 | 6,8 | 3,9 | 2,1 | 2,3 | 7,4 | 2,8 | 3,6 | 4,8 | 15,5 | - | 4,8 | 3,1 | 3,6 |
| Terpinène-4-ol | 0,8-2,1 | 1,0 | 2,2 | 1,1 | 0,8 | 0,7 | 1,0 | - | 0,8 | 0,6 | - | 0,8 | 2,8 | 2,0 | 0,4 |
| α -Terpinéol | 3,1-8,1 | 3,1 | 5,3 | 3,0 | 2,3 | - | - | 0,6 | 2,4 | - | 0,6 | - | 1,9 | 2,9 | - |
| Myrtenol | t-0,3 | - | - | - | - | 2,0 | 2,8 | 5,0 | - | 1,4 | - | - | 0,4 | - | 1,1 |
| Verbénone | 0,2-0,6 | - | - | - | 0,3 | 0,1 | - | 0,0 | - | - | 4,7 | - | - | - | 0,3 |
| Bornyle acétate | 0,1-0,8 | - | 2,0 | - | - | 0,2 | 1,1 | 0,1 | 0,7 | - | 2,6 | 0,8 | 4,8 | 4,4 | 31,2 |
| β -Caryophyllène | 0,2-1,6 | 3,4 | 2,3 | 2,8 | 1,3 | 1,5 | 3,6 | 1,5 | 3,6 | 2,6 | 8,7 | - | 6,4 | 2,6 | 4,1 |
| α -Humulène | - | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | - | - | 0,6 | - | - |
| Caryophyllène oxyde | 0,9-1,5 | 0,4 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 4,2 | - | 3,8 | 0,1 | 6,3 | 4,3 | 0,5 | 4,7 |
| Source | A | B | c | b | D | e | f | g | h | i | j | I | c | k | i |

(1) El Ateuf ; (2) Berkine ; (3) Tizi n'Telghemt ; (4) Rchida ; (5) Rchida ; (6) El Ayate ; (7) Debdou ; (8) Boulemane ; (9) Errachidia ; (10) Ayoun Charquia ; (11) Ouezzane ; (12) Sefrou ; (13) Ksar el Kbir ; (14) Sud de Sefrou ; (15) Oued Laou.

(a) El Amrani *et al.*, 1997a ; (b) Khia *et al.*, 2014 ; (c) Hannour *et al.*, 2018 ; (d) El Amrani *et al.*, 1997c ; (e) Fechtal *et al.*, 2001a ; (f) Ismaili, 2000 ; (g) El Ghadraoui *et al.*, 2015 ; (h) Mouchid *et al.*, 2004 ; (i) Megzari *et al.*, 2015 ; (j) Bouyahya *et al.*, 2017 ; (k) Derwich *et al.*, 2011

Tableau 8. Variation de la composition chimique de l'huile essentielle de romarin en fonction de l'origine géographique de la plante

| Pays | Constituants (%) | | | | | | | | | | | | Réf |
|------------|--------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|-------|
| | α -Pinène | Camphène | β -Pinène | Myrcène | 1,8-Cinéole | Camphre | Bornéol | α -Terpinéol | Verbénone | Bornyle acétate | β -Caryophyllène | Caryophyllène oxyde | |
| Maroc | 2,5-18,3 | 1,2-13,7 | 0,1-9,5 | 1-5,1 | 1,2-63,7 | 3,3-22,1 | 2,1-15,5 | 0,6-8,1 | 0,1-4,7 | 0,1- 31,2 | 0,2-8,7 | 0,1-6,3 | (a) |
| Algérie | 3,4-24,7 | 0,8 - 22 | 0,1 - 6,6 | 0,2 - 1,7 | t - 52,4 | 9 - 33,6 | 0,3 - 11,9 | 0,2 - 2,2 | 6,3 - 8,7 | 0,3 - 4,6 | 3 - 10,6 | 0,1 - 1,4 | (b,c) |
| Tunisie | 5,3- 11,9 | 2,3 - 4,1 | 0,7 - 2,4 | 0,6 - 4,1 | 17,7- 58,1 | 7,8 - 15,9 | 1,2 - 13,8 | 2,4 - 3,5 | 1,3-9,7 | 0,2 - 2,8 | 0,1 - 5,1 | 0,1 - 7,8 | (d,e) |
| Portugal | 11,8-16,5 | 3,1 - 4,6 | 3,7 - 7,3 | 21,6 – 30 | 8,6- 11,3 | 4,4 - 12,2 | 0,7 - 1,4 | 1,1 - 1,6 | 3,5-6,4 | - | 0,7 - 3,1 | 0,3 - 1,3 | (f) |
| Espagne | 13 - 15,5 | 6,4 - 7,7 | 2,1 - 2,4 | 1,5 - 3,6 | 18,9- 21,2 | 17 - 18,6 | 3,6 - 6,9 | 2,9 - 3,3 | 4,6-6,2 | 1,2 - 3,8 | 0,3 - 0,9 | 0,9 - 2,4 | (g) |
| France | 9,6 – 41 | 3,6 - 10,4 | 0,5 - 4,2 | 0,6 – 4 | 0,3- 18,3 | 0,6 - 14,9 | 3,4 - 14,1 | 0,9 - 2,3 | 4,3-17,5 | 6,3 - 21,9 | - | - | (h) |
| Italie | 13,9 - 56,9 | 4,5 - 11,8 | 1,53 - 3,3 | 1,4 - 3,57 | 0,3- 18,3 | 0,1 - 22,3 | 0,8 - 18,1 | 0,97 - 2,7 | 1,3-16,3 | 0,4 - 24,4 | 0,05-0,51 | - | (i,j) |
| Croatie | 13,2- 26,7 | 3,6 - 5,9 | 2,5 - 6,5 | 1,1 - 5,8 | 27 - 39,4 | 2,4 - 16,7 | 2,1 - 21,4 | 2,4 - 3,4 | 0,3 – 1 | 2,5 - 5,6 | 0,5 - 1,7 | 0,1 - 0,6 | (k) |
| Monténégro | 8,2 - 11,9 | 5,1 - 10,2 | 1,9 - 4,7 | 5,1 - 11,5 | 10,9- 28,6 | 16,4 - 24,4 | 5,1 - 11,6 | 1,6 - 2,8 | 1,2 – 3 | 1,8 - 4,4 | 0,5 - 2,1 | 0,2 - 0,7 | (k) |
| Serbie | 10 - 13,5 | 5,4 - 5,8 | 2,2 - 3,9 | 4,4 - 5,5 | 15,6- 18 | 24 - 28,1 | 5,1 - 7,4 | 1,8 – 2 | 4,1-5,2 | 0,4 - 3,1 | 0,3 - 0,5 | 0,1 - 0,2 | (k) |
| Grèce | 8,7 | 3,8 | 2,8 | 1 | 30,3 | 28 | 12,9 | 4,4 | - | 0,3 | 0,3 | 0,2 | (k) |
| Liban | 14 | 2 | 2 | 2 | 50 | 12 | 5 | - | - | - | 3 | - | (L) |
| Inde | 6,72 - 15,6 | 3,2 - 6,3 | 0,2 - 4,3 | 1,4 - 3,2 | 21,4- 28,4 | 24 - 28,1 | 23,9 - 28,7 | - | 3,2-7,3 | 0,8 - 3,5 | 0,3 - 1,4 | 0,1 - 0,9 | (m) |

Références : (a) voir tableau 5 ; (b) Boutekedjiret *et al.*, 2005 ; (c) Outaleb *et al.*, 2015 ; (d) Zaouali *et al.*, 2013 ; (e) Ayadi *et al.*, 2011 ; (f) Miguel *et al.*, 2007 ; (g) Jordán *et al.*, 2013a ; (h) Casanova & Tomi, 2018 ; (i) Mulas *et al.*, 2002 ; (j) Angioni *et al.*, 2004 ; (k) Lakusic *et al.*, 2012 ; (l) Hilan *et al.*, 2006 ; (m) Verma *et al.*, 2011.

Les valeurs sont exprimées en % par rapport à l'huile essentielle.

L'identification des principales molécules a été obtenue par chromatographie en phase gazeuse (CPG-DIF) et par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM).

Les principaux constituants de l'HE du romarin marocain sont les suivants: 1,8-cinéole (1,2 à 63,7%), bornyl acétate (0,1 à 31,2%), camphre (3,3 à 22,1%), α -pinène (2,5 à 18,3%), bornéol (2,1 à 15,5%), camphène (1,2 à 13,7%), β -pinène (0,1 à 9,5%), β -caryophyllène (0,2 à 8,7%), α -terpinéol (0,6 à 8,1%), oxyde de caryophyllène (0,1 à 6,3%), myrcène (1 à 5,1%) et verbenone (0,1 à 4,7%) (tableau 7). Les facteurs de variations sont des facteurs directs comme l'origine géographique, le climat, la période et les conditions climatiques au moment de la récolte et l'âge végétatif des plantes. Des facteurs indirects interviennent aussi comme le conditionnement de la matière première avant la distillation, le séchage, la méthode d'extraction et d'analyse des huiles essentielles. Tous ces facteurs ont une influence sur la teneur des composés des huiles essentielles du romarin.

D'après cette analyse bibliographique, on constate que les variétés de *Rosmarinus officinalis* européennes contiennent des teneurs importantes en α -pinène et des teneurs relativement faibles en 1,8-cinéole par rapport aux variétés Nord-Africaines (tableau 8). Dans son aire de répartition, le romarin présente une grande variabilité de la composition chimique de l'huile essentielle. On parle alors de variétés chimiques ou *chémotypes* en regroupant les composés dominants et la localisation géographique :

- type 1,8 cinéole, localisé en Tunisie, Liban et Croatie.
- type 1,8 cinéole/camphre localisé au Maroc, Algérie, Espagne, Grèce et Inde.
- type myrcène au Portugal.
- type α - pinène/verbénone localisé en France et en Italie.
- type bornyle acétate localisé au Maroc, France et Italie.

2.2.3. Effets des méthodes de transformation et de conditionnement sur les HE de romarin

Le romarin est généralement commercialisé sous forme de feuilles sèches, HE, extraits liquides ou en poudre. Le mode de traitement peut induire des pertes partielles ou une modification des composants de la plante aromatique (Souza *et al.*, 2008 ; Mulinacci *et al.*, 2011). La stabilité de la composition chimique de l'huile essentielle dépend des conditions de stockage, de la procédure de séchage et de la méthode d'extraction :

- Le stockage. Le stockage peut modifier la teneur et la composition chimique des HE du romarin. Dans l'étude menée par Verma *et al.* (2011) pour observer l'évolution de la teneur et la composition des HE du romarin pendant le stockage post-récolte, ils ont constaté que la teneur en HE variait de manière non significative pour le romarin stocké sous forme de feuilles. En revanche, le romarin stocké sous forme de poudre, pendant neuf mois, a présenté une nette diminution de la teneur en HE (de 2,7% à 1,1%) et contenait des pourcentages plus élevés en monoterpénoïdes oxygénés par rapport à celui stocké sous forme de feuilles. Cette étude a suggéré que les feuilles de romarin soient stockées à l'ombre et conservées telles quelles pour préserver les composés volatiles.
- ✓ Le séchage. La déshydratation de différentes parties de la plante, réalisée à l'aide de différentes techniques, comme le séchage au soleil, à l'ombre à température ambiante, convectif, au four et au micro-ondes (Santos *et al.*, 2015), peut affecter la composition, l'activité biologique et l'arôme du romarin.

Le séchage du romarin frais implique des diminutions ou des modifications dans la couleur et les arômes de la plante de frais, légume, pin, herbacé, balsamique à d'autres comme foin, terreux, doux, boisé et infusion (Arslan & Musa Özcan, 2008 ; Szumny *et al.*, 2010). La plupart des auteurs recommandent l'utilisation du séchage par convection, en utilisant de l'air chaud, et par micro-ondes en raison de la teneur plus élevée en composés volatils, du rendement et de l'arôme.

- ✓ Techniques d'extraction. Plusieurs méthodes d'extraction sont utilisées pour récupérer les composés volatils et non volatils du romarin. Les techniques d'extraction courantes comprennent l'hydrodistillation, l'entraînement à la vapeur et l'extraction par solvants (Santos *et al.*, 2015). Les nouvelles techniques d'extraction sans solvant ou utilisant une très faible quantité de solvant ont un faible impact sur l'environnement. Ces procédés sont utilisés pour l'extraction des composés bioactifs du romarin, tels que, la méthode des fluides supercritiques, l'extraction avec un liquide pressurisé et l'extraction par ultrasons et par micro-ondes (Herrero *et al.*, 2010; Borrás Linares *et al.*, 2011; Jacotet-Navarro *et al.*, 2015).

Bousbia *et al.* (2009) ont signalé que des quantités plus élevées de composés oxygénés sont présentes dans les HE de romarin extraites par micro-ondes par rapport à l'hydrodistillation. En conséquence, l'HE obtenue avec la méthode micro-ondes possède un meilleur arôme et une activité antimicrobienne et anti-oxydante légèrement plus élevée.

2.3. Activités biologiques et applications actuelles et potentielles du romarin

Le romarin est une plante intéressante pour son contenu en composés bioactifs qui ont des avantages potentiels sur la santé humaine. Deux groupes de composés sont principalement responsables de ses activités biologiques : la fraction volatile et les constituants phénoliques (Santos *et al.*, 2015).

L'influence des polyphénols alimentaires sur la santé humaine et des composés volatils sur la qualité des aliments sont actuellement largement prouvés. En effet, il a été démontré que ces composés ont une influence positive sur la prévention de plusieurs maladies chroniques et prolongent la durée de conservation des aliments (Babovic *et al.*, 2010).

L'efficacité de l'HE de romarin en tant qu'agent antioxydant et antibactérien dépend du nombre et de la teneur en composés bioactifs (Ojeda-Sana *et al.*, 2013). On attribue aujourd'hui au romarin de nombreuses propriétés biologiques variées (Santos *et al.*, 2015) : activité antibactérienne et antifongique ; activité antioxydante ; effet anticancéreux ; effet anti-inflammatoire ; effet antidiabétique ; effet anti-ulcérogène ; effet antinociceptif ; antidépresseur ; effets antithrombotiques ; effet insecticide.

Les HE de plusieurs plantes aromatiques sont approuvées comme additif aux aliments car elles sont reconnues comme étant sans danger par la FDA (Food and Drug Administration). En outre, l'extrait de romarin a été reconnu comme antioxydant sûr et efficace pour la conservation des aliments, conformément aux directives de la Commission européenne 2010/69 / CE et 2010/67 / CE (Santos *et al.*, 2015).

Lorsqu'ils sont appliqués dans les aliments, l'HE de romarin ainsi que l'extrait de romarin peuvent être utilisés en tant qu'additifs alimentaires exerçant des fonctions antioxydantes et antimicrobiennes (Santos *et al.*, 2015). En effet, Olmedo *et al.* (2013) ont évalué l'effet des HE de romarin sur la stabilité à l'oxydation et à la fermentation du fromage aromatisé. En ce qui concerne les attributs sensoriels, l'indice d'intensité de l'arôme d'HE était plus élevé, mais aucune différence significative n'a été détectée entre les échantillons avec et sans l'HE. L'HE du romarin a empêché l'oxydation des lipides et a inhibé la fermentation du fromage. Par conséquent, l'HE de romarin a prolongé la durée de conservation de ce produit. Aussi, Smeti *et al.* (2013) ont étudié la stabilité de la couleur, l'oxydation des lipides et les propriétés sensorielles de la viande fraîche d'agneau à l'HE de romarin. La durée de conservation de la viande a été accrue grâce à l'utilisation de cette HE.

Actuellement, plusieurs brevets sur l'utilisation du romarin existent. Il fait partie des médicaments pour traiter les troubles liés à la neurotransmission réduite, des compositions

diététiques et pharmaceutiques (brevet européen 2081582 A1) et entre dans la fabrication d'emballage alimentaire (brevet européen 1477519-A1). Plusieurs dénominations commerciales sont disponibles pour les extraits de romarin. Extrait de romarin Guardian® (soluble dans l'huile), extrait de romarin 09 Guardian® (dispersable dans l'eau) et extrait de romarin Guardian® 11 (sous forme de poudre) pour des applications spécifiques directement ou en dilution dans la viande, l'huile et les céréales. Ces produits sont utilisés comme antioxydants et aromatisants. L'extrait de romarin Herbalox® est produit par Kalsec®. Il est disponible sous forme dispersable dans l'huile, dispersable dans l'eau et soluble dans l'eau. Ce produit est utilisé comme antioxydant et peut être appliqué dans la viande, les boissons et les huiles (Santos *et al.*, 2015).

De nos jours, le romarin suscite un vif intérêt chez les industriels, les chercheurs et les consommateurs, car il est considéré comme une bonne source en composés bioactifs ayant des effets bénéfiques pour la santé humaine. Par conséquent, sa consommation est encouragée et promue. En outre, le romarin peut contribuer à la conservation des aliments, à prévenir l'oxydation des lipides, à prolonger la durée de conservation et à réduire les risques de maladies d'origine alimentaire.

En tant que plante entière ou HE, le romarin a une vaste gamme d'applications dans les industries agro-alimentaires, l'industrie pharmaceutique, la parfumerie et la cosmétique. En un mot, cette ancienne plante aromatique a une applicabilité large et facile qui peut grandement profiter aux consommateurs, même indirectement.

CHAPITRE 3. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre le *Varroa destructor*, parasite d'*Apis mellifera*

3.1. Le Varroa, parasite redoutable des abeilles

Varroa destructor (Anderson et Trueman, 2000) est un acarien ectoparasite originaire de l'Asie de l'Est dont l'hôte naturel est *Apis cerana*. Au milieu du XX^{ème} siècle, il est passé sur un nouvel hôte, l'abeille domestique *Apis mellifera* (Anderson & Trueman, 2000). Cet acarien ne se nourrit pas de l'hémolymphe des nymphes et adultes d'abeilles comme on le pensait depuis plusieurs décennies. Le varroa digère et consomme extérieurement les tissus adipeux plutôt que le sang, provoquant des troubles physiologiques graves, y compris la réduction du poids à la naissance et la teneur du corps en eau, en protéines et en glucides (Bowen-Walker *et al.*, 1999 ; Ramsey *et al.*, 2019).

Le parasitisme répété par le varroa entraîne une baisse de la vigueur de la colonie, un raccourcissement de la durée de vie des abeilles et éventuellement le collapse des colonies (Rosenkranz *et al.*, 2010). En outre, ce parasitisme constitue un potentiel de transmission et de propagation de maladies et présente ainsi des menaces supplémentaires pour les colonies d'abeilles dans le monde (Bowen-Walker *et al.*, 1999 ;. Chen *et al.*, 2004).

3.1.1. Historique de la varoïse

Le varroa a été récolté pour la première fois par l'entomologiste Edward Jacobson sur des abeilles de l'espèce *Apis cerana* de l'île de Java. Le Dr. Oudemans, acarologue hollandais en a fait la première description en 1904 et lui a donné le nom de *Varroa jacobsoni* en hommage à son découvreur (Oudemans, 1904). *Varroa jacobsoni* est donc le parasite de l'abeille *Apis cerana* dont l'aire de répartition, principalement asiatique, était séparée de celle d'*Apis mellifera* par les zones désertiques d'Iran et d'Afghanistan à l'ouest et les régions sibériennes froides au nord. La relation hôte-parasite existante entre l'abeille *Apis cerana* et l'acarien est actuellement dans un état d'équilibre, si bien que *Varroa jacobsoni* ne constitue pas une menace pour *Apis cerana* (Donzé, 1995).

Le parasite a été observé en 1951 à Singapour (Gunther, 1951), en 1953 en URSS (Breguetova, 1953). Le passage de varroa de son hôte originel *Apis cerana* à son nouvel hôte *Apis mellifera* a sans doute eu lieu entre les années 1940 et 1950 (Grobov, 1976). L'importation de colonies d'abeilles de l'espèce *Apis mellifera* en Asie où elles n'étaient pas présentes, dans les années 1930, a donné l'occasion de passer sur cet hôte fraîchement arrivé (Donzé, 1995). La première observation de varroa dans le couvain d'*Apis mellifera* aurait eu

lieu en Corée dans les années 1950 (Topolska, 2001). Cette même observation a été réalisée en 1958 au Japon et en Chine (Ian Tsing-He, 1965 ; Topolska, 2001), en 1963 à Hong Kong et aux Philippines (Delfinado, 1963). En 1970, le parasite a été découvert dans des ruchers bulgares. Il s'agit probablement de la première description du parasite sur le continent européen (Grobov, 1976). En France, la première observation de colonies d'abeilles infestées par le varroa a été faite en 1982 (Colin *et al.*, 1983). En Tunisie, la varroase a été découverte en 1976. L'Algérie est déclarée infestée en 1981. En Espagne, la maladie a été dépistée pour la première fois en 1985. La varroase a été déclarée au Portugal en 1988. Récemment, en 2010, le varroa a fait son apparition au Madagascar.

Au Maroc, deux enquêtes pour le dépistage de la varroase ont été effectuées en 1981 et 1988 et ont concerné l'ensemble du territoire national et notamment les zones frontalières. Ces enquêtes n'ont pas révélé la présence du varroa et ce n'est qu'au mois d'août 1989 que la varroase a été déclarée pour la première fois dans la région du Loukkos (précisément le 18 Août 1989) après confirmation par les laboratoires d'Analyses Vétérinaires de Tanger et de Casablanca ainsi que par le département de parasitologie de I.A.V. Hassan II (Rabat). La maladie s'est ensuite propagée rapidement dans d'autres régions en dépit des mesures d'urgences qui ont été prises. Actuellement aucune région ne peut en être déclarée indemne.

Vu qu'au moment de la déclaration, l'infestation dans ces zones était faible, la possibilité de l'introduction de la varroase au Maroc par la voie naturelle (vol naturel d'essaims) est à écarter, d'autant plus que le stade le plus avancé de la varroase a été dépisté dans la province de Kénitra et de Larache (zones éloignées des frontières) (El Bouhamid, 1994).

En 2000, Anderson et Trueman dissocient l'acarien initialement *Varroa jacobsoni* en 2 espèces distinctes. Le nom de l'espèce qui regroupe les acariens infestant l'abeille domestique *Apis mellifera* est désormais *Varroa destructor*. De nos jours, de part le monde, peu de territoires sont épargnés par l'infestation des colonies d'*Apis mellifera* par le varroa (figure 9). Malgré quelques intrusions à Townsville, l'Australie est encore l'un des territoires déclarés indemnes de l'infestation grâce à la mise en œuvre de l'acte de 2014 sur la biosécurité et aux protocoles de quarantaine en cas d'introduction de colonies d'abeilles (Australian Government. Australian Quarantine and Inspection Service, 2019).

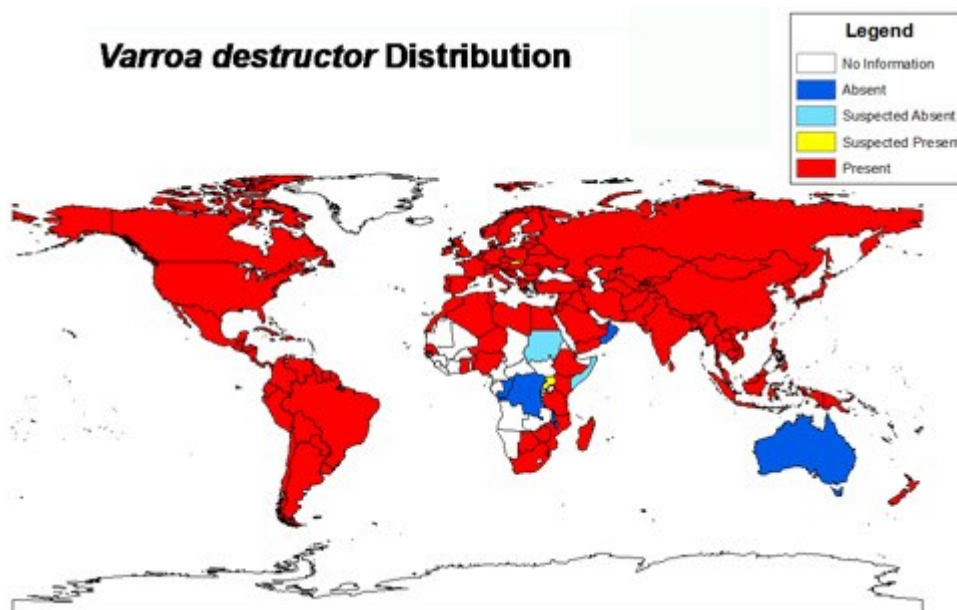


Figure 9. Répartition géographique de *Varroa destructor* (Ellis & Zettel Nalen, 2010 révisé en 2019)

3.1.2. Description du *Varroa destructor*

Varroa destructor Anderson & Trueman, 2000 est un acarien ectoparasite originaire de l'Asie de l'Est dont l'hôte naturel est *Apis cerana*. Il appartient à l'embranchement des *Arthropoda*, à l'ordre des *Mesostigmata*, à la famille des *Varroidae* et au genre *Varroa* (figure 10).



Figure 10. L'acarien *Varroa destructor*, observé sur une micrographie électronique à balayage (Stokstad, 2019)

Le cycle de développement du parasite se subdivise en deux phases immature et mature où le dimorphisme sexuel est facilement observable.

- ✓ La phase immature comprend trois stades (œuf, protonympe et deutonympe). Les œufs blancs, de consistance élastique, ayant une forme ovoïde et mesurent environ 300 µm de long et 230 µm de large (Wendling, 2012).

Le stade protonymphal est le premier stade mobile. Il montre quatre paires de pattes et le corps est clair et non sclérotisé. Le mâle a une forme ovoïde dont les dimensions sont de 500 à 590 µm et la femelle a une forme sphérique et mesure entre 530 et 750 µm (Wendling, 2012).

Au stade deutonymphal, la forme du corps de la femelle évolue vers une forme ovoïde, puis progressivement transversalement elliptique. La taille d'une deutonympe femelle de *Varroa destructor* varie entre 750 et 1000 µm de long et 800 et 1600 µm de large et celle du mâle est de 750 à 770 µm de long et 750 à 800 µm de large. Le mâle deutonympe est le plus souvent plus petit que la femelle. Son corps a une forme de poire (Wendling, 2012).

- ✓ La phase mature où le dimorphisme sexuel est facilement observable, le corps de la femelle adulte *V. destructor* est ellipsoïdal, déprimé dorso-ventralement (Anderson & Trueman, 2000). Alors que, le corps du mâle est jaune-verdâtre, presque sphérique (Ellis & Zettel Nalen, 2010). Ses membres sont longs et fins et son corps est peu sclérotisé excepté au niveau des membres. Les mâles adultes *V. destructor* sont incapables d'accéder à une source de nourriture par leurs propres moyens. Ils sont par ailleurs très sensibles à la déshydratation. De ce fait, ils meurent peu de temps après l'émergence de la jeune abeille adulte parasitée (Moritz & Jordan, 1992).

3.1.3. Ontogenèse du *Varroa destructor* et son impact sur *Apis mellifera*

Le cycle de vie de *V. destructor* est étroitement calé sur celui d'*Apis mellifera*. On distingue deux phases distinctes dans son cycle de vie :

- ✓ Une phase phorétique sur l'abeille adulte. L'acarien, habituellement cachée sous les sternites, prélève des quantités importantes de matière grasse de l'abeille pour se nourrir. La femelle fondatrice est la seule forme de résistance présente sur les abeilles pendant la période d'hivernage. Elle se fixe sur l'abeille adulte pour être transportée à proximité d'une alvéole susceptible d'être infestée. En sortie d'hivernage, les femelles envahissent les alvéoles de couvain ouvertes (figure 11) attirées par des substances volatiles provenant

des larves d'abeilles, avec une certaine préférence pour les cellules de couvain de faux-bourdon à celles des ouvrières (Calderone & Kuenen, 2001 ; Pernal *et al.*, 2005 ; Noireterre, 2011 ; Ramsey *et al.*, 2019).

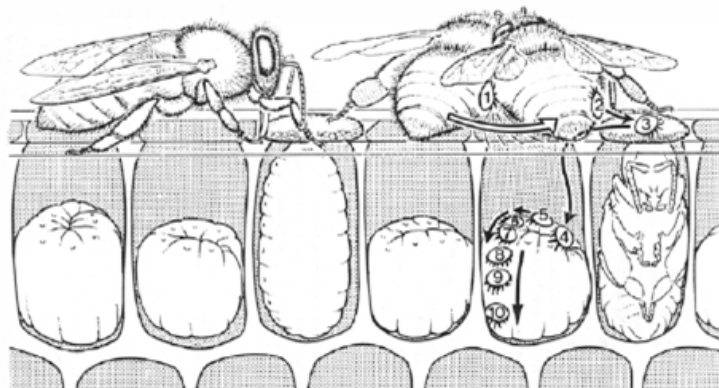


Figure 11. Processus d'entrée de la fondatrice *V. destructor* dans la cellule de couvain (Vandame, 1996)

- ✓ Une phase de reproduction dans les alvéoles du couvain. La femelle fondatrice entre dans une cellule de couvain d'ouvrière ou de faux-bourdon au stade larvaire juste avant l'operculation. Le premier œuf, qui sera généralement un mâle haploïde, est pondu 60 à 70 heures après l'operculation de l'alvéole. Le nombre d'œufs pondus par la femelle fondatrice est de 5 à 6 dans un couvain d'ouvrière et de 6 à 7 œufs dans un couvain de faux-bourdon (1 mâle et le reste des femelles) (Martin, 1995). Le temps nécessaire pour qu'un *V. destructor* passe du stade œuf au stade adulte est d'environ 134 heures pour les femelles et de 144 heures pour les mâles (Martin, 1994). Le mâle atteint l'âge adulte une vingtaine d'heures avant les premières femelles (Lobb & Martin, 1997). La fécondation de la femelle s'effectue une seule fois au cours de sa vie néanmoins plusieurs accouplements sont nécessaires pour obtenir une fécondation efficace. Le premier mâle va s'accoupler avec ses sœurs dans la cellule sous l'opercule. Les femelles vont remplir leur spermathèque puis elles ne s'accoupleront plus. À l'émergence de la jeune abeille, les jeunes varroas et la femelle fondatrice quittent la cellule transportés par l'abeille. Les femelles adultes ont une espérance de vie de 2,5 à 3,5 mois pendant l'été. Alors que les femelles encore immatures au moment de l'émergence, ainsi que les mâles sont voués à mourir rapidement (Martin, 1994).

En résumé, le cycle de développement de ce parasite se déroule donc essentiellement dans le couvain et dure environ huit jours. L'infestation globale par le parasite augmente au cours de l'année dès qu'il y a présence de couvain dans la ruche, et donc possibilité pour les femelles fondatrices pour se reproduire (Martin, 1998). Les femelles, étant très mobiles, vont alors

parasiter d'autres abeilles. Généralement, la propagation du varroa, de ruche en ruche, est associée au comportement de dérive et de pillage des abeilles. Aussi, la transhumance jouerait également un rôle important dans sa dispersion (Ramzi *et al.*, 2017).

Noireterre (2011) a proposé un modèle mathématique, validé par de nombreuses études sur le terrain, qui permet d'évaluer la croissance de la population du parasite au cours de l'année. Elle est pratiquement exponentielle et il considère qu'elle augmente d'un facteur de 0,021 par jour lorsque la colonie élève du couvain (figure 12).

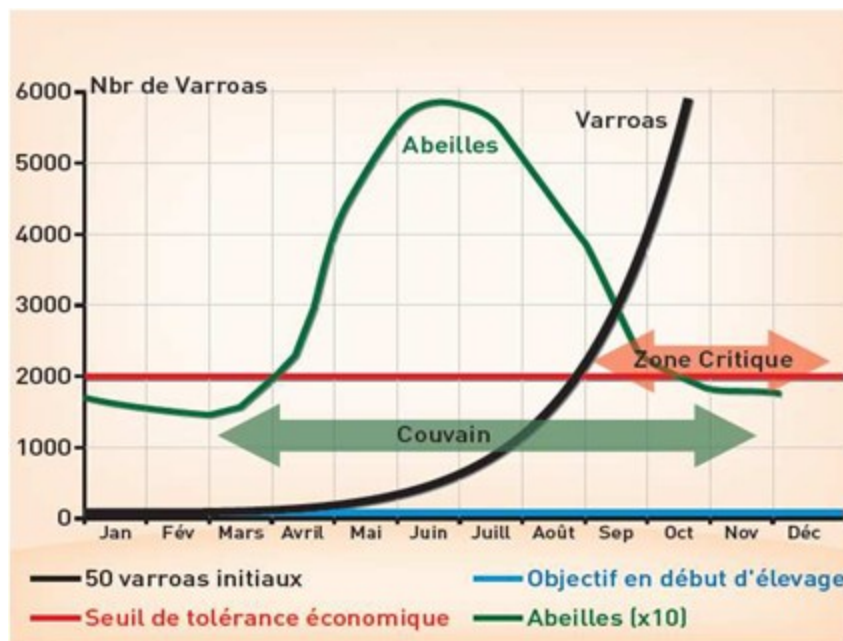


Figure 12. Modélisation de la dynamique de population de *Varroa destructor* au cours d'une année (Noireterre, 2011)

Selon ce modèle, une colonie parasitée par 50 varroas à la sortie d'hivernage, connaîtra 1100 varroas en juin et 2000 varroas avant la fin du mois d'août, moment où la population d'abeilles décline. Il en résulte une pression parasitaire maximale sur la colonie, le couvain est alors fortement parasité. On parle de période critique. Les abeilles d'hiver seront nettement affaiblies et la colonie risque de s'effondrer brutalement à la fin de l'hiver car elle ne sera pas capable d'élever la nouvelle génération (Noireterre, 2011).

Les femelles adultes percent la cuticule de l'abeille, afin de pouvoir accéder à son tissu adipeux. La nutrition quotidienne de l'acarien entraîne alors une baisse de la quantité globale des protéines dans l'hémolymphe. Chez les nymphes d'ouvrières, elle s'élève à 27 % lors d'une infestation unique et à 50 % lors d'une infestation double (Amdam *et al.*, 2004 ; Ramsey *et al.*, 2019). En effet, une perte de poids de 10 à 18% est observée chez les abeilles adultes en fonction du nombre de parasites portés par l'individu (Kotwal & Abrol, 2009).

Son impact sur les jeunes abeilles est plus important. Environ 8,5 % des ouvrières parasitées à divers degrés émergent avec des déformations morphologiques externes comme des ailes atrophiées et un raccourcissement du corps. Alors que, seulement 1,8 % des ouvrières non parasitées émergent avec des déformations morphologiques externes (Bowen-Walker & Gunn, 2001). Ce parasitisme réduit l'espérance de vie des abeilles, provoque l'altération de leurs fonctions cérébrales et influe ainsi sur leurs comportements de vol, d'orientation et de succès de retour à la ruche pour les butineuses. Il provoque la diminution du potentiel reproducteur des faux-bourdons. Mais, surtout le varroa est un vecteur de virus, de champignons et de bactéries pathogènes (Alippi *et al.*, 1995 ; Ball 1997 ; Tentcheva *et al.*, 2004).

Au niveau de la colonie, l'expression de la varroase se traduit par la présence d'abeilles traînantes au sol, certaines ont les ailes écartées, déformées ou asymétriques, le corps peut être noir dépourvu de poils. Le couvain est en mosaïque et paraît irrégulier, les réserves en miel et en pollen deviennent disproportionnelles par rapport à la force de la colonie. Les colonies deviennent alors plus sensibles aux surinfections (teignes, loques,...). Les colonies symptomatiques évoluent vers la mort, le plus souvent en hiver (Rosenkranz *et al.*, 2010, Noireterre, 2011).

3.2. Méthodes de lutte et utilisation des huiles essentielles contre le *Varroa*

Dans la quête de moyens de lutte contre ce fléau, plusieurs méthodes ont été développées depuis sa propagation à travers le monde. Jusqu'à nos jours, toutes les techniques utilisées sont restées relativement limitées, notamment à cause de sa capacité d'adaptation, de développement de la résistance aux pesticides et du dynamisme de sa propagation d'un rucher à un autre. Donc dans l'impossibilité de l'éradiquer totalement, des moyens de contrôle ont été développés pour permettre aux colonies d'abeilles de coexister avec une infestation du varroa minimale et supportable par la colonie (Delaplane *et al.*, 2005).

Plusieurs auteurs s'accordent à considérer qu'à partir du moment où le taux d'infestation atteint 2000 parasites, le risque d'effondrement de la colonie est important. Ce taux est nommé seuil de tolérance ou seuil de dommage économique (Imdorf *et al.*, 1999 ; Noireterre, 2011). Les traitements utilisés pour réduire la population de varroa se font en fin d'été (août et septembre) dès la dernière récolte de miel, leurs buts étant de réduire au maximum l'infestation du couvain, afin d'obtenir un développement normal des abeilles destinées à passer l'hiver et de permettre à la colonie de redémarrer correctement au printemps suivant. L'objectif est donc d'obtenir une population de moins de 50 varroas à l'intérieur des ruches.

Cet objectif peut être atteint si moins d'une chute naturelle d'acarien par jour est observée quotidiennement à l'issue de la période d'efficacité du traitement de fin d'été (Imdorf *et al.*, 1999 ; The Food and Environment Research Agency, 2017).

Dans la quête de moyens de contrôle, plusieurs méthodes de lutte ont été mises en place si le niveau d'infestation par *V. destructor* dépasse les seuils critiques. Ce sont des moyens de lutte technologique et biologique, utilisés le plus souvent en début de la saison apicole, ou des traitements pesticides réalisés pendant la période apicole (mars à août).

3.2.1. Les moyens de lutte technologique et biologique

Ces méthodes de luttent présentent l'avantage de permettre à la colonie de développer une résistance graduelle au varroa :

- ✓ Le piégeage. Le varroa préfère pondre dans les cellules de faux-bourdons. Dans ce sens, des techniques de piégeage ont été développées. Ces méthodes de lutte visent à concentrer les acariens sur un seul cadre de la ruche pour ensuite l'éliminer. Il est donc possible de les piéger en fournissant un cadre de cellules à faux-bourdons. Lorsque ce dernier est operculé, il est retiré et la cire fondue ou brûlée (Hanley & Duval, 1995). D'autres méthodes consistent en l'application de l'extrait de larves de faux-bourdons, ou l'introduction des jeunes larves d'abeilles dans les colonies au moment où il n'y en a pas, pour attirer les acariens sur le cadre qui sera éliminé.
- ✓ La chaleur. Le varroa est aussi très sensible à la chaleur. Des expériences réalisées en Louisiane par John Harbo du Département Américain de l'Agriculture ont démontré qu'une température de 39°C pendant 48 heures décimait les acariens de l'abeille. Cependant, cette méthode est coûteuse et brutale pour les abeilles (Hanley & Duval, 1995).
- ✓ Les produits antiadhésifs. Certains chercheurs et apiculteurs ont pensé à l'utilisation de produits antiadhésifs pour empêcher l'acarien d'adhérer au corps de l'abeille, et donc de se propager d'un cadre à un autre. Des apiculteurs de l'Inde saupoudrent les abeilles de 10 à 15 grammes de farine de blé dès l'apparition du varroa et répètent ce traitement trois fois à une semaine d'intervalle. Cette méthode ne pose de problème ni aux abeilles, ni au miel (Shah & Shah, 1988). Selon le même principe, Sammataro (1994) conseille de placer une galette faite d'un mélange de 150g de farine végétale et 300g de sucre en poudre sur les barres du haut de la ruche où se trouve un couvain. Les abeilles pensent qu'il s'agit de déchets et petit à petit vont l'évacuer de la ruche. Pendant ce temps, la farine empêche les acariens de s'accrocher aux abeilles.

- ✓ L'électricité. En ex-URSS, un chercheur a mis au point une méthode de lutte efficace à 100% contre les varroas accrochés aux abeilles en utilisant une plaque métallique percée de trous tout juste assez grands pour laisser passer les abeilles et qui est placée à l'entrée de la ruche. Le bord de chaque trou est frangé de façon à créer une espèce de brosse. La plaque est trempée dans un électrolyte. Lorsqu'un courant de 12 volts passe par la plaque, les varroas qui sont attachés aux abeilles sont paralysés et tombent tandis que les abeilles ne sont pas affectées (Egin, 1988).
- ✓ La sélection génétique. D'autres auteurs ont pensé à la sélection d'abeilles tolérantes au varroa. Les lignées sélectionnées ont présenté des différences significatives dans toutes les générations. Cette sélection a montré que cette caractéristique était héritable et additive (De Guzman *et al.*, 1997).

Alors que, peu de recherches sur le contrôle biologique du varroa ont été réalisées. L'utilisation de toxines de *Bacillus thuringiensis* et de virus a été envisagée mais aucune application pratique n'a été prévue à court terme. Des isolats de champignons (*Verticillium lecanii*, *Hirsutella spp.*, *Paecilomyces spp.*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium spp.*, *Tolyposcladium spp.*) testés expérimentalement ont permis d'infecter et de tuer le varroa (Kanga *et al.*, 2002).

3.2.2. Les moyens de lutte chimique

Depuis plusieurs années, les pyréthrinoïdes et les organophosphorés ont été appliqués pour contrôler *V. destructor*. Pourtant, à plusieurs reprises, leur utilisation excessive a conduit à la contamination des produits de la ruche ainsi que le développement de la résistance par la population d'acariens (Trouiller & Moosbeckhofer, 1997 ; Milani, 1999 ; Wallner 1999 ; Gracia-Salinas *et al.*, 2006).

Les acides organiques sont un moyen de lutte plus sûr pour contrôler le varroa. Beaucoup d'entre eux sont répandus dans la nature et certains comme l'acide formique se produisent naturellement dans le miel et ne laissent pas de résidus toxiques (Imdorf *et al.*, 2003). L'effet acaricide essentiel des acides organiques est d'abaisser le pH dans la ruche, un phénomène toléré par les abeilles, mais au détriment des acariens (Wallner, 2003). Certains sont efficaces sur les varroas qui infestent le couvain et d'autres ne le sont pas. L'acide oxalique, par exemple, n'est pas efficace contre les acariens qui infestent le couvain, et n'est donc utilisé que chez les colonies sans couvain, comme ceux qui se produisent en novembre. L'acide formique, est efficace aussi bien contre les varroas qui infestent le couvain que ceux phorétiques. Ces acides sont utilisés pour réduire les populations d'acariens à un niveau qui

permet à la colonie de se développer, mais des traitements annuels sont nécessaires pour limiter l'infestation. Cependant, aucun acide organique ne s'est révélé être à 100% efficace pour éradiquer ce fléau.

Le Hort. Research Client Report No. 2001/249 présente une revue complète des produits acaricides utilisés contre le varroa ainsi que leur principe actif (tableau 9).

Tableau 9. Liste de produits ayant montré une efficacité significative contre le varroa (Konko, 2014)

| Nom commercial du produit | Molécule active (en anglais) | Classe chimique (en anglais) |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Apistan | Fluvalinate | Synthétic pyrethroid |
| Apitol | Cymiazol | Iminophenyl thiazolidine derivative |
| Apivar | Amitraz | Amadine |
| Bayvarol | Flumethrin | Synthetic pyrethroid |
| Check-Mite+, Perizin | Coumaphos | Organophosphate |
| Folbex | Bromopropylate | Chlorinated hydrocarbon |
| Generic | Formic acid | Organic acid |
| Generic | Lactic acid | Organic acid |
| Generic | Oxalic acid | Organic acid |
| Apiguard | Thymol | Essential oil |
| Apilife VAR | Thymol, eucalyptol, menthol, camphor | Essential oil |

En France, afin de minimiser la charge parasitaire, cinq produits disposant d'autorisation de mise sur le marché pour la varroise des abeilles sont actuellement disponibles : l'*Apistan*, l'*Apivar*, l'*Apiguard*, le *Thymovar* et l'*Apilife Var*. Au Maroc, les produits proposés par l'ONSSA pour la lutte contre le varroa sont : l'*Apiguard*, l'*Apistan*, l'*Apitol*, le Fumidil B., l'*Apilife Var*, le Bayvarol et le Perizin.

Parmi ces produits, Certains ont montrés des problèmes de résistance et d'inefficacité vis-à-vis du varroa infestant le couvain, comme le *Coumafos* (Autriche, Belgique, Chypre, Allemagne, Grèce, Hongrie, Italie, Portugal, Roumanie, Slovénie, Bulgarie), l'*Acrinathine* (République Tchèque, Lituanie) et la *Fluméthrine* (pyréthriinoïde) (Estonie, Allemagne, Grèce, Hongrie, Irlande, Lettonie, Lituanie, Malte, Pologne, Portugal, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Espagne, Royaume-Uni, Bulgarie) (Elzen et *al.*, 2000). L'*Amitraze*, considérée comme la plus efficace contre le varroa, n'est plus autorisée dans plusieurs pays européens suite à la directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

3.2.3. Les HE, un moyen de lutte plus sûr contre le varroa

Afin de minimiser les problèmes environnementaux et de santé liés à l'application de certains produits synthétiques dans les ruches, plusieurs études ont été menées dans le monde pour tester les substances naturelles dans la lutte contre le varroa. Les pesticides naturels à base d'HE constituent des moyens alternatifs pour repousser et contrôler différents types d'insectes, en particulier ceux liés à la production alimentaire. En ce sens, le contrôle du *Varroa destructor* par ces substances naturelles est primordial, au moins pour garantir que le miel, produit principal de la ruche, reste un produit naturel sans contaminant. En effet, Les HE de plus d'une centaine de plantes et leurs composants majoritaires ont été testés pour le contrôle de ce parasite. Leur toxicité, leur effet répulsif ou effet attractif envers l'acarien ont été évalués. La plupart de ces HE étant administrées localement, appliquées en pulvérisation ou sous forme d'évaporation passive, ont présenté des résultats satisfaisants et différents (Colin, 1990 ; Péguin, 1991 ; Calderone *et al.*, 1997 ; Imdorf, 1999 ; Lindberg, 2000 ; Ruffinengo *et al.*, 2007 ; Ramzi *et al.*, 2017).

Les produits acaricides à base d'HE forment une classe de biopesticides intéressante, puisqu'ils sont constitués d'un nombre important de molécules variées à mécanismes d'action multiples. Par opposition aux pesticides n'ayant qu'un seul principe actif, les HE mettent en action simultanément plusieurs mécanismes biochimiques, et de ce fait l'apparition de populations résistantes d'insectes se retrouve retardée (Chiasson & Beloin, 2007).

Les HE ont des modes d'application variés (fumigation, répulsion, contact). Elles peuvent tuer l'acarien par contact ou par ingestion. Dans le premier cas, les abeilles, en s'imprégnant d'HE, elles la dispersent dans la ruche. Alors que dans le second cas, l'HE est mélangée à un sirop liquide de nourrissage, les abeilles nourricières s'en alimentent et la nourrissent aux larves. Les HE peuvent induire une toxicité fumigante et topique, ainsi que des effets antifédants ou répulsifs. Elles peuvent également inhiber la reproduction de l'acarien, et peuvent stimuler le comportement de toilettage de l'abeille domestique (Bakkali *et al.*, 2008 ; Regnault-Roger *et al.*, 2012).

Plusieurs auteurs recommandent l'utilisation des HE pour la lutte contre le varroa : Péguin (1991) a proposé un traitement à base de mélange d'HE de thym de sarriette, de lavande et de genévrier ; les HE de lavande et de laurier par Neira *et al.* (2004) en Chili ; l'HE de Neem par Qayyoun *et al.* (2013) au Pakistan ; les HE de bigaradier, de citronnelle, de thym "*Thymus vulgaris*", de cannelle et d'anis par Abd El-Wahab & Ebada (2006) et Abd El-Wahab *et al.* (2012) en Egypte. Le *Thymus satureioides* et l'*Origanum elongatum* par Ramzi *et al.* (2017) au Maroc, etc.

Toutefois, la plupart de ces HE et leurs composés testés au laboratoire n'ont pas été largement utilisés pour le développement de bio-acaricides, à l'exception de certaines formulations commerciales. Ceci pourrait être attribué à la variabilité des résultats des recherches, leur forte volatilité et le manque de systèmes d'administrations efficaces pour libérer les HE de façon continue à une dose constante pendant une période prolongée, quelles que soient les conditions environnementales, est une étape importante pour les utiliser directement dans les ruches (Maggi *et al.*, 2010 ; Sabahi *et al.*, 2017).

Les terpènes, principalement l'eucalyptol, le camphre, le menthol et le thymol, sont considérés comme des principes actifs ayant des propriétés acaricides (Chiesa, 1991 ; Imdorf *et al.*, 1995 ; Higes *et al.*, 1997 ; Abou Elenain *et al.*, 2014). En outre, parmi ces principes actifs, le thymol semble engendrer le meilleur résultat. Le thymol pur a été couramment testé et a montré que les taux de mortalité des acariens se situaient entre 54 et 98%. Cette molécule a connu un important succès dans les produits commerciaux (Floris *et al.*, 2004 ; Higes *et al.*, 2004 ; Adamczyk *et al.*, 2005) :

- *Apitimol* (thymol micro-encapsulé),
- *Thymovar* (plaquettes d'éponge en tissu, qui contiennent 15 g de thymol),
- *Apiguard* (bandelette gélatineuse),
- *Apilife Var* (principal ingrédient actif est le thymol bien qu'il soit réellement un mélange de thymol, d'eucalyptol, de menthol et de camphre).

Toutefois, Bonafos *et al.* (2011) ont démontré que le varroa développait une résistance lors d'un traitement infructueux au thymol. Alors que, des formulations avec d'autres ingrédients actifs (eucalyptol, menthol et camphre) ont montré de bons résultats contre le varroa dans différents pays et zones climatiques (Floris *et al.*, 2004). Après traitement (*Apilife VAR*), ses résidus dans le miel sont nettement inférieurs à la limite recommandée et, de plus, ces composés diminuent rapidement en raison de leur volatilité. Ainsi, il ne peut y avoir de risque de sécurité alimentaire pour le consommateur, mais le goût du miel peut changer (Adamczyk *et al.*, 2005; Serra Bonvehí *et al.*, 2016). Pour réduire la probabilité de résistance après des traitements répétés, certains auteurs ont suggéré des stratégies de contrôle basées sur la rotation de molécules acaricides et de techniques de contrôle biotechnologiques intégrées (Rosenkranz *et al.*, 2010).

Le contrôle des populations de *V. destructor* dans les colonies d'abeilles nécessite que les traitements montrent une activité acaricide acceptable sans effet secondaire sur les abeilles. En général, les HE sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus interférant avec les transmetteurs octopaminergiques des Arthropodes. Aussi, les HE agissent directement sur la

cuticule des Arthropodes à corps mous et sont ainsi plus efficaces sur ce genre d'Arthropodes (Isman, 2000). À ce titre, les larves d'abeilles pourraient se montrer plus sensibles aux HE.

Par ailleurs, le thymol, le phénol le plus largement utilisé dans l'apiculture, présente une activité acaricide élevée qui est bien tolérée par les abeilles (Imdorf *et al.*, 1999). Les HE de lavande, de lavandin et de laurier ont été testées aussi bien sur le varroa que les abeilles. Il s'en est avéré qu'elles ont causé la mortalité des acariens sans effets nocifs graves sur les abeilles adultes (Damiani *et al.*, 2009). De même, le pourcentage de mortalité maximum enregistré lors de l'application de différents monoterpénoïdes (thymol, 1,8-cinéole, bornéol, camphre, carvacrol, carvone, carveol, chlorothymol, citronelol, eugenol et menthol) testés sur les abeilles à 100 ppm, variait entre 0 et 8,33% après 48 heures (El Zemity *et al.*, 2006).

Des effets létaux et sublétaux des HE et leurs composantes sur les abeilles ont également été rapportés par différents chercheurs. Imdorf *et al.*, (1995) ont rapporté un effet toxique du 1,8-cinéole pure à une concentration 240 µg/L avec 25% de mortalité d'abeilles. La toxicité du 1,8-cinéole pour les abeilles et les acariens serait proche (Imdorf *et al.*, 1995 ; Higes *et al.*, 1997 ; Ruffinengo *et al.*, 2007). Alors que, lors d'essais en laboratoire, l'HE de *R. officinalis* contenant du β-myrcène et du 1,8-cinéole ou contenant également du camphre en tant que composé principal entraînait une mortalité élevée des acariens sans toxicité apparente pour les abeilles domestiques (Maggi *et al.*, 2011). Ces résultats sont en accord avec les conclusions d'Islam *et al.* (2016) au Pakistan qui ont enregistré la mortalité la plus élevée chez les varroas (80%) à la concentration la plus élevée (100%) d'HE de romarin à un taux d'application de 5 ml, sans aucune mortalité anormale d'abeilles mellifères. En effet, les composants principaux des HE possèdent différents modes d'action et dans un mélange, leurs toxicités dépendent de leur concentration et de leur compatibilité pour être combinés avec d'autres composants majeurs (Bakkali *et al.*, 2008).

Les conditions optimales dans lesquelles les HE donneront un contrôle fiable et efficace doivent être bien étudiées et déterminées. De plus, les essais sur le terrain visant à évaluer les HE comme acaricides dans les ruches montrent toujours une grande variabilité dans les activités acaricides selon les études, les saisons et les localités (Calderone & Spivak 1995 ; Calderone *et al.*, 1997; Imdorf *et al.*, 1999; Emsen & Dodologlu 2009 ; Sabahi *et al.*, 2017). D'autres facteurs contribuent également à l'efficacité globale d'une HE, notamment la composition et la concentration des principaux composés impliqués, la période de traitement et l'environnement de la colonie et du rucher. Gracia *et al.* (2017) ont rapporté que l'efficacité de certains composants dépend de la pression d'évaporation dans la colonie; c'est pourquoi la

saison ou la température et l'humidité ambiantes au cours de l'application du traitement sont essentielles pour lutter contre le varroa.

Les chercheurs considèrent que les traitements à base des HE peuvent être considérés comme de bonnes alternatives aux acaricides synthétiques, parce qu'ils ne représentent pas un risque sanitaire même si elles imprègnent les produits apicoles. Il a été démontré que des traitements répétitifs en dehors de la période de miellée n'augmentent pas les résidus dans le miel et reste sous le seuil de détection gustative qui se situe entre 1,1 et 1,6 mg/kg (Imdorf *et al.*, 1999 ; Adamczyk *et al.*, 2005).

PARTIE II - MATERIEL ET METHODES

1. Introduction sur les principes d'expérimentation

Une expérience bien conçue est importante car les résultats et les conclusions pouvant être tirés d'elle dépendent dans une large mesure de la manière dont les données ont été collectées. Pour qu'une expérience soit réalisée de la manière la plus efficace, une approche scientifique de sa planification est primordiale. De ce fait, la conception statistique des expériences fait référence au processus de leur planification afin que des données appropriées soient collectées et analysées par des méthodes statistiques, aboutissant à des conclusions valides et objectives. Lorsque le problème concerne des données sujettes à des erreurs expérimentales, les méthodes statistiques constituent la seule approche objective de l'analyse. Ainsi, tout problème expérimental présente deux aspects, la conception de l'expérience et l'analyse statistique des données.

Les trois principes de base du modèle expérimental sont la randomisation, la répétition et le contrôle local auxquels on ajoute parfois le principe factoriel. Par randomisation, nous entendons que l'attribution du matériel expérimental et l'ordre dans lequel les analyses individuelles doivent être effectuées sont déterminés de manière aléatoire. Les méthodes statistiques exigent que les observations soient des variables aléatoires distribuées indépendamment. La randomisation rend généralement cette hypothèse valide et garantit l'objectivité. Par réplication, nous entendons un cycle de répétition indépendant de chaque combinaison de facteurs. La répétition a deux propriétés importantes : premièrement, cela permet à l'expérimentateur d'obtenir une estimation de l'erreur expérimentale. Cette estimation de l'erreur devient une unité de mesure de base pour déterminer si les différences observées dans les données sont réellement différentes sur le plan statistique. Deuxièmement, si la moyenne de l'échantillon est utilisée pour estimer la réponse moyenne réelle pour l'un des niveaux de facteur de l'expérience, la répétition permet à l'expérimentateur d'obtenir une estimation plus précise de ce paramètre.

Le principe du contrôle local est une technique de conception utilisée pour améliorer la précision des comparaisons entre les facteurs d'intérêt. Souvent, la compartimentation par bloc est utilisée pour réduire ou éliminer la variabilité transmise par des facteurs de nuisance, c'est-à-dire des facteurs susceptibles d'influencer la réponse expérimentale mais qui ne nous intéressent pas directement. Généralement, un bloc est un ensemble de conditions expérimentales relativement homogènes, car la variabilité au sein du bloc devrait être inférieure à la variabilité entre blocs. Typiquement, chaque niveau du facteur de nuisance

devient un bloc. Ensuite, l'expérimentateur divise les observations de la conception statistique en groupes exécutés dans chaque bloc.

Pour utiliser l'approche statistique lors de la conception et de l'analyse d'une expérience, il est nécessaire que toutes les personnes impliquées dans l'expérience aient une idée précise de ce qui doit être étudié, de la manière dont les données doivent être collectées et, au minimum, d'une compréhension qualitative de la manière dont ces données doivent être analysées.

2. Etude de l'effet des méthodes de coupes sur la régénération des touffes de *R. officinalis* dans la forêt de Debdou (région de l'Oriental)

Au Maroc, la production des PAM repose essentiellement sur la récolte à partir des plantes spontanées. Annuellement, des superficies importantes de nappes de romarin sont soumises à une exploitation minière pour satisfaire la forte demande des grandes firmes internationales. Ces peuplements sont actuellement surexploités par le biais de la cueillette, qui reste le mode de récolte le plus répandu. Aussi, le niveau et la fréquence de coupes pratiqués se font dans un cadre non maîtrisé, limitent la régénération et contribuent à la dégradation et la réduction d'importantes superficies de cette ressource naturelle, ce qui menace sa pérennité. Ce sont des formations végétales fragiles, en plus de leur rareté par rapport à une pression anthropique en constante augmentation et leur tendance plus au moins rapide à la dégradation, affectent de plus en plus l'environnement, la qualité de vie des populations et porte préjudice au processus de développement économique et social dans la région de l'Oriental (Zrira *et al.* 1997 ; Benjilali & Zrira, 2005 ; PNUD, 2012).

L'objectif principal de cette étude est la détermination des bonnes pratiques de récolte qui permettent une exploitation durable et une meilleure régénération de cette ressource naturelle renouvelable à caractère multi-usage (HE, apiculture, parcours, bois de feu, etc.). Pour cela, différentes méthodes de coupe et périodes de récolte ont été testées, dans la région de l'Oriental au Maroc (forêt de Debdou), pour évaluer la productivité et la régénération des touffes de romarin.

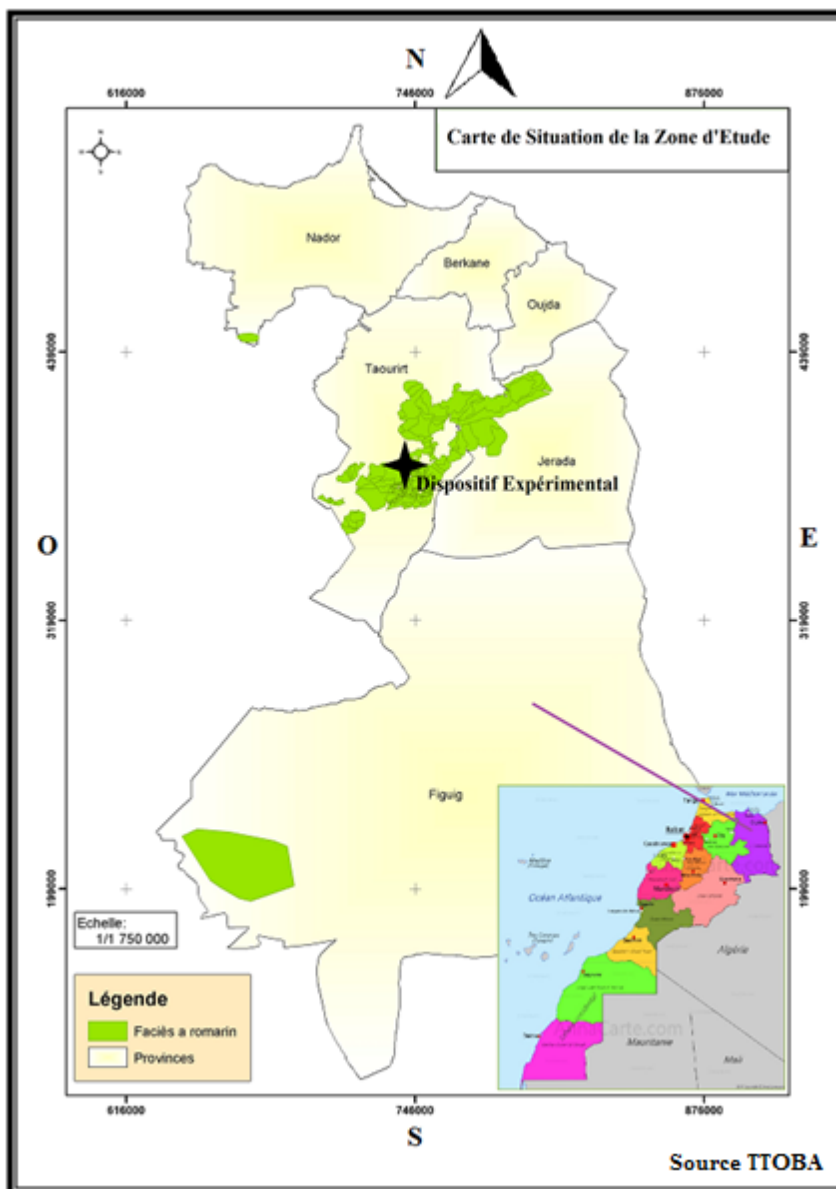
2.1. Présentation de la zone d'étude

Les parcelles d'essais sur les techniques d'exploitation de romarin ont été installées dans la forêt de Debdou en partenariat avec la Direction Régionale des Eaux et Forêts de l'Oriental. L'expérimentation a été conduite à l'intérieur d'une parcelle de reboisement mise en défens. De ce fait, les nappes de romarin étudiées n'ont pas été exploitées au moins quelques années avant et ont été aussi protégées contre le parcours. Les parcelles expérimentales ont été

installées entre les coordonnées 34.0608 à 34.0630 N et 2.9672 à 2.9690 W et à une altitude comprise entre 810 et 865m sur les versants où il y a des nappes importantes de romarin (figure 13).

Le site expérimental est caractérisé par un bioclimat aride à hiver frais présentant une période de sécheresse d'environ 5 mois pouvant s'étaler de mi-mai jusqu'à mi-octobre. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 383 mm caractérisées par un régime pluviométrique saisonnier de type printemps, hiver, automne, été (PHAE) (DREFO, 2019).

Figure 13. Cartographie des faciès de romarin dans la région de l'Oriental et emplacement du site expérimental sur les techniques d'exploitation



La zone d'étude est soumise aux différentes influences aussi bien maritimes que sahariennes. Les températures minimales mensuelles fluctuent entre 2,2°C en janvier à 16,8°C en juillet. Alors que, la moyenne des maxima mensuels varie entre 13,3 °C en janvier et 34,3 °C en juillet. En été, les vents chauds et secs (chergui), d'origine continentale, font nettement augmenter les températures maximales. En hiver, les vents du Nord-Ouest (Gharbi)

accentuent la gelée et apporte les perturbations océaniques. Les vents d'ouest qui proviennent de l'atlantique, sont principalement humides et pluvieux. Ils sont bénéfiques pour la croissance du romarin en hiver et en automne (DREFO, 2019).

Les formations végétales se présentent sous forme de matorrals arborés parsemés de thuya et de genévrier oxycède (figure 14). Elles font partie de l'association *Rosmarino officinalis-Tetraclinetum articulatae*. Leur cortège floristique est représenté principalement par le romarin, le thuya, le genévrier oxycède, l'oléastre, le teucrium (*T. polium*), le thym (*T. ciliatus*), ainsi que par l'alfa (*Stipa tenanissima*).

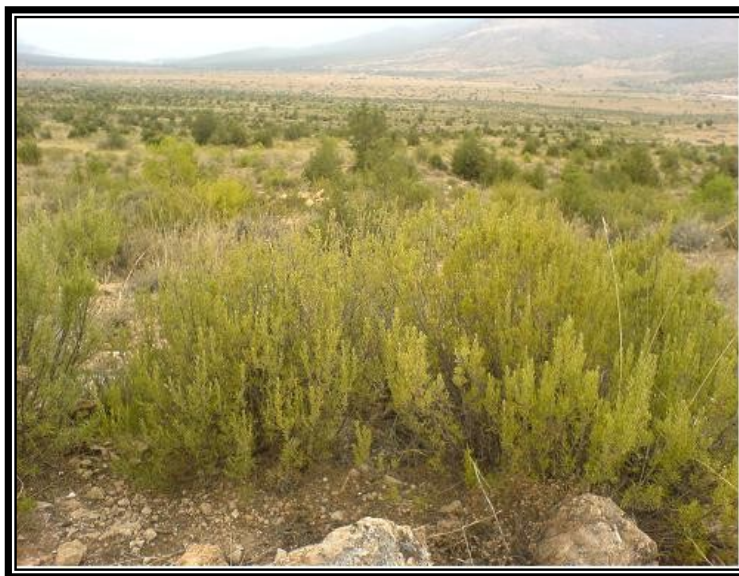


Figure 14. Faciès à romarin dans la zone d'étude

2.2. Dispositif expérimental

Pour l'étude des techniques d'exploitation du romarin, un dispositif expérimental en parcelles divisées (type Split-plot) a été utilisé. Ce type de dispositif convient très bien pour notre expérience dans laquelle nous avons deux facteurs principaux à étudier : la période de récolte et la méthode de coupe. Ce type de dispositif facilite le repérage des unités expérimentales sur le terrain, surtout que lors d'essais de prospection précédents, les piquets destinés à la matérialisation des parcelles sont parfois enlevés. Ainsi, lors de l'installation du dispositif expérimental, nous avons procédé à un double repérage des limites des unités du dispositif, par des piquets plantés dans le sol et par de la peinture étalée sur des repères fixes (arbres, arbustes et pierres encastrées dans le sol).

Avec, le plan factoriel en Split-plot, la précision de mesure des effets du facteur *grande parcelle* (la période de récolte) est sacrifiée au profit de celle du facteur *petite parcelle* (méthode de coupe). Etant donné que l'objectif de l'expérimentation est l'évaluation de l'effet des méthodes de coupes sur la régénération des touffes de romarin au cours des différentes

saisons de l'année, la mesure de l'effet principal du facteur méthode de coupe et de son interaction avec le facteur période de récolte est plus précise que celle qui peut être obtenue avec un plan en blocs aléatoires complets (Jayaraman, 1999 ; Montgomery, 2013).

- ***Facteur 1. La méthode de coupe***

Différents niveaux d'intensité de coupe ont été testés (figure 15). Ce facteur contient trois traitements :

- ✓ traitement 1 - Couper uniquement la pousse de l'année (MC1),
- ✓ traitement 2 - Couper la moitié de la touffe de romarin à une hauteur de 10 cm du sol (MC2), et
- ✓ traitement 3 - Couper au ras du sol en laissant un minimum de biomasse pour permettre le maintien de la photosynthèse (MC3).

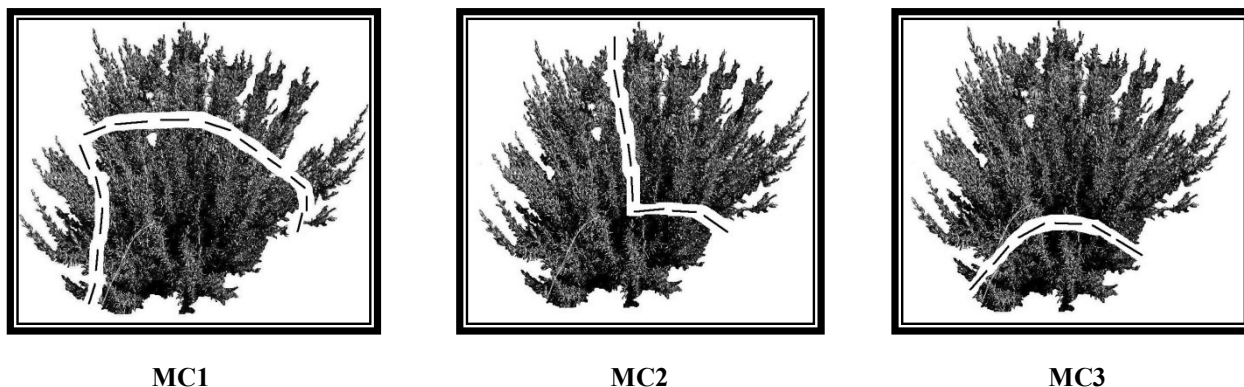


Figure 15. Méthodes de coupe testées pour l'exploitation des touffes de romarin

- ***Facteur 2. La période de récolte***

Quatre périodes de récolte ont été testées (Automne, Hiver, Printemps et Eté).

C'est donc une expérience à deux facteurs comprenant quatre périodes de récolte (traitement de grandes parcelles) et trois méthodes de coupe (traitement de petites parcelles), avec trois répétitions (Blocs). Les trois blocs, de forme rectangulaire et d'une superficie chacun de 192 m², ont été installés sur différents versants pour réduire ou éliminer la variabilité transmise par ce facteur de nuisance, l'exposition, et pour augmenter la précision de l'expérience (figure 16).

Ce dispositif en split-plot comprend deux processus de randomisation distincts, un pour les grandes parcelles et l'autre pour les petites parcelles. Dans chaque bloc (répétition), nous avons commencé par allouer au hasard les traitements des grandes parcelles, puis ceux des petites parcelles (méthode de coupe) formées à l'intérieur de chaque grande parcelle. Ici, les 4

saisons de l'année (P1-automne, P2-hiver, P3-printemps, P4-été) ont été assignées aux grandes parcelles, principalement en fonction de leur facilité d'application et de contrôle de l'effet de la période de récolte et pour détecter la présence d'une éventuelle interaction entre période de récolte et méthode de coupe. Ensuite, chacune des 12 grandes parcelles a été divisée en 3 unités expérimentales, de forme carrée et d'une superficie de 16 m², auxquelles nous avons alloué au hasard les 3 traitements du facteur petite parcelle : MC1, MC2 et MC3.

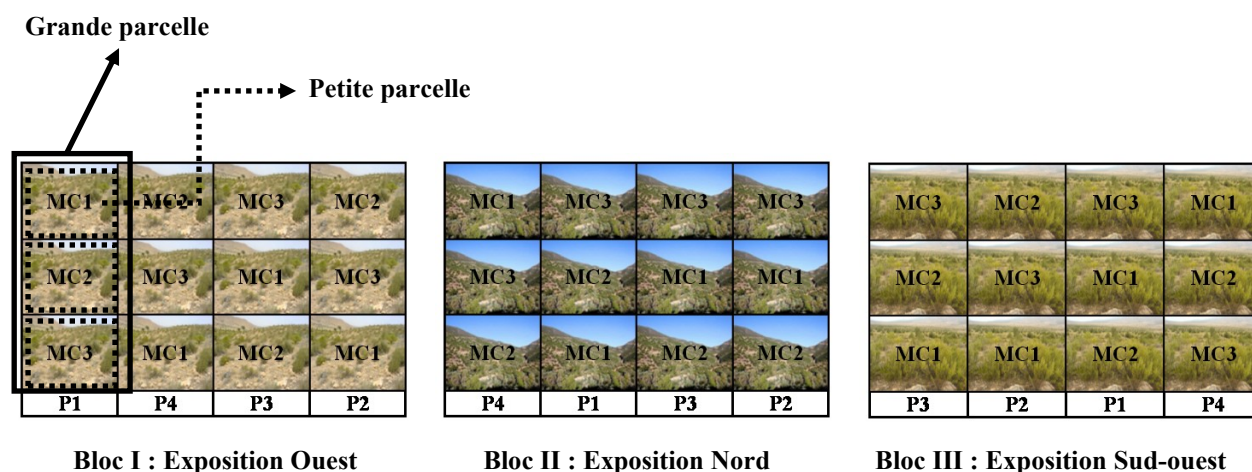


Figure 16. Plan factoriel du dispositif sur les techniques d'exploitation de *R. officinalis* dans la forêt de Debdou

Au moment de l'installation du dispositif, un inventaire a été effectué et les résultats de cet inventaire sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Inventaire du nombre de touffes de romarin par unité expérimentale

| | Bloc 1 | | | | Bloc 2 | | | | Bloc 3 | | | |
|-----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P1 | P2 | P3 | P4 | P1 | P2 | P3 | P4 |
| MC1 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 17 | 4 | 10 | 14 | 8 |
| MC2 | 6 | 2 | 7 | 6 | 2 | 5 | 3 | 22 | 4 | 11 | 6 | 6 |
| MC3 | 7 | 2 | 6 | 8 | 8 | 1 | 2 | 7 | 8 | 7 | 10 | 4 |

L'expérimentation sur les techniques d'exploitation a été conduite sur 4 années, depuis l'automne de 2008 jusqu'à l'été de 2012. Pendant chaque période de récolte, les quantités de biomasse récoltées au niveau de chaque unité expérimentale ont été estimées en utilisant une balance de précision de 10 kg ± 5g.

- **Indice de régénération des touffes de *R. officinalis***

Le dispositif installé dans la forêt de Debdou nous a permis d'estimer la production en biomasse foliaire et aussi la régénération des touffes de romarin, auxquelles ont été appliquées différents niveaux d'intensité de coupe pratiqués à différentes saisons de l'année. Pour estimer le taux de régénération des touffes, nous avons calculé un indice de reprise en fonction du taux de croissance relatif * selon la formule suivante (Pommerening & Muszta, 2015):

$$Tr_i = (y_{ni}/y_{0i}) * 100 \quad (1)$$

- Tr_i : Taux de reprise observé dans l'unité expérimentale (i),

- y_{ni} : Poids de la biomasse récoltée après une année de croissance (n) dans l'unité expérimentale (i),

- y_{0i} : Poids mesuré lors de la première coupe sur l'unité expérimentale (i) (non récolté auparavant).

* Le taux de croissance relatif est l'augmentation en longueur ou en poids d'un individu ou d'une population par unité de temps, par rapport à sa taille initiale.

La première coupe a été considérée comme référence et base de calcul de l'indice de reprise (Tr) observé lors des campagnes d'exploitation consécutives.

2.3. Dispositif de suivi de la floraison des touffes de romarin

Le romarin est une plante à usage multiple. Comme elle est exploitée dans la région de l'Oriental pour la production de la feuille sèche et des huiles essentielles, c'est aussi une plante mellifère par excellence. Ce caractère multi-usage suscite toujours des conflits d'intérêts entre les apiculteurs et les exploitants. La conciliation entre les différents usages est une nécessité pour promouvoir les activités socio-économiques pratiquées au niveau des matorrals de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc (Ismaili, 2006).

L'étude des techniques d'exploitation et leur influence sur la croissance végétative étaient nécessaires pour la définition d'un itinéraire technique ayant un faible impact sur la reprise des touffes et la floraison du romarin. D'une part, un tel itinéraire devra permettre aux apiculteurs de continuer à produire du miel de romarin, et d'autre part permettre à ces peuplements de produire des graines pour assurer la régénération naturelle de cette espèce.

Dans la littérature il existe des imprécisions quant à la définition de la période de floraison de romarin dans l'Oriental. Cheblou (1996), dans son étude réalisée dans l'Oriental, a souligné deux périodes de floraison, une en automne et la seconde au printemps. D'autres auteurs précisent que la période de pleine floraison de romarin est en mois d'avril ou de juillet (El Amrani *et al.*, 1997b ; Fechtal *et al.*, 2001a). Par conséquent, il était nécessaire de mener des investigations dans ce sens. Ainsi, nous avons procédé à l'installation d'un dispositif constitué

de 3 parcelles circulaires d'une superficie chacune de 5 ares au niveau de la zone d'étude. Comme pour les études sur les techniques d'exploitation, les 3 parcelles ont été installées au niveau des 3 expositions où le romarin forme encore des nappes importantes, en exposition Nord, Ouest et Sud-ouest. Un inventaire a été également réalisé au moment de la matérialisation des parcelles expérimentales (figure 17).

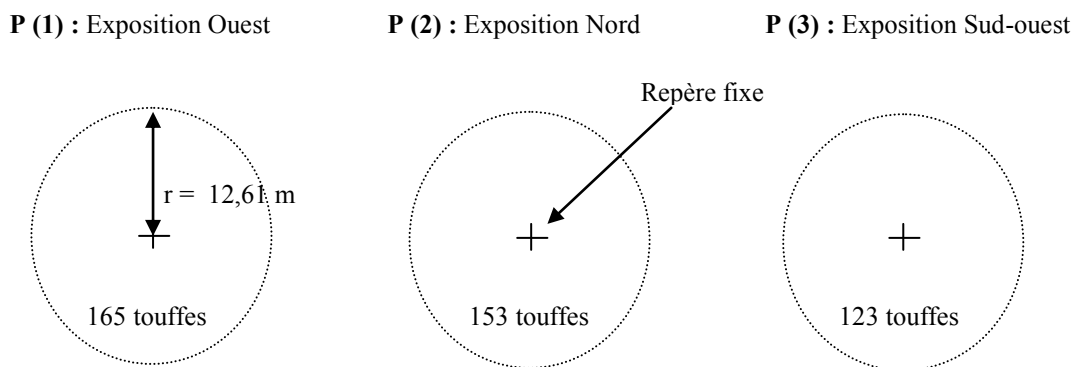


Figure 17. Plan du dispositif de suivi de la floraison du romarin

Ces parcelles expérimentales ont été suivies pendant un cycle végétatif complet de septembre 2012 à août 2013. Mensuellement, le nombre de touffes portant des fleurs ont été inventoriées au niveau de chaque parcelle. Le taux de floraison a été calculé en fonction du nombre de touffes fleuries par rapport au nombre total des touffes par parcelle.

3. Etude de la variabilité des huiles essentielles de *R. officinalis* dans la région de l'Oriental au Maroc

De nombreuses études ont été menées sur la chimie des HE de *Rosmarinus officinalis*. Cependant, il existe encore certaines ambiguïtés dans la littérature concernant la variation de sa composition chimique en fonction de l'origine et des périodes de récolte (Salido *et al.*, 2003 ; Verma *et al.*, 2012 ; Jordán *et al.*, 2013a et b ; Singh & Guleria, 2013 ; Zaouali *et al.*, 2013). Aussi, les précédents travaux sur les HE de romarin, réalisés dans plusieurs régions du Maroc, n'ont pas concerné tout le cycle végétatif de la plante (El Amrani *et al.*, 1997b ; Fechtal *et al.*, 2001a ; Mounchid *et al.*, 2004 ; Derwich *et al.*, 2011 ; Khia *et al.*, 2014 ; El Ghadraoui *et al.*, 2015 ; Megzari *et al.*, 2015 ; Bouyahya *et al.*, 2017 ; Hannour *et al.*, 2018). Généralement, les échantillons ont été prélevés pendant une seule période de récolte et les paramètres environnementaux, bioclimatiques, géographiques et orographiques n'étaient pas pris en compte.

Pour valoriser les HE de *R. officinalis*, exploité dans la région de l'Oriental au Maroc, une étude détaillée devrait être menée pour cerner la variabilité de la production quantitative et qualitative des HE en fonction des facteurs phénologiques et abiotiques, pouvant influencer la biosynthèse des HE de romarin. Dans cette perspective, notre contribution dans la présente étude consiste à :

i) l'étude des variations mensuelles du rendement et de la composition chimique des HE de romarin pendant un cycle végétatif complet, et

ii) l'évaluation de l'influence des facteurs bioclimatiques et biogéographiques sur les HE de romarin au sein de son aire de répartition dans la région de l'Oriental (montagnes du Rif oriental, chaîne de montagnes des Horst et les hauts plateaux de l'Oriental).

3.1. Matériel végétal

Pour étudier la variabilité du rendement et de la composition chimique des HE de *R. officinalis* au cours d'un cycle végétatif complet, un dispositif de suivi a été mis en place dans une parcelle de mise en défens sise dans la forêt de Debdou (Province de Taourirt, région de l'Oriental). Mensuellement, des échantillons de biomasse fraîche de romarin ont été collectés en exposition ouest, nord et sud-ouest, près des parcelles de suivi de la floraison de romarin, de septembre 2012 à août 2013. Pendant chaque période de récolte, le stade phénologique des touffes de romarin a été déterminé. Les échantillons de biomasse aérienne encore fraîche ont été conduits directement au laboratoire pour y être distillés. Aussi, les données bioclimatiques sur les températures et la pluviométrie, fournies par la station météorologique de Debdou, ont été analysées pour évaluer l'effet de la variabilité de ces facteurs sur la biosynthèse des HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet.

En juin 2014, un échantillonnage a été réalisé au niveau de l'aire de répartition du romarin dans la région de l'Oriental au Maroc. 30 échantillons ont été collectés au niveau de dix populations naturelles, prospectées dans différentes zones biogéographiques où le romarin forme encore des nappes importantes, au niveau des montagnes du Rif oriental, la chaîne des Horst et les hauts plateaux de l'Oriental. Les provenances étudiées croissent dans différentes conditions d'altitude, de longitude, de latitude et de couvert végétal (tableau 11). Les échantillons de romarin ont été numérotés et conduits au laboratoire pour y être distillés également.

Tableau 11. Quelques caractéristiques des populations étudiées de romarin

| Population | Code | Alt. (m) | Lat. (DD) | Long. (DD) | Type de peuplement | Zone géographique | Province | Bioclimat | P (mm) |
|-------------------------|------|----------|--------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-----------|---------|
| Talsint 1 | Ta1 | 1467 | 32.7125N | 3.6862W | Steppe (St, Ro) | HP | Figuig | A | 150-220 |
| Talsint 2 | Ta2 | 1585 | 32.6424N | 3.6942W | Matorral (Jo, Ar, Ro, St, Ah) | | | | |
| Aïn Zohra | Az | 1406 | 34.5922N | 3.5608W | Forêt (Qr, Ro, Jo, Pl, Ci) | RO | Nador | SA | 364 |
| Jerada | Je | 1192 | 34.3320N | 2.2431W | Matorral (Jo, Ci, Ro) | CH | Jerada | A-SA | 250-350 |
| Guefaît | Gu | 836 | 34.2493N | 2.3705W | Steppe (St, Ro, Zl, Ar, Ph) | | | | |
| El Aouam | Ea | 1270 | 33.9791N | 2.8016W | Forêt (Qr, Ro, Jo, St) | | Taourirt | SA-SH | 400-600 |
| Dada Ali | Da | 1514 | 34.3151N | 2.5632W | Forêt (Qr, Ro, Jo, St) | | | | |
| El Fachat | Ef | 1545 | 33.9852N | 2.8890W | Forêt (Qr, Ro, Jo, St) | | | | |
| Sidi Lahcen | Sl | 1040 | 34.1020N | 2.6618W | Matorral (Qr, Ro, Jo, Pl, Ci) | | | | |
| Debdou | De | 765 | 34.0673N | 2.9848W | Matorral (Ta, Ro, Zl, Ol) | | | A-SA | 300-400 |
| Dispositif Expérimental | ED | 810-865 | 34.0608 à 34.0630N | 2.9672 à 2.9690W | Matorral (Ta, Ro, Zl, Ol) | | | | |

Alt. Altitude, **Lat.** Latitude, **Long.** Longitude; **HP.** Hauts-Plateaux, **CH.** Chaîne des Horst, **RO.** Rif Oriental; **A.** aride, **SA.** semi-aride, **SH.** subhumide, **P.** Précipitation moyenne annuelle (mm); **Ah.** *Atriplex halimus*, **Ar.** *Artemisia herba-alba*, **Ci.** *Cistus sp.*, **Jo.** *Juniperus oxycedrus*, **Ol.** *Olea oleaster*, **Ph.** *Peganum harmala*, **Pl.** *Pistacia lentiscus*, **Qr.** *Quercus rotundifolia*, **Ro.** *Rosmarinus officinalis*, **St.** *Stipa tenacissima*, **Ta.** *Tetraclinis articulata*, **Zl.** *Zizyphus lotus*.

3.2. Extraction des huiles essentielles

L'extraction des HE à partir de la biomasse foliaire (feuilles et rameaux) de *R. officinalis* a été effectuée au laboratoire de chimie du Centre de Recherche Forestière à Rabat par hydrodistillation sous montage Clevenger, qui est préconisé par la pharmacopée européenne (1996) pour ce type de biomasse. Le mode opératoire est réalisé en 4 étapes :

- Préparation de la matière première

La matière première, une fois arrivée au laboratoire, est stockée dans un endroit relativement frais, pour minimiser les pertes en eau et en HE dues à l'évaporation, avant sa distillation (Verma *et al.*, 2011). Ensuite, la biomasse foliaire de romarin est coupée en petits morceaux avec un sécateur pour faciliter l'opération de remplissage des ballons et de distillation. Pour

chaque provenance, 3 échantillons de 200 g chacun pesés avec une balance de précision, ont été distillés. La teneur en eau a été mesurée par la méthode gravimétrique, qui consiste en la détermination de la perte de masse par dessiccation à l'étuve. Ainsi, 3 autres échantillons, d'un poids compris entre 15 et 30 gr, ont été prélevés en même temps que les autres échantillons pour la distillation et séchés dans une étuve à 100°C pendant 24h.

- *Hydrodistillation*

L'extraction des HE de romarin a été réalisée par la technique d'hydrodistillation. Une quantité de 200 gr de biomasse fraîche de romarin est mélangée à 1 litre d'eau dans un ballon d'une contenance de 2 litre. L'eau recouvrant le matériel végétal est portée à ébullition sous pression atmosphérique pendant 3 heures. Une fois libérés, sous forme d'un mélange azéotropique, les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau. Après refroidissement dans un réfrigérant, le mélange eau-huile essentielle se condense et se sépare par décantation. Dans le système Clevenger, l'eau distillée est recyclée dans le bouilleur par cohobage. Le système Clevenger permet ainsi la conservation d'une quantité d'eau identique durant toute la durée de l'extraction.

- *Récupération de l'huile essentielle*

La solution est recueillie dans une ampoule à décanter. On laisse le contenu reposer quelques secondes, il est ensuite possible d'éliminer totalement l'eau aromatique. Il ne reste alors que l'HE (Lucchesi *et al.*, 2004 ; Moro Buronzo, 2008). Après avoir mesuré le volume de l'HE, celle-ci est extraite au moyen d'une seringue et conservée dans des flacons sombres à 4 °C.

- *Détermination du rendement*

Le rendement en HE des différentes provenances est calculé par la formule suivante:

$$Rdt = (V/ms \times 100) \quad (2)$$

Rdt = rendement en HE (ml/100g);

V = volume d'HE recueilli (en ml);

ms = masse végétale sèche (en g).

Etant donné que la densité des HE est proche de 1, le rendement est exprimé en %.

3.3. Analyses chimiques de la composition des huiles essentielles

L'analyse des HE a été réalisée par les techniques chromatographiques, la chromatographie en phase gazeuse associée à une détection par ionisation de flamme (CPG-DIF) et la chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (CPG-SM). Ce

sont deux méthodes conventionnelles pour l'analyse des huiles essentielles (Tranchant, 1995 ; Matovská & Lehotay, 2003).

- *Chromatographie en phase gazeuse (CPG-DIF)*

Cette technique chromatographique (figure 18) permet d'analyser différents types de matières (solides, liquides ou gazeuses) à la seule condition que cette matière puisse être mise sous phase gazeuse. Cette technique permet l'individualisation des constituants, leur quantification et le calcul de leurs indices de rétention (Ir). L'appareil utilisé pour cette analyse est un chromatographe en phase gazeuse à régulation électronique de pression de type Hewlett-Packard (série HP 6890).

Pour chaque analyse, nous avons procédé à l'injection d'1 micro-litre d'HE diluée dans le méthanol. L'huile est transformée sous forme gazeuse au niveau de l'injecteur chauffé à 250°C. Les composés volatiles de l'huile essentielle sont ensuite véhiculés par un gaz vecteur inerte, l'azote avec un débit de 2 ml/mn. Ce dernier entraîne l'échantillon gazeux et le fait pénétrer dans une colonne capillaire HP-5 (30m x 0,25mm, épaisseur de film 0,25µm), elle-même enfermée dans un four à température programmée de 50 à 250°C avec un pas de 4°C. Les composés de l'huile traversent la totalité de la colonne où est placée la phase stationnaire. Ils sont donc retenus par cette phase stationnaire pendant un temps plus ou moins long. Ils arrivent à l'extrémité de celle-ci progressivement. À la sortie de la colonne, les composés sont signalés par un détecteur à ionisation de flamme DIF alimenté par un mélange de gaz H₂/Air. Quand les conditions thermodynamiques sont remplies de façon idéale, nous avons une distribution gaussienne des molécules, ce qui se traduit, sur le chromatogramme, par un pic.

L'appareil est piloté par un système informatique de type "HP Chemstation", gérant le fonctionnement de l'appareil et permettant de suivre l'évolution des analyses chromatographiques. La CPG-DIF permet une analyse quantitative ; elle fournit le pourcentage relatif de chaque signal par rapport à l'ensemble des signaux du mélange analysé. En effet, les temps de rétention peuvent donner une information sur la nature des molécules et les aires des pics fournissent une quantification relative.

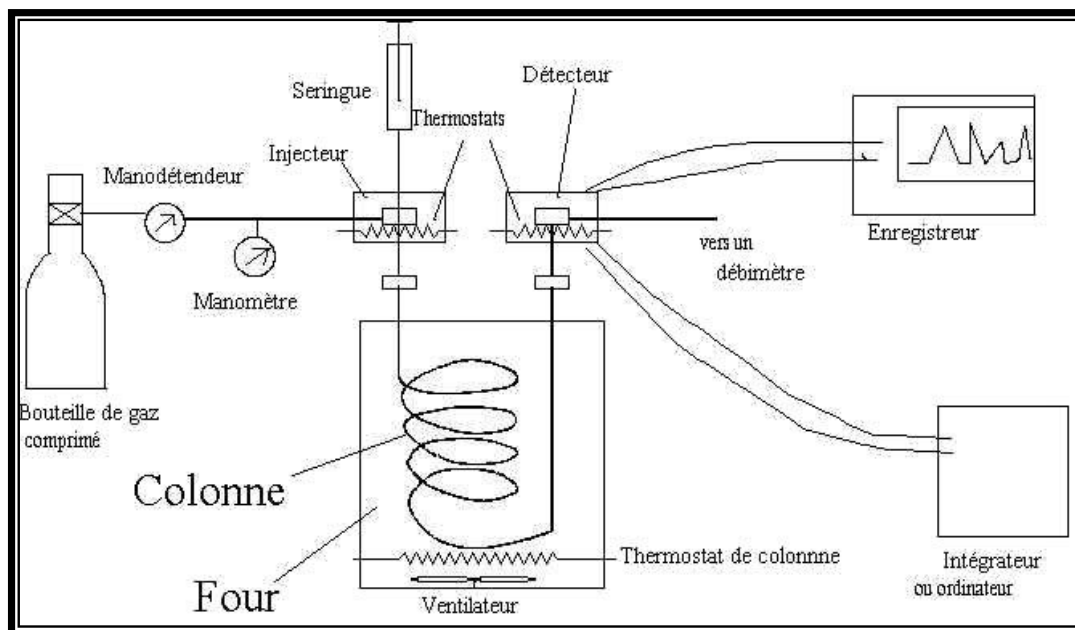


Figure 18. Principe de la chromatographie en phase gazeuse (Tranchant, 1995)

- ***La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM)***

Le principe de la spectrométrie de masse (SM) consiste à bombarder à l'aide d'un faisceau d'électrons une molécule qui sera fragmentée; les différents fragments obtenus, chargés positivement, constituent son spectre de masse. Très souvent, le spectre de masse est caractéristique d'une molécule donnée et, en théorie, il est donc possible d'identifier un composé en comparant son spectre à ceux des composés de référence dans les bibliothèques de spectres.

Le couplage de la chromatographie en phase gazeuse avec la spectrométrie de masse (CPG-SM) permet d'effectuer simultanément la séparation et l'analyse des différents constituants d'un mélange complexe. La CPG-SM a été conduite par un CPG Hewlett-Packard (HP 6890) équipé d'un injecteur automatique (HP 7683) et couplé à un spectromètre de masse HP 5973 (technologies Agilent). La fragmentation est effectuée par un impact électronique de 70 eV. La colonne utilisée est une colonne capillaire HP5-MS (30 m x 0,25cm, épaisseur de film 0,25 μ m). Le gaz vecteur est l'hélium dont le débit est fixé à 2 ml/min. La température de la colonne a été programmée pour augmenter de 50 à 250 °C à raison de 4 °C / min. L'appareil est relié à un système informatique gérant une bibliothèque de spectres de masse.

- Identification des composés de l'huile essentielle

Le chromatogramme issu d'une CPG-DIF (figure 19) est une série de pics représentant les différents composants de l'HE. La position de ces pics, ou temps de rétention, est caractéristique de la nature du composant pour une phase stationnaire donnée. Par ailleurs, la surface des pics est grossièrement proportionnelle à la concentration de la substance dans l'échantillon d'HE.

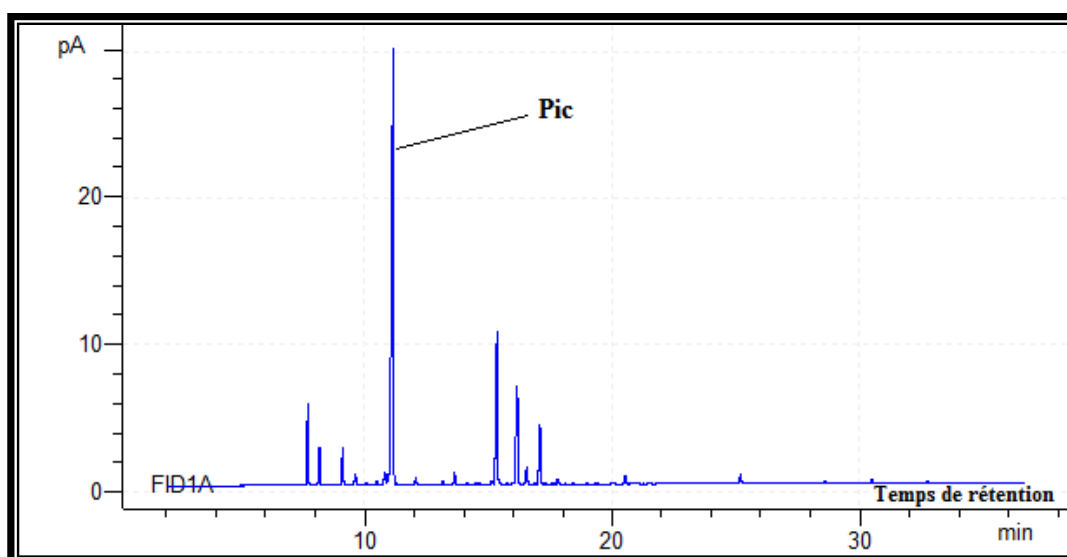


Figure 19. Chromatogramme type d'une huile essentielle de romarin analysée par CPG-DIF

Une meilleure information est obtenue grâce à l'utilisation des indices de rétentions, qui sont plus fiables que les temps de rétention dont les valeurs peuvent changées en fonction du type de la colonne utilisée. Ces indices sont calculés à partir d'une gamme d'alcane injectés dans des conditions expérimentales rigoureusement identiques (indice de Kováts) (Kováts, 1965).

Dans notre cas, les indices de Kováts ont été déterminés en utilisant un mélange d'alcane de C₈ à C₂₂ selon la formule suivante (Kováts, 1965 ; McNaught & Wilkinson 2012) :

$$IK = [(T_{rC} - T_{rA_n}) / (T_{rA_{n+1}} - T_{rA_n}) + n] \times 100 \quad (3)$$

T_{rC} : Temps de rétention du composé à identifier dont la valeur est comprise entre T_{rA_n} et $T_{rA_{n+1}}$.

T_{rA_n} : Temps de rétention de l'alcane à n atomes de carbone.

$T_{rA_{n+1}}$: Temps de rétention de l'alcane à (n+1) atomes de carbone.

L'identification des composés est alors réalisée en comparant les indices de Kováts obtenus au laboratoire avec ceux rapportés dans la littérature, particulièrement pour ceux qui concernent le même type de colonne utilisée dans notre analyse.

La confirmation de l'identité des composés identifiés par CPG-DIF a été réalisée par la CPG-MS en comparant les spectres de masse des différents composés de l'HE avec ceux de la banque de spectres du système de données CPG-SM (figure 20) et d'autres spectres de masse publiés (Adams, 2007).

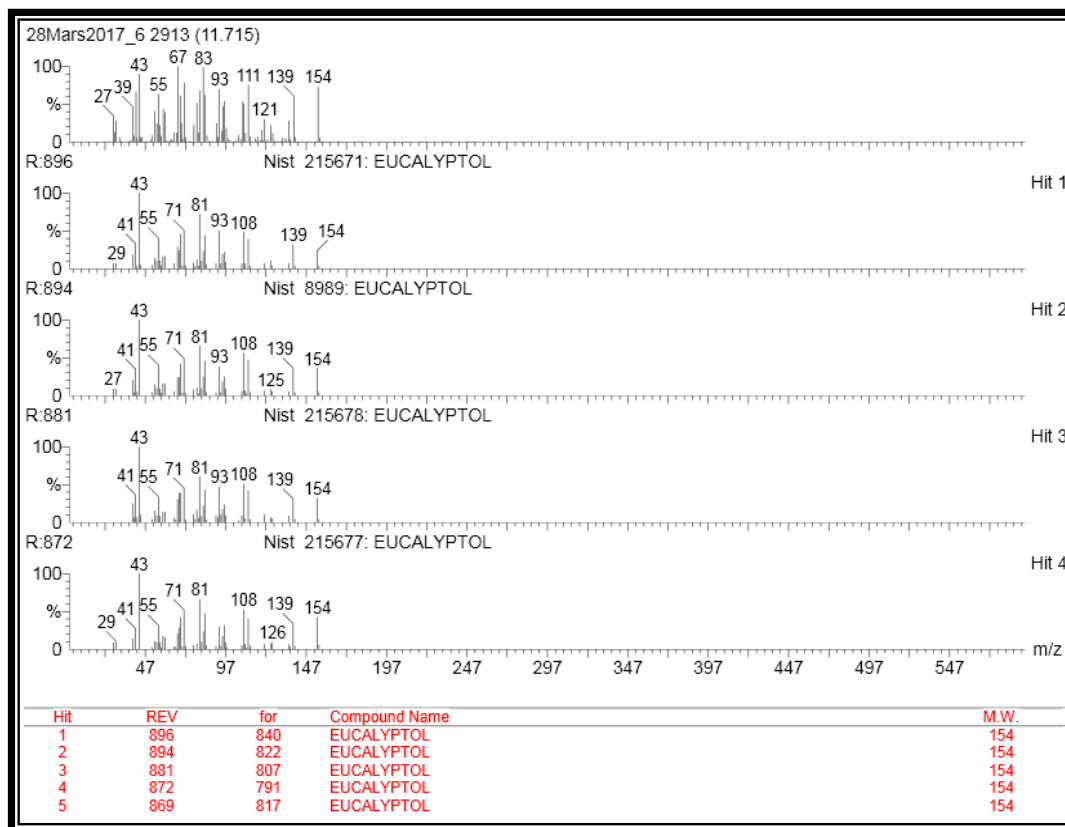


Figure 20. Spectre de masse du 1,8-cinéole (Eucalyptol) contenu dans l'HE de *R. officinalis* identifié par CPG-SM

4. Etude de l'activité acaricide des HE de *R. officinalis* contre *Varroa destructor*

La varroase est une maladie parasitaire et contagieuse de l'abeille domestique et de son couvain (Fernandez & Coineau, 2002), elle est causée par l'acarien *Varroa destructor* qui est considéré comme l'une des plus sérieuses menaces d'origine biologique pour les colonies d'*Apis mellifera* L. dans le monde (Anderson & Trueman, 2000 ; Martin *et al.*, 2012). Lors d'essais au laboratoire, l'HE de romarin a entraîné une mortalité élevée de cet acarien sans toxicité apparente pour les abeilles domestiques (Maggi *et al.*, 2011). L'efficacité d'une HE dépend donc à la fois de son profil chimique et de sa concentration. Par ailleurs, l'HE du romarin marocain, qui est riche en 1,8 cinéole et en camphre, et qui contient des teneurs importantes en bornéol, α -pinène, camphène, β -pinène et α -terpinéol (El Amrani *et al.*, 2000 ;

Mounchid *et al.*, 2004 ; Derwich *et al.*, 2011 ; Khia *et al.*, 2014 ; Megzari *et al.*, 2015 ; El Ghadraoui *et al.*, 2015 ; Bouyahya *et al.*, 2017 ; Hannour *et al.*, 2018), pourrait présenter une activité acaricide intéressante contre *V. destructor*. Par conséquent, le développement de stratégies de lutte à base des huiles essentielles, produites au niveau des matorrals de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc, serait une bonne alternative aux traitements chimiques utilisés contre la varroase.

Contrairement à d'autres travaux effectués au niveau laboratoire, notre contribution par cette étude est d'évaluer, au niveau rucher, l'activité acaricide de l'HE pure de romarin appliquée à différentes doses contre le varroa.

Le traitement au rucher a eu lieu en janvier 2017 chez un apiculteur à Sidi Yahya Zaer (à 30 km au sud de Rabat) (33°45'36"N, 6°31'48"W). Les colonies d'abeilles *Apis mellifera* échantillonnées sont élevées dans des ruches Dadant-Blatt, avec 4 à 6 cadres. Elles n'ont pas été traitées au cours des 12 derniers mois et ont été naturellement infestées par *V. destructor*. Pendant la période du traitement, la température moyenne et l'humidité relative de l'air ont été comprises entre 17 °C et 24 °C et entre 64 et 72% respectivement.

4.1. Evaluation du taux d'infestation du varroa

L'évaluation de l'infestation du varroa dans le rucher a été réalisée selon deux techniques. D'une part, on a procédé au prélèvement aléatoire d'échantillons d'abeilles adultes à partir des cadres de la ruche. C'est une méthode destructive qui nécessite le sacrifice d'un grand nombre d'abeilles. Aussi, il y a le risque de prélèvement de la reine qui peut être cachée parmi les abeilles collectées. Alors, on a utilisé cette technique uniquement pendant le dépistage avant traitement pour s'assurer de la présence du varroa phorétique et de mesurer un taux d'infestation indicatif par cette méthode. La seconde est une technique, non destructive pour l'abeille, qui consiste en l'observation des chutes des varroas phorétiques sur des langes installés au fond des cadres (Islam *et al.*, 2016 ; Ramzi *et al.*, 2017). C'est la méthode qu'on a adopté pour l'évaluation des chutes naturelles des varroas avant traitement et des chutes naturelles et induites par les traitements pendant la période d'expérimentation.

- Échantillonnage du varroa phorétique

Les varroas qui sont portés sur le corps des abeilles ouvrières ou faux bourdons sont appelés "*varroas phorétiques*". Le comptage de ces varroas, sur un échantillon donné d'abeilles adultes, permet d'établir leur niveau d'infestation et d'évaluer l'importance de la population

de l'acarien. Un taux d'infestation est calculé sur la base du rapport entre le nombre de varroas détachés par lavages et le nombre d'abeilles collectées par échantillon.

Sur des cadres de ruche ouvertes, nous avons procédé au prélèvement d'un échantillon d'environ 30 à 100 abeilles par ruche. Un cadre est pris d'une main et avec l'autre un coup sec est donné au dessus d'un récipient pourvu d'une étiquette avec l'identification de l'échantillon qui comporte la date de l'échantillonnage ainsi que le numéro de la ruche.

Les abeilles récoltées sont transportées au laboratoire dans de petits pots. Elles sont préalablement immobilisées en les introduisant au réfrigérateur pendant 3 minutes, ensuite de l'alcool est ajouté. Les récipients sont agités modérément puis laissés reposer quelques minutes. Le contenu du bocal est vidé dans un bac de laboratoire de couleur blanche (figure 21).

Figure 21. Abeilles adultes immergées dans l'alcool et varroas phorétiques séparés des abeilles



Les abeilles sont comptées et retirées une à une à l'aide d'une pince tout en s'assurant en les agitant dans l'alcool du bac qu'aucun varroa n'est resté accroché. Après rinçage, on procède ensuite au comptage des varroas récupérés au fond du bac au moyen d'une loupe.

Le rapport entre le nombre de varroas et le nombre d'abeilles permet de calculer un taux d'infestation moyen (Fernandez & Coineau, 2002).

$$\textit{Taux d'infestation estimatif} = (\textit{Nombre de varroas/nombre d'abeilles}) * 100 \quad (4)$$

La lecture des résultats a été effectuée selon la méthode décrite par Robaux (1986), les seuils de dommage se présentent comme suit :

- Une colonie ayant un taux d'infestation de 5% est une colonie faiblement parasitée, sans risque immédiat.

- Un taux d'infestation situé entre 5% et 10% correspond à une colonie sérieusement atteinte qu'il faut traiter.
- Les colonies qui présentent entre 10% et 20% de parasites doivent être immédiatement traitées.
- Enfin, si les colonies présentent plus de 20%, elles ont une haute probabilité de s'effondrer au bout de quelques jours ou de quelques semaines.

- Méthode de pose des langes

C'est une méthode simple et non destructive, qui s'effectue normalement sans ouvrir la ruche si celle-ci dispose d'une fente à la base. Elle permet de compter le nombre de varroas qui tombent naturellement, notamment par le nettoyage pratiqué par les abeilles, au fond de la ruche. Il s'agit d'une estimation indirecte de l'infestation.

Cette technique consiste au placement d'un lange en papier carton blanc lubrifié à la margarine, permettant de fixer les varroas tombés, au fond des cadres de chaque ruche (figure 22). Après 24 h, les papiers cartonnés sont récupérés. Ensuite, nous procédons au comptage des varroas tombés à l'aide d'une loupe. À chaque comptage, nous renouvelons les cartons. Les chutes de varroas sont exprimées en «varroas par jour».



Figure 22. Insertion d'un lange graissé à la margarine au fond d'une ruche

4.2. Essais de traitements aux huiles essentielles de *R. officinalis*

- Plan expérimental

Afin d'évaluer l'efficacité de l'HE pure de *R. officinalis* contre le varroa au niveau rucher, nous avons procédé à un échantillonnage aléatoire et simple de 21 colonies d'abeilles infestées naturellement par l'acarien *V. destructor*. C'est une expérience complètement aléatoire avec 7 traitements et 3 répétitions (figure 23).

Les traitements ont été répartis de façon aléatoire selon le dispositif suivant :

Les HE pures de romarin avec 5 doses d'application ;

- 1 ml/ruche,
 - 2 ml/ruche,
 - 3 ml/ruche,
 - 4 ml/ruche,
 - 5ml/ruche ;
- 1 traitement par le *Bayvarol*
 - 1 Témoin.

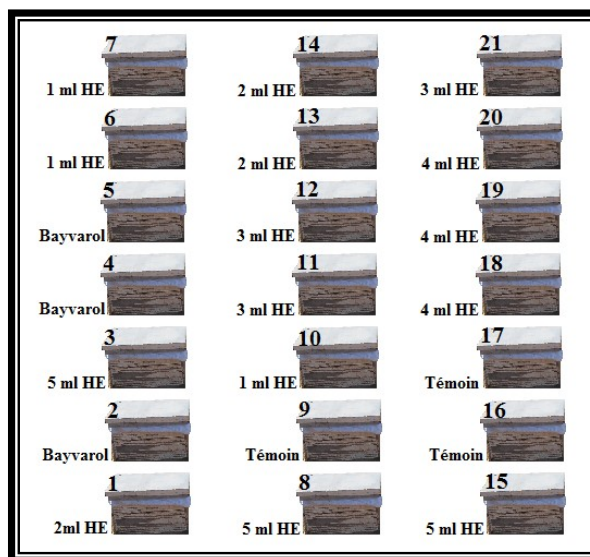


Figure 23. Plan expérimental

- Mise en œuvre du bio-test

Des langes graissés à la margarine ont été insérés au fond des ruches afin de fixer les varroas qui tombent suite aux traitements (figure 22). Le comptage des varroas sur les langes a été effectué le 1^{er}, 2^{ème} et 6^{ème} jours. À chaque comptage, l'emplacement des lanières imbibées en HE a été revérifié et les langes ont été renouvelés.

Une lanière en papier absorbant (bandelette) a été imbibée d'HE et a été insérée entre les cadres dans la partie haute de chaque ruche (figure 24). Ces lanières sont laissées pendant toute la période de l'expérience. Pour les ruches traitées par le *Bayvarol*, produit vétérinaire homologué, deux lanières de polymère imprégnées chacune par 3,6 mg de fluméthrine (BAYER) ont été utilisées tel que indiqué dans la notice d'utilisation. Les ruches témoins n'ont subi aucun traitement.

Figure 24. Lanière en papier absorbant imbibée d'HE et installée entre les cadres de la ruche

Au fond de la ruche, on distingue le linge de carton graissé à la margarine pour piéger les varroas en chute.



- *Lecture des résultats*

L'efficacité des traitements acaricides a été évaluée sur la base du pourcentage de mortalité du varroa en tenant compte aussi des varroas décrochés naturellement en l'absence de traitement.

L'efficacité des traitements est calculée comme suit (Islam *et al.*, 2016 ; Ramzi *et al.*, 2017) :

$$\text{Efficacité (\%)} = 100 \times \frac{\text{Nbre moy. de varroas/jour décrochés après traitement}}{\text{Nbre moy. de varroas/jour décrochés avant et après traitement}} \quad (5)$$

La moyenne des efficacités calculée pour chacune des ruches (03 ruches/traitement) est alors retenue pour chaque traitement.

5. Analyse des données

La collecte des données et leur interprétation sont deux aspects pratiques majeurs des investigations scientifiques. Les deux principales caractéristiques d'une méthode scientifique sont sa reproductibilité et son objectivité. Il est souvent impossible d'observer l'ensemble complet des individus qui forment une population, et dans de telles situations, les déductions doivent être faites sur la base d'un ensemble d'échantillons d'observations. Les données collectées sont résumées et des informations utiles en sont extraites à l'aide d'outils statistiques.

Les travaux de recherche actuels ont été réalisés en forêt, au niveau rucher et au laboratoire, à l'aide de traitements déterminés au préalable. Ces études ont été menées selon les trois principes de base de l'expérimentation, la randomisation, la répétition et le control local, qui sont indispensables pour choisir objectivement un échantillon, faire des généralisations valables à partir d'observations faites sur l'ensemble d'échantillons, mais aussi pour réduire l'incidence des facteurs externes et d'accroître la fiabilité des conclusions (Jayaraman, 1999 ; Montgomery, 2013).

Les expérimentations menées dans le cadre de cette étude concernent l'évaluation de l'effet des méthodes de coupe sur la régénération des touffes de romarin en forêt, l'étude de la variabilité de ses HE en milieux naturels et la mesure de leur efficacité biocide contre le varroa. Ces phénomènes biologiques intègrent le plus souvent des variations induites par les critères physiologiques, génétiques, ou encore environnementaux. Pour cela, les quatre outils les plus fréquemment utilisés pour ce genre d'études sont l'analyse de variance (ANOVA), la comparaison multiple des moyennes (CMM), l'analyse en composantes principales (ACP) et la corrélation.

D'une part, l'évaluation de l'effet des méthodes de coupe et des périodes de récolte sur la régénération des touffes de romarin, l'estimation de la variation de la composition en HE parmi les provenances et en fonction de la période de récolte, ainsi que l'évaluation des données d'efficacité observées lors des traitements biocides contre le varroa ont été déterminées à l'aide d'analyses de variances (ANOVA) et de tests de comparaisons multiples de moyennes de Duncun au niveau $p < 0,05$ (annexe 3). D'autre part, l'ampleur de la variabilité et l'effet des facteurs environnementaux et géographiques sur la biosynthèse des HE de romarin dans son aire de répartition et au cours d'un cycle végétatif complet dans la région de l'Oriental ont été effectués par l'analyse en composantes principales (ACP) et par la méthode des corrélations. Ces analyses ont été établies conformément aux procédures décrites par Jambu (1991), Jayaraman (1999) et Montgomery (2013).

Ces analyses statistiques ont été réalisées par le logiciel **Statistica 13.2** (Statsof) software. Les théories qui sous-tendent ces analyses statistiques sont complexes, c'est pourquoi, un bref aperçu sur ces méthodes est présenté dans les sections suivantes.

- L'analyse de variance (ANOVA)

L'analyse de variance est essentiellement une technique de répartition de la variation totale des réponses observées lors d'une expérience, entre les différentes sources de variation à laquelle elle peut être attribuée. Cette technique permet de vérifier si la variation due à une composante particulière quelconque est significative, par rapport à la variation résiduelle qui peut apparaître entre les unités d'observations.

Elle permet alors de vérifier l'hypothèse nulle \mathcal{H}_0 d'absence d'effet des facteurs. Nous concluons alors à l'aide de la p-valeur, rejet si elle est inférieure ou égale au seuil du test, ou à l'aide d'une table Fisher, rejet si la valeur est supérieure ou égale à la valeur critique issue de la table. Lorsque l'hypothèse \mathcal{H}_0 est rejetée, nous pouvons procéder à des comparaisons multiples des différents effets des niveaux des facteurs.

- La comparaison multiple des moyennes (CMM)

Dans les tests de comparaisons multiples de moyennes nous cherchons à comparer tous les effets des niveaux des facteurs entre eux. Lorsque qu'il existe des différences parmi les moyennes, les tests de plage, comme celui de Duncun utilisé dans nos analyses, identifient les sous-groupes homogènes de moyennes qui ne diffèrent pas les uns des autres. Ce test est une modification du test de Newman-Keuls qui aurait plus de pouvoir. Le test de Duncan est couramment utilisé en agronomie et dans d'autres recherches agricoles. Ce test effectue toutes les comparaisons appariées de moyennes, à l'aide de la distribution des plages de Student. Les

moyennes sont triées dans l'ordre décroissant et les différences extrêmes sont testées en premier (Duncan, 1955).

- L'analyse en composante principale (ACP).

L'ACP est un outil permettant de convertir un nuage de points d'un espace multivarié en un nuage de points dans un espace à 2 ou 3 dimensions. En général, les points et les différentes variables de cet espace sont projetés selon les 2 premiers axes perpendiculaires, les plus représentatifs de l'ensemble du nuage. Concrètement, dans notre domaine d'étude, les variables sont généralement les constituants majoritaires des HE pris comme variables actives, le rendement moyen des HE, les classes chimiques, certains facteurs biogéographiques (altitude, latitude et longitude) et climatiques (précipitation mensuelle et température moyenne mensuelle) en tant que variables supplémentaires. Tandis que les points sont soit les diverses stations de collecte ou périodes de récolte.

La corrélation

La corrélation mesure la relation entre deux variables ou plus. Une telle relation entre deux variables est appelée régression. Lorsque ces relations sont exprimées sous forme mathématique, il est possible d'estimer la valeur d'une variable d'après la valeur de l'autre. Par ailleurs, Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1,00 à +1,00. La valeur -1,00 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1,00 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0,00 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables) (Jambu, 1991 ; Montgomery, 2013).

PARTIE III – RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 1. Contribution à l'amélioration des techniques d'exploitation du romarin dans la région de l'Oriental au Maroc

1.1. Evaluation de la production en biomasse végétale du romarin

Globalement, dans les études d'inventaires et d'aménagement des matorrals de romarin effectuées par l'Administration des Eaux et Forêts, les potentialités en biomasse sont évaluées sur la base de coupes effectuées à une hauteur de 50% de la touffe. Il s'agit d'une estimation de la quantité potentiellement exploitable. Pour le gestionnaire, la connaissance de ces données permet de contrôler les quantités prélevées par les industriels et d'avoir une estimation des prix de cession des nappes de romarin mises en vente. Dans la région de l'Oriental, les potentialités en biomasse de romarin ont été estimées en moyenne entre 250 et 780 kg de matière verte par hectare selon l'état de peuplement (moyennement dense, clair, épars) (Naggar & Iharchine, 2015).

Dans les parcelles d'essais sur les techniques d'exploitation, les coupes ont été réalisées au niveau d'un peuplement qui était sous mise en défens. Ce sont des touffes qui n'ont pas été exploitées au moins quelques années auparavant, et qui ont été aussi protégées contre le parcours. Les quantités en biomasse obtenues pendant la première coupe ont permis d'avoir une estimation sur la biomasse potentiellement exploitable suite à plusieurs années de croissance végétative. Alors que, celles qui ont été obtenues pendant la 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} coupe, elles expriment les productions annuelles. Il s'agit de la biomasse produite par la plante pendant une année de croissance végétative (tableau 12).

Tableau 12. Quantités (kg/ha) en biomasse foliaire et productivité du romarin dans le site expérimental

| Technique d'exploitation | B₀ | Prod-A1 | Prod-A2 | Prod-A3 | Prod-Moy |
|---------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| MC1 | 591,8 | 397,5 | 354,5 | 354,8 | 368,9 |
| MC2 | 627,3 | 547,2 | 443,1 | 510,4 | 500,2 |
| MC3 | 973,6 | 444,8 | 562,3 | 666,3 | 557,8 |

(B₀) biomasse initiale issue de la première coupe, **(Pod-A1)** Production de la 1^{ère} compagne d'exploitation, **(Pod-A2)** Production de la 2^{ème} compagne d'exploitation, **(Pod-A3)** Production de la 3^{ème} compagne d'exploitation, **(Pod-Moy)** Production moyenne des 3 compagnes d'exploitation successives, **(MC1)** Exploitation de la pousse de l'année, **(MC2)** Exploitation de la moitié de la touffe, **(MC3)** Coupe rase en laissant un minimum de biomasse foliaire.

Les quantités moyennes en biomasse foliaire issues de la première exploitation ont été comprises entre 592 kg/ha et 973 kg/ha selon la méthode de coupe utilisée, toute saison de récolte confondue. L'exploitation de la moitié de la touffe (MC2), qui est une coupe proche

de celle utilisée par les aménagistes (coupe à 50% de la hauteur de la plante), a donné une estimation de 627 kg/ha, valeur supérieure à la moyenne rapportée pour les nappes de romarin dans la région de l'Oriental (Naggar & Iharchine, 2015). Il s'agit donc d'un peuplement qui est relativement en bon état suite à la mise en défens.

Par ailleurs, quelque soit la méthode utilisée, les productions annuelles estimées pendant les 3 campagnes d'exploitation successives sont inférieures par rapport à la biomasse initiale du peuplement avant exploitation (tableau 12). Si l'exploitation est pratiquée pendant toute l'année, toutes saisons confondues, il faudrait donc plus qu'une année pour que la plante recouvre toute sa biomasse initiale. Cependant, si l'exploitation est réalisée uniquement pendant une période donnée de l'année, en automne, en hiver, au printemps ou en été, est-ce qu'il faudrait plus qu'une année pour que la plante recouvre toute sa biomasse initiale ? C'est ce qui est représenté graphiquement par la figure 25.

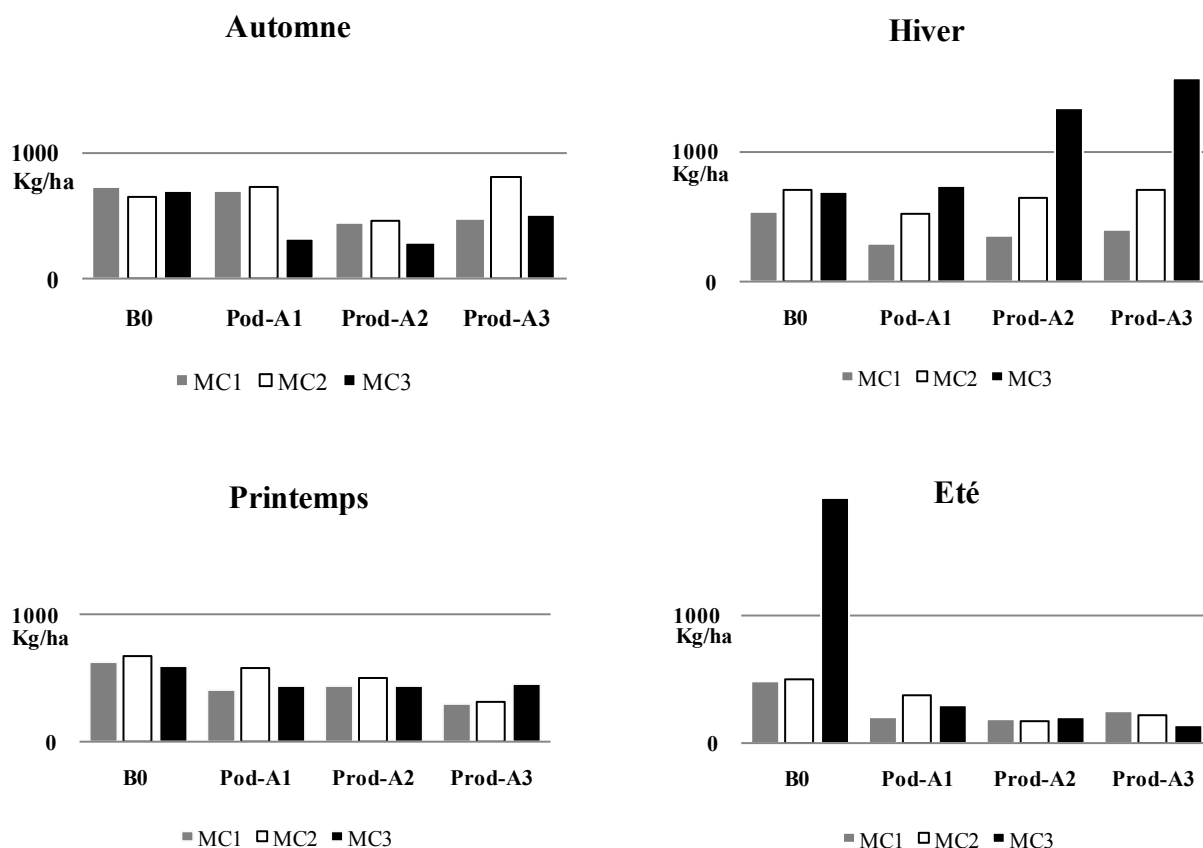


Figure 25. Biomasse initiale et productions annuelles de romarin par saison de récolte

(**B₀**) biomasse initiale issue de la première coupe, (**Pod-A1**) Production de la 1^{ère} campagne d'exploitation, (**Pod-A2**) Production de la 2^{ème} campagne d'exploitation, (**Pod-A3**) Production de la 3^{ème} campagne d'exploitation, (**MC1**) Exploitation de la pousse de l'année, (**MC2**) Exploitation de la moitié de la touffe, (**MC3**) Coupe rase en laissant un minimum de biomasse foliaire.

Cette analyse graphique montre que la productivité des touffes de romarin est très influencée par la saison de récolte (automne, hiver, printemps, été) et par les techniques d'exploitation utilisées. Les productions ont grandement varié d'une saison à l'autre. Aussi, certaines techniques de coupes ont eu des fois un impact positif ou au contraire un impact négatif sur la productivité du romarin selon la saison de l'année. Par conséquent, la méthode de coupe et la saison de récolte sont deux paramètres déterminants dans la productivité des nappes de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc.

A l'encontre d'autres plantes dont l'activité végétative démarre dès que les températures sont favorables pour la levée de la dormance en fin d'hiver-début printemps (Rivals, 1963), le débourrement des bourgeons du romarin débute avec les premières pluies de l'automne. Dans la région de l'Oriental à hiver peu rigoureux, il semble que la dormance du romarin est si faible que sa croissance végétative a lieu à la saison des pluies. Les coupes qui sont réalisées en fin de saison des pluies au printemps et en saison sèche en été, ne permettent pas une production satisfaisante en biomasse végétale (figure 25, tableau 13). Pendant ces périodes, l'exploitation a un impact négatif sur la productivité de la plante. Alors que, si l'exploitation a lieu en automne et en hiver en pleine période de croissance végétative, et quand les conditions de températures et de pluies sont favorables, la productivité des touffes de romarin est promue.

Tableau 13. Quantités (kg/ha) en biomasse foliaire et productivité moyenne du romarin selon la saison et la méthode de coupe

| Saison | Automne | | | Hiver | | | Printemps | | | Eté | | |
|----------------------|---------|------------|-----|-------|-----|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|------|
| | MC1 | MC2 | MC3 | MC1 | MC2 | MC3 | MC1 | MC2 | MC3 | MC1 | MC2 | MC3 |
| B₀ | 734 | 647 | 690 | 528 | 696 | 694 | 626 | 671 | 602 | 478 | 495 | 1909 |
| Prod-Moy | 540 | 664 | 370 | 345 | 623 | 1208 | 379 | 465 | 449 | 212 | 248 | 205 |

(**B₀**) biomasse unitaire issue de la première coupe, (**Pod-Moy**) Production moyenne des 3 compagnes d'exploitation successives, (**MC1**) Exploitation de la pousse de l'année, (**MC2**) Exploitation de la moitié de la touffe, (**MC3**) Coupe rase en laissant un minimum de biomasse foliaire.

L'exploitation des touffes du romarin en hiver, à environ 10 cm du sol en laissant un minimum de biomasse foliaire pour permettre le maintien de la photosynthèse (MC3), a donné les meilleurs rendements de production en biomasse végétale (figure 25). Cette technique d'exploitation a permis aux touffes de romarin non seulement de recouvrir leurs biomasses initiales pendant une année de croissance végétative, elle a été même augmentée d'environ le double après trois compagnes d'exploitation (tableau 13). En automne, l'exploitation de la moitié de la touffe à une hauteur de 10 cm du sol (MC2) est la seule technique qui a permis à la plante de recouvrir toute sa biomasse initiale pendant une année de

croissance végétative. Alors qu'au printemps et en été, quelque soit la méthode de coupe pratiquée, une année n'est pas suffisante pour que les touffes de romarin recouvrent leurs biomasses initiales.

En général, la production en biomasse foliaire de romarin au niveau du site d'expérimentation dans la forêt de Debdou (Maroc Oriental) a été estimée en moyenne à 476 kg/ha (toutes saisons et méthodes de coupe confondues). Le maximum de production, qui est de 1208 kg/ha, a été enregistré en saison d'hiver en exploitant au ras du sol (MC3) les touffes de romarin. Cette production était minimale en saison d'été, avec moins de 250 kg/ha, quelle que soit la méthode de coupe utilisée. Alors qu'en automne et au printemps, les productions les plus élevées, respectivement de 664 kg/ha et de 465 kg/ha, ont été enregistrées par la MC2.

1.2. Effet de la méthode de coupe et de la période de récolte sur la régénération des touffes de romarin

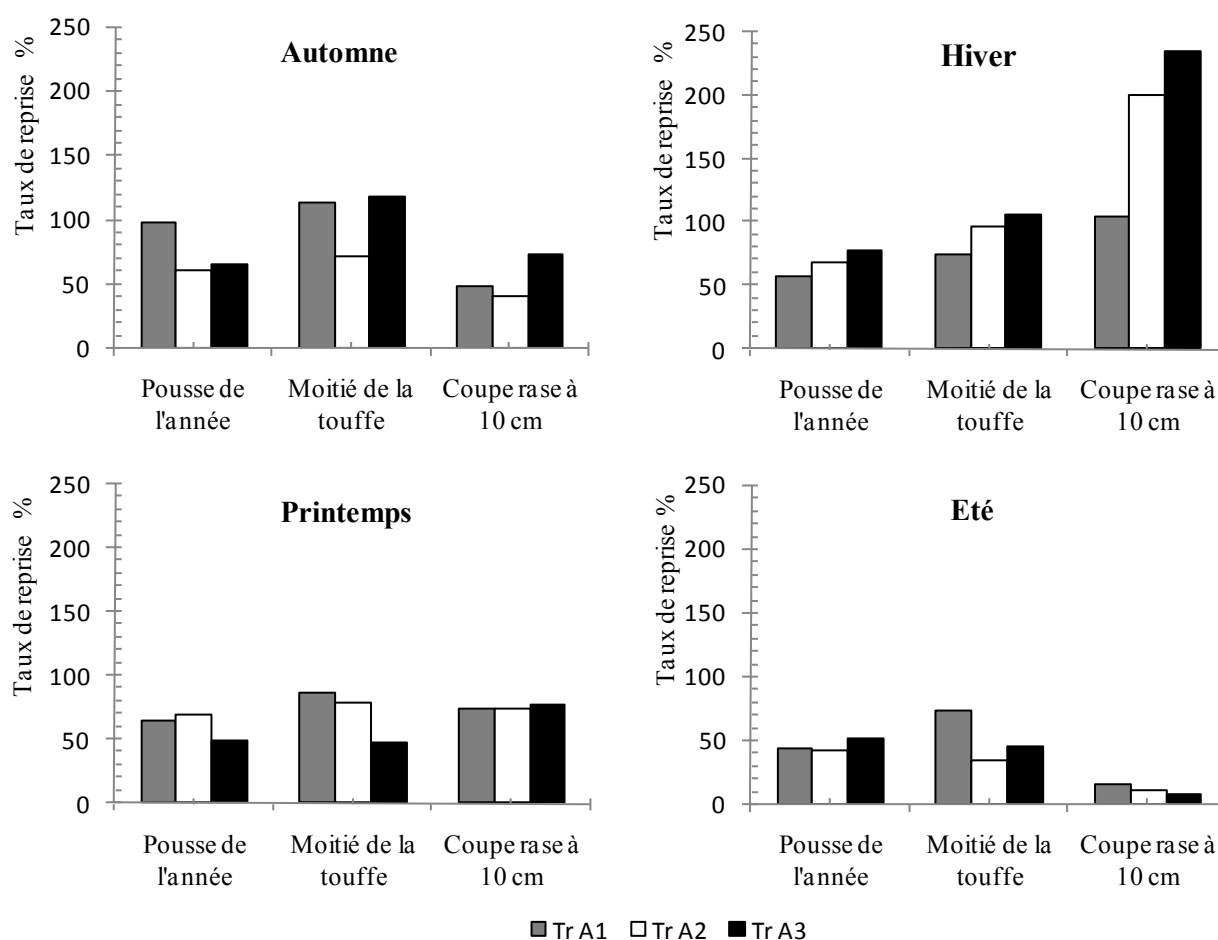
La méthode de coupe et la période de récolte sont deux paramètres déterminants dans la productivité des nappes de romarin dans la région de l'Oriental. Ces deux facteurs ont par conséquent un effet sur leur régénération. Les nappes de romarin qui ne sont pas exploitées deviennent ligneuses et ne permettent pas une production en biomasse foliaire intéressante (Zrira *et al.*, 1997 ; PNUD, 2012). Pour la promotion de ces espaces naturels, Il est donc nécessaire de mettre au point des techniques d'exploitation qui favorisent leur rajeunissement et qui permettent une production optimale et durable en biomasse végétale de romarin.

Pour mieux appréhender l'effet des techniques d'exploitation, testées au niveau du dispositif expérimental, sur la régénération des touffes de romarin, un indice de reprise a été calculé en fonction du taux de croissance relatif. Il correspond au rapport entre le poids de la biomasse récoltée pendant une année de croissance végétative au niveau d'une unité expérimentale et le poids de la biomasse initiale mesurée lors de la première exploitation au niveau de la même unité expérimentale. En d'autre terme, c'est le rapport entre la productivité et la biomasse initiale des touffes issue de plusieurs années de croissance végétative.

L'observation de la régénération des touffes de romarin au cours de trois campagnes d'exploitations successives (tableau 14, figure 26) a montré que les techniques de coupes testées peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur leur reprise selon la saison de l'année.

Tableau 14. Taux de reprise moyen des touffes de romarin (moyenne de 3 compagnes d'exploitation)

| Saison de l'année | Méthode de coupe | Tr moy (%) |
|-------------------|-----------------------------|------------|
| Automne | - Pousse de l'année (MC1) | 74 |
| | - Moitié de la touffe (MC2) | 101 |
| | - Coupe rase à 10 cm (MC3) | 53 |
| Hiver | - Pousse de l'année (MC1) | 67 |
| | - Moitié de la touffe (MC2) | 92 |
| | - Coupe rase à 10 cm (MC3) | 179 |
| Printemps | - Pousse de l'année (MC1) | 61 |
| | - Moitié de la touffe (MC2) | 71 |
| | - Coupe rase à 10 cm (MC3) | 75 |
| Eté | - Pousse de l'année (MC1) | 45 |
| | - Moitié de la touffe (MC2) | 50 |
| | - Coupe rase à 10 cm (MC3) | 11 |

**Figure 26.** Evolution des taux de reprise des touffes de romarin au cours des 3 compagnes d'exploitation

Tr A1: Taux de reprise observé lors de la 1^{ère} compagne d'exploitation
 Tr A2: Taux de reprise observé lors de la 2^{ème} compagne d'exploitation
 Tr A3: Taux de reprise observé lors de la 3^{ème} compagne d'exploitation

Après trois compagnes d'exploitation successives, l'exploitation des touffes de romarin au ras du sol (MC3), en saison sèche pendant l'été, a donné les taux de reprise les plus faibles, passant de 16% en 1^{ère} compagne à 7% en 3^{ème} compagne d'exploitation (figure 26). En revanche, la pratique de cette même technique de coupe en hiver a eu un effet totalement différent sur la reprise des touffes de romarin, les taux de reprise enregistrés ont été améliorés, en passant de 104% en 1^{ère} compagne à 234% en 3^{ème} compagne de récolte. Par conséquent, la régénération des touffes de romarin exploitées au ras du sol, en saison sèche pendant l'été, a été compromise, alors qu'en hiver, en saison des pluies, elle a été même promue.

L'analyse statistique de ces données a montré aussi que le facteur "période" et l'interaction "méthode de coupe X période de récolte" ont un effet significatif sur la reprise des touffes de romarin (tableau 15), tandis que les autres facteurs n'ont pas présenté d'effet significatif.

Tableau 15. Analyse de la variance des taux de reprises issue du dispositif en "Split-plot "

| Source | df | 2 ^{ème} compagne d'exploitation | | | 3 ^{ème} compagne d'exploitation | | |
|----------------------------|----|---|-------|-----------------------|---|-------|-----------------------|
| | | CM | F | Prob | CM | F | Prob |
| Répétition | 2 | 0,159 | | | 0,060 | | |
| Période | 3 | 0,424 | 4,772 | 0,04968* | 0,579 | 4,905 | 0,04701* |
| Erreur (grande parcelle) | 6 | 0,089 | | | 0,118 | | |
| Méthode de coupe | 2 | 0,012 | 0,410 | 0,67035 ^{ns} | 0,052 | 1,211 | 0,32390 ^{ns} |
| Période X Méthode de coupe | 6 | 0,121 | 4,079 | 0,01133* | 0,180 | 4,173 | 0,01029* |
| Erreur (petite parcelle) | 16 | 0,030 | | | 0,043 | | |
| Total | 35 | 0,835 | | | 1,033 | | |

(NS) Non significatif au seuil de 5%, (df) degré de liberté, (CM) carré moyen, (F) valeur observée de Fisher, (Prob) probabilité

L'interaction significative entre période de récolte et méthode de coupe signifie que la reprise des touffes de romarin est significativement différente au moins pendant une saison donnée selon la méthode de coupe utilisée. Pour comprendre cette interaction, des tests de comparaisons multiples de moyennes (Test de Duncan) ont été effectués. Au cours de cette seconde étape d'analyse, nous avons constaté que la reprise des touffes de romarin était statistiquement similaire au printemps et en automne, quelle que soit la méthode de coupe utilisée, alors qu'elle était significativement différente pendant les autres périodes de récolte.

En hiver, la coupe rase (MC3) a permis une régénération bien meilleure que celle obtenue par les autres techniques. Alors qu'en été, cette même méthode de coupe a donné des taux de

reprise nettement inférieurs aux autres techniques. En outre, au printemps et en automne quoiqu'on n'ait pas noté de différences significatives, certaines techniques ont montré des avantages par rapport à d'autres (figure 26). En automne, l'exploitation de la moitié de la touffe a donné le meilleur taux de reprise, estimé en moyenne à 101% (tableau 14), ce qui était supérieur aux taux de reprise observés pour les autres techniques d'exploitation qui étaient respectivement estimés en moyenne à 53% et 74% pour les coupes rase et pousse de l'année. Au printemps, la coupe rase des touffes de romarin a favorisé une régénération stable dans le temps, la reprise des touffes de romarin est passée de 73,6% en 1^{ère} compagne à 77,8% en 3^{ème} compagne d'exploitation. Elle a été plus élevée que celle dans le cas des autres méthodes de coupe, dont les taux de reprises ont diminué après trois compagnes d'exploitation pour atteindre un pourcentage moyen d'environ 49% (figure 26).

1.3. Détermination de la période propice pour l'apiculture dans les faciès de romarin

Le caractère multi-usage de cette ressource constitue une source de discordes et de conflits entre les différents acteurs (usagers, exploitant-distillateurs et apiculteurs). L'exploitation pour la production des HE ne devrait pas compromettre les autres usages tel que l'apiculture, qui est une activité très répondeue dans la région (Moujanni *et al.*, 2017). Par conséquent, la conciliation entre les différents usages est une issue incontournable pour la valorisation et le développement durable de ces espaces naturels.

Dans la région de l'Oriental, le terroir de production du miel de romarin s'étend sur tout les faciès à romarin dans la chaîne des Horst et les Hauts Plateaux (provinces de Jerada, Taourirt et de Figuig). Les apiculteurs connaissent très bien la période de l'année appropriée pour la production du miel de romarin. Cependant, dans la littérature, différentes périodes ont été soulignées pour sa floraison. Certains auteurs ont annoncé que la floraison de romarin dans la région de l'Oriental commence après le mois de janvier pour atteindre son apogée en avril ou mai (El Amrani *et al.*, 1997b), d'autres ont souligné que le romarin possède une période de floraison assez étalée dans le temps, qui commence en septembre pour se terminer en mois de mars (Hmamouchi *et al.*, 1997), ou bien deux périodes de floraisons dont la première en automne et la seconde au printemps (Cheblou, 1996).

Pour l'étude des bonnes pratiques de récolte du romarin, il était nécessaire de bien déterminer la période propice pour l'apiculture dans la région de l'Oriental au Maroc. Au niveau du site expérimental sur les techniques d'exploitation, l'inventaire mensuel du nombre de touffes de romarin portant des fleurs au cours d'un cycle de croissance végétative complet a permis de

cadrer la période de floraison du romarin, ainsi que son importance dans le temps par la détermination du pourcentage mensuel des touffes en floraison (figure 27).

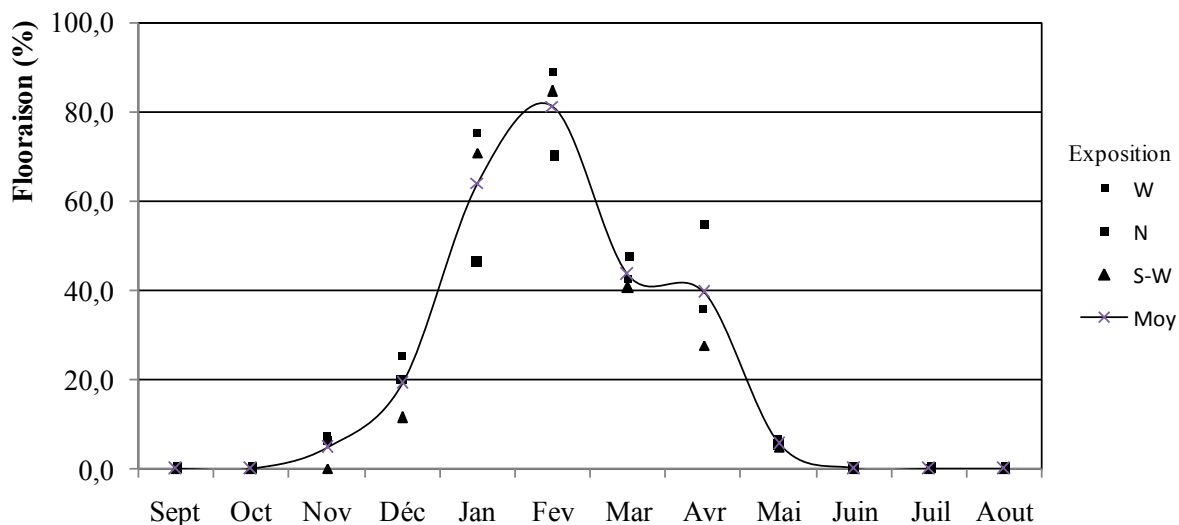


Figure 27. Evolution de la floraison du romarin au cours d'un cycle de croissance complet dans la forêt de Debdou (région Oriental du Maroc).

Le suivi de l'état phénologique du romarin, au niveau des parcelles expérimentales dans la forêt de Debdou, a montré que celui-ci se caractérise par une floraison précoce et longue. La floraison du romarin commence au mois de novembre, après les premières pluies d'automne, pour s'achever au mois de mai. Généralement, elle atteint son apogée en hiver. Ce constat a été observé par plusieurs auteurs en zone méditerranéenne (tableau 16).

La floraison a lieu principalement en hiver et au printemps et parfois toute l'année quand les conditions sont idéales pour le romarin. Dans la zone d'étude, la période de pleine floraison, où plus de 40% des touffes sont en fleurs, s'étale de la fin décembre à la mi-avril (figure 27). Elle correspondrait alors à la période propice pour l'apiculture au niveau des nappes de romarin dans la région de l'Oriental.

Tableau 16. Floraison de *Rosmarinus officinalis* selon différentes études

| Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec | Références |
|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | <i>Escuder (2007)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Schmidt (2011)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Garnier et al. (1961)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Faucon (2012)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Teuscher et al. (2005)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Clot Havond (2014)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Spocclair (2011)</i> |
| | | | | | | | | | | | | <i>Hoefler (1994)</i> |

Le romarin est une plante mellifère par excellence. Il a la particularité de sécréter un nectar fort abondant, même quand il fait froid en hiver. Et si le romarin est fortement prisé par les apiculteurs et les abeilles en manque de nourriture à cette période, c'est également parce qu'il est très concentré en sucre. En effet, le nectar du romarin contient plus de 40 % de sucre (ratio 50% saccharose, 50% glucose et fructose) (Dafni *et al.*, 1988). En plus, la floraison du romarin est très profitable aux colonies d'abeilles car elle favorise la ponte hivernale et donc le renouvellement des ouvrières. La production du pollen chez le romarin est moins importante que celle du nectar. Mais il reste fort utile aux abeilles pour le démarrage du couvain.

Le romarin joue un rôle très important dans la région de l'Oriental que ce soit pour l'apiculture ou pour l'exploitation en tant que plante aromatique et médicinale. Cependant, ces deux activités constituent une source de discordes et de conflits entre les différents usagers. Il convient de mettre au point un itinéraire de bonnes pratiques de récolte qui prend en considération la conciliation entre les usages, la régénération, la préservation et le développement durable de ces espaces naturels.

1.4. Planification d'un itinéraire de bonnes pratiques de récolte pour l'exploitation des matorrals de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc

1.4.1. Modalités actuelles d'exploitation des nappes de romarin au Maroc

Le mode d'exploitation de romarin au Maroc se base sur la vente sous forme de lots. Ces derniers sont cédés sur la base d'un cahier des clauses qui fixe les modalités techniques, administratives et financières. Avant 2010, le système d'adjudication fixait la période d'exploitation du romarin à 3 ans. Le contrat de cession ne portait pas de précisions quant à la méthode et la fréquence de coupes qui étaient irrégulières et se faisaient annuellement du mois de mars jusqu'au mois de décembre (Zrira *et al.*, 1997). Durant cette courte période de 3 ans, l'intérêt du distillateur était d'extraire le maximum de matière première pour maximiser son profit au dépend des faciès de romarin qui étaient surexploités, ce qui a contribué à la dégradation et la disparition de grandes superficies de romarin surtout celles situées à proximité des zones urbaines (villages et douars). Le niveau et la fréquence de coupes pratiqués par les ramasseurs (des hommes, des femmes et des enfants) limitaient aussi la régénération des peuplements. En effet, dans la plupart des cas, les cueilleurs se limitaient à l'arrachage pour extraire le maximum de matière première, cette façon d'exploiter arrangeait les distillateurs, dans la mesure où ils fournissaient, à un prix bas, des quantités importantes

de produits. La matière ligneuse de ces plantes était utilisée comme source d'énergie dans l'opération de distillation.

Pour pallier à ce problème, les gestionnaires ont pensé à la prolongation de la durée de cession à environ 10 ans, pour contraindre l'exploitant-distillateur à gérer rationnellement le patrimoine mis à sa disposition. Ainsi, un nouveau contrat de cession pour les plantes aromatiques et médicinales a été adopté après l'année 2010. Les lots sont cédés pour une période de 3 ans avec une reconduction possible pour 2 autres périodes de durées égales, soit neuf ans. Aussi, un programme d'action visant la protection et l'amélioration des parcelles mises en vente (plantation, coupe de rajeunissement, aménagement de point d'eau, etc.) a été imposé aux concessionnaires.

Un constat est dressé à la fin de chaque période par une commission d'évaluation désignée à cet effet. Cette dernière évalue le degré d'engagement du bénéficiaire vis-à-vis du contrat de cession. Chaque lot est subdivisé en trois parcelles dans le but d'y appliquer des rotations de mise en repos, une année d'exploitation suivie de deux années de repos végétatif. Les techniques d'exploitation adoptées dans le cadre de ce nouveau contrat de cession ont proscrit l'utilisation de la faucille au profit de l'utilisation du sécateur. L'exploitation est réalisée du mois de mai jusqu'à la fin du mois de novembre par prélèvement de la moitié supérieure des touffes bien venantes et la coupe rase des vieilles touffes lignifiées (DREFO, 2012 ; Naggar & Iharchine, 2015).

L'analyse des forces et faiblesses de ce nouveau système de gestion pour les nappes de romarin a permis de mettre en exergue le diagnostic suivant :

- ✓ Forces : Consciente de la fragilité de ces écosystèmes et de l'impact qu'a eu l'exploitation au cours du siècle dernier sur les nappes de romarin dans la région de l'Oriental, l'Administration des Eaux et Forêts était contrainte de s'orienter vers une stratégie plus conservatrice qui vise la préservation et la restauration de ces écosystèmes naturels. La prolongation du contrat de cession de 3 à 9 ans, l'adoption d'un système de rotation triennal pour l'exploitation et d'un plan d'action visant la réhabilitation des nappes dégradées de romarin par la réalisation des plantations, sont des atouts pour freiner la désertification des zones surexploitées et permettre ainsi leur reconstitution, impliquer les concessionnaires dans la gestion des ressources mises à leur disposition et promouvoir la filière de romarin dans la région en assurant une stabilité d'approvisionnement en matière première et la création de l'emploi pour la population à moyen terme.
- ✓ Faiblesses : La période et les techniques de récolte adoptées dans ce nouveau contrat de cession présentent des limites et des inconvénients. En effet, l'exploitation est réalisée du

mois de mai au mois de novembre, qui correspond dans la région de l'Oriental en général à la saison sèche, alors que la floraison du romarin débute en novembre. Par conséquent, toutes les nappes qui sont exploitées sont condamnées à ne pas fleurir ou à présenter une floraison médiocre, ce qui a des répercussions négatives sur l'apiculture et la régénération par semis de ces faciès naturels.

Les touffes coupées au ras du sol, au niveau du dispositif expérimental sur les techniques d'exploitation, ont présentés les plus faibles taux de reprise en été, qui ont passé de 16% à 7% en trois campagnes d'exploitation. La coupe au ras du sol, préconisée pour le rajeunissement des touffes de romarin dans le contrat de cession, lorsqu'elle est pratiquée pendant l'été, compromet la régénération des touffes et aura par conséquent des répercussions négatives sur la régénération. Aussi, la coupe à une hauteur de 50%, utilisée pour l'exploitation des touffes bien venantes, qui est en quelque sorte une coupe proche à la coupe de la pousse de l'année, ne permet pas une bonne reprise des touffes. D'une part, certains auteurs tels que Bellefontaine (1998) a déjà mis en évidence que la coupe haute (30-50 cm du sol) épuise rapidement les souches. D'autre part, l'inconvénient de cette technique de coupe est qu'elle permet de prélever la biomasse foliaire et les rameaux tendres pour se retrouver ensuite avec des touffes lignifiées et non productives.

2.1.1. Recommandations sur les bonnes pratiques d'exploitation du romarin

Le dispositif expérimental installé dans la forêt de Debdou sur les techniques d'exploitation a permis d'estimer la productivité et les taux de reprise des touffes de romarin, qui ont été soumises à différentes intensités de coupe (récolte de la pousse de l'année, récolte de la moitié de la touffe et la coupe rase) pendant les différentes saisons de l'année (automne, hiver, printemps, été). Sur la base des résultats de cette étude quelques bonnes pratiques de récolte sont à souligner :

- Période et technique de coupe adéquate pour le rajeunissement des nappes de romarin

L'étude des techniques d'exploitation a permis d'identifier la saison propice et la technique de coupe appropriée pour le rajeunissement des touffes de romarin dans la région de l'Oriental. En effet, les meilleurs taux de reprise ont été obtenus par la MC3 (coupe au ras du sol en laissant un minimum de biomasse pour permettre le maintien de la photosynthèse) pendant l'hiver, qui est considéré comme la période propice à la taille des nappes de romarin au Maroc (figure 28). Cette conclusion corrobore celles des auteurs (Bellefontaine *et al.*, 1997 ; Faye *et al.*, 2013), qui ont convenu que la coupe au ras du sol favorise les bourgeons proventifs, tandis que la coupe haute favorise la dominance des bourgeons adventifs et épuise rapidement

les souches. Ils recommandent également d'effectuer les coupes en hiver dans les zones tempérées et en fin de la saison sèche dans les zones tropicales arides. La règle générale semble indiquer que les souches rejettent mieux lorsque la coupe est faite au ras du sol et à la fin de la saison de repos végétatif.

En conclusion, Pour le rajeunissement des nappes de romarin, il convient d'effectuer une coupe rase pendant l'hiver en préservant quelques rameaux feuillus de la touffe.

- Préconisation d'une période de mise en repos en saison d'été

Pendant la saison de l'été, les peuplements de romarin sont principalement menacés par les pratiques actuelles qui compromettent leur durabilité. L'exploitation a un impact négatif sur la productivité et la régénération des touffes de romarin. Les unités expérimentales exploitées au cours de cette saison par les trois méthodes de coupes (MC1, MC2 et MC3) ont présenté des valeurs minimales du taux de reprise ne dépassant pas 50%. Il est par conséquent raisonnable de préconiser une période de repos en été au moins pendant les mois de juillet et d'août lorsque les températures dépassent parfois les 40 °C dans la région.

Pendant l'été, les peuplements de romarin sont menacés par les pratiques actuelles qui compromettent leur durabilité. Une période de mise en repos de deux mois en juillet et août est nécessaire.

- La conciliation entre les différents usages au profit du développement durable des nappes de romarin

La cueillette pour la production des HE et l'apiculture au niveau des matorrals de romarin sont deux activités économiquement importantes autant à l'échelle locale que nationale. Alors ces deux activités peuvent-elles coexister ensemble ou faut-il prévaloir l'une par rapport à l'autre ?

L'exploitation de la moitié de la touffe à une hauteur de 10 cm du sol (MC2) (figure 28) est une technique intéressante, qui a donné de très bons résultats dans les expérimentations au niveau du dispositif sur les techniques d'exploitation du romarin (tableau 13). Sur le plan productivité, les touffes de romarin soumises à cette technique de coupe ont donné des rendements moyens en biomasse végétale (moyenne de 3 campagnes d'exploitation) plus intéressants que les autres techniques de coupe, sauf en hiver où la coupe rase était plus productive.



Figure 28. Techniques de bonnes pratiques de récolte du romarin dans la région de l'Oriental

En automne, l'exploitation par cette technique de coupe (MC2) permet une meilleure reprise des touffes de romarin (Tr Moy = 101 %). Au bout d'une année, la plante arrive à recouvrir toute sa biomasse initiale. Aussi, cette technique qui ne permet de récolter que la moitié de la touffe (figure 28) à une hauteur d'environ 10 cm du sol, permet aussi le maintien de l'autre moitié de la touffe intacte. C'est un avantage par rapport aux autres méthodes de coupe (la coupe rase, la coupe de la pousse de l'année ou bien la coupe à une hauteur de 50% de la touffe) puisque la partie préservée va bientôt entrer en floraison en mois de novembre. C'est une bonne pratique de récolte qui permet la conciliation entre cueillette et apiculture. Cette technique de récolte quand elle est pratiquée, elle permet aux nappes de romarin dans la région de l'Oriental de jouer aussi leur rôle en tant que plantes productrices du nectar et du pollen pour l'apiculture, et encore il permet à l'écosystème de produire les semences nécessaires pour sa régénération naturelle.

En hiver, cette technique de récolte (MC2) permet aux touffes de romarin exploitées de recouvrir environ 92% de leurs biomasses initiales. Cependant, cette saison coïncide avec la période de pleine floraison du romarin. Faut-il exploiter au ras du sol ? Puisque c'est la technique qui a donné les meilleurs productivités et taux de reprise (tableau 14), ou bien exploiter uniquement la moitié de la touffe qui est aussi une technique intéressante en termes de productivité et ayant un faible impact sur l'apiculture. Un choix judicieux devrait être alors fait. Pour les touffes lignifiées et non productives, la coupe au ras du sol (MC3) serait la plus convenable, puisqu'elle permet leur rajeunissement et améliore leur productivité ; alors que pour les nappes vertes et bien venantes, l'exploitation de la moitié de la touffe est la technique de récolte qui serait convenable pour permettre à l'apiculture de subsister et à l'écosystème de se régénérer naturellement par graine.

Au printemps, la coupe au ras du sol et la coupe de la moitié de la touffe ne présentent pas de grandes différences en termes de productivités et des taux de reprise (tableaux 13 et 14). En

outre, puisque plus de 40% de touffes sont encore en floraison en mois de mars et d'avril et pour permettre aux graines produites par la plante d'atteindre leurs maturités, il est plus raisonnable, que les nappes de romarin soit exploitées par la technique de récolte MC2.

La MC2 est une bonne pratique de récolte pour la cueillette des nappes de romarin.

Avantages :

1. La partie de la touffe non exploitée peut fleurir et produire des semences;
2. Productivité annuelle en biomasse intéressante par rapport aux autres techniques expérimentées;
3. Rajeunit progressivement les touffes de romarin;
4. Peut être pratiquée pendant toute l'année sauf en saison d'été (mise en repos);
5. Permet la conciliation entre les différents usages.

CHAPITRE 2. Etude de la variabilité chimique des HE de *R. officinalis* dans la région de l'Oriental au Maroc

2.1. Etude de la variabilité des rendements en HE de romarin

2.1.2. Effet du stade végétatif sur le rendement en HE

Le suivi de la teneur en HE du romarin au cours d'un cycle végétatif complet, au niveau des parcelles expérimentales dans la forêt de Debdou, a montré que celle-ci reste supérieure à 2% tout au long de l'année. Elle a varié de façon significative de 2,11% à 3,13%, avec une moyenne de l'ordre de 2,47% (tableau 17, figure 29). Aussi, des variations mensuelles ont été enregistrées. En général, la teneur en HE de romarin a été inférieure à 2,5% en stade de préfloraison, de septembre à octobre, et en stade de floraison jusqu'en mois d'avril. Elle a ensuite significativement augmenté à la fin de la floraison, en mois de mai, pour atteindre son apogée en stade de post-floraison en juillet.

En outre, on peut distinguer deux phases de production des HE pour le romarin dans la forêt de Debdou : la première, qui est caractérisée par une production relativement faible à moyenne en huiles (2,11-2,52%), s'étend de septembre à avril (stades préfloraison et de floraison), et la seconde, qui correspond à une production relativement élevée (2,53-3,13%), s'étend du mois de mai au mois d'août (stade de post-floraison) (tableau 17, figure 29).

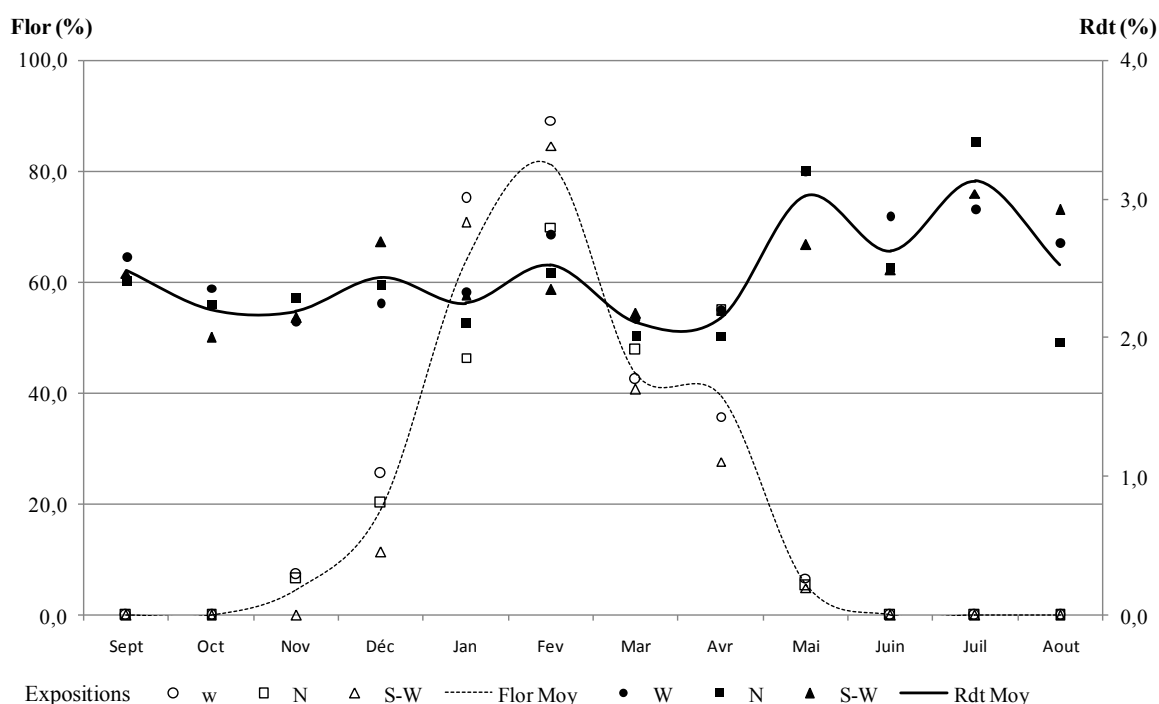


Figure 29. Evolution du rendement en HE et du taux de floraison des touffes de romarin au cours d'un cycle végétatif complet

Rdt Moy. Rendement moyen, Flor Moy. Pourcentage de touffes de romarin en floraison

Tableau 17. Variation du rendement en HE du romarin au cours d'un cycle végétatif complet et paramètres bioclimatiques de la station de Debdou

| Période | Sept | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout |
|-----------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Précip. (2012-2013)* | 25 | 37 | 59 | 64 | 39 | 34 | 25 | 0 | 6 | 0 | 4 | 7 |
| T moy (°C) | 20,6 | 16 | 11,3 | 7,9 | 7 | 8,2 | 10,9 | 13,2 | 16,6 | 20,1 | 23 | 23,9 |
| T min (°C) | 13,4 | 10 | 5,8 | 3 | 1,5 | 2,4 | 5 | 6,7 | 10 | 13,2 | 15,1 | 16,4 |
| T max (°C) | 27,8 | 22,1 | 16,9 | 12,9 | 12,5 | 14,1 | 16,8 | 19,7 | 23,2 | 27,1 | 31 | 31,4 |
| Rdt. (%) ** | 2,49 ab | 2,20 ab | 2,19 a | 2,44 ab | 2,25 ab | 2,52 ab | 2,11 a | 2,14 a | 3,02 cd | 2,62 bc | 3,13 d | 2,53 b |
| Ecart-type | 0,09 | 0,18 | 0,09 | 0,23 | 0,12 | 0,21 | 0,08 | 0,11 | 0,31 | 0,22 | 0,26 | 0,49 |

*(Source DREF de l'Oriental), **Précip.** Précipitation mensuelle, **Tmoy.** Température moyenne, **Tmin.** Température minimale, **Tmax.** Température maximale, **Rdt.** Rendement en HE

** Pour chaque ligne, les valeurs suivies de lettres différentes présentent des différences significatives à 95% (test de Duncan)

L'analyse de la variance a montré qu'il y a une différence très hautement significative du rendement en HE du romarin en fonction de la période de récolte ($F = 6,17$; $p = 0,0001$). Le test de Duncan n'a pas mis en évidence de différences significatives entre les échantillons récoltés entre les mois de septembre à d'avril (tableau 17). En effet, le rendement a été relativement faible en début du stade végétatif et de floraison. Ensuite, c'est pendant les mois de mai à juillet qu'il a augmenté de façon significative pour atteindre les 3%, quoiqu'une légère diminution ait été notée en mois de juin (2,62%). Ensuite, il diminue de façon significative en fin du cycle végétatif en mois d'aout.

Selon les stades phénologiques, des résultats controversés peuvent être trouvés dans la littérature sur la teneur en HE du romarin. Par exemple, pour le romarin cultivé dans le nord de l'Inde, aucune variation considérable dans la teneur en huiles de romarin n'a été observée au cours de l'année (1 - 1,14%) (Verma *et al.*, 2012). En revanche, les résultats rapportés par Jordán *et al.* (2013b) et Singh & Guleria (2013) sont en accord avec les nôtres, le romarin produit plus d'huile en stade de post-floraison. Au contraire, pour le romarin Tunisien, les plus grandes quantités d'HE ont été enregistrées au stade de floraison en décembre (Zaouali *et al.*, 2013).

Au Maroc, des résultats semblables ont été observés pour le romarin récolté dans la commune rural d'El Ateuf, située dans la région de l'Oriental au Maroc. Les échantillons de romarin ont été prélevés pendant les mois de mai, septembre et novembre de l'année 1993. Le rendement en HE a été maximal au mois de mai, soit 2,7%. Au mois de septembre, le rendement a légèrement diminué pour atteindre 2,4%. Ensuite, il a fortement chuté au mois de novembre.

Les échantillons récoltés pendant cette période ont présenté la plus faible teneur en HE qui était de l'ordre de 1,5% (El Amrani *et al.*, 1997b).

2.1.3. Effet de quelques paramètres bioclimatiques sur le rendement en HE

Plusieurs facteurs peuvent influencer la production des HE dans la plante, tels que les conditions environnementales dans lesquelles elle se développe (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012 ; Jordán *et al.*, 2013a). En effet, l'analyse de régression nous a permis de constater des corrélations significatives entre la variation des rendements en HE de romarin et l'évolution des paramètres bioclimatiques au cours de l'année. Cette analyse a montré que le rendement en HE de romarin est négativement corrélé aux précipitations mensuelles, alors qu'il est positivement corrélé à la température moyenne mensuelle, la température minimale mensuelle et la température maximale mensuelle (figure 30).

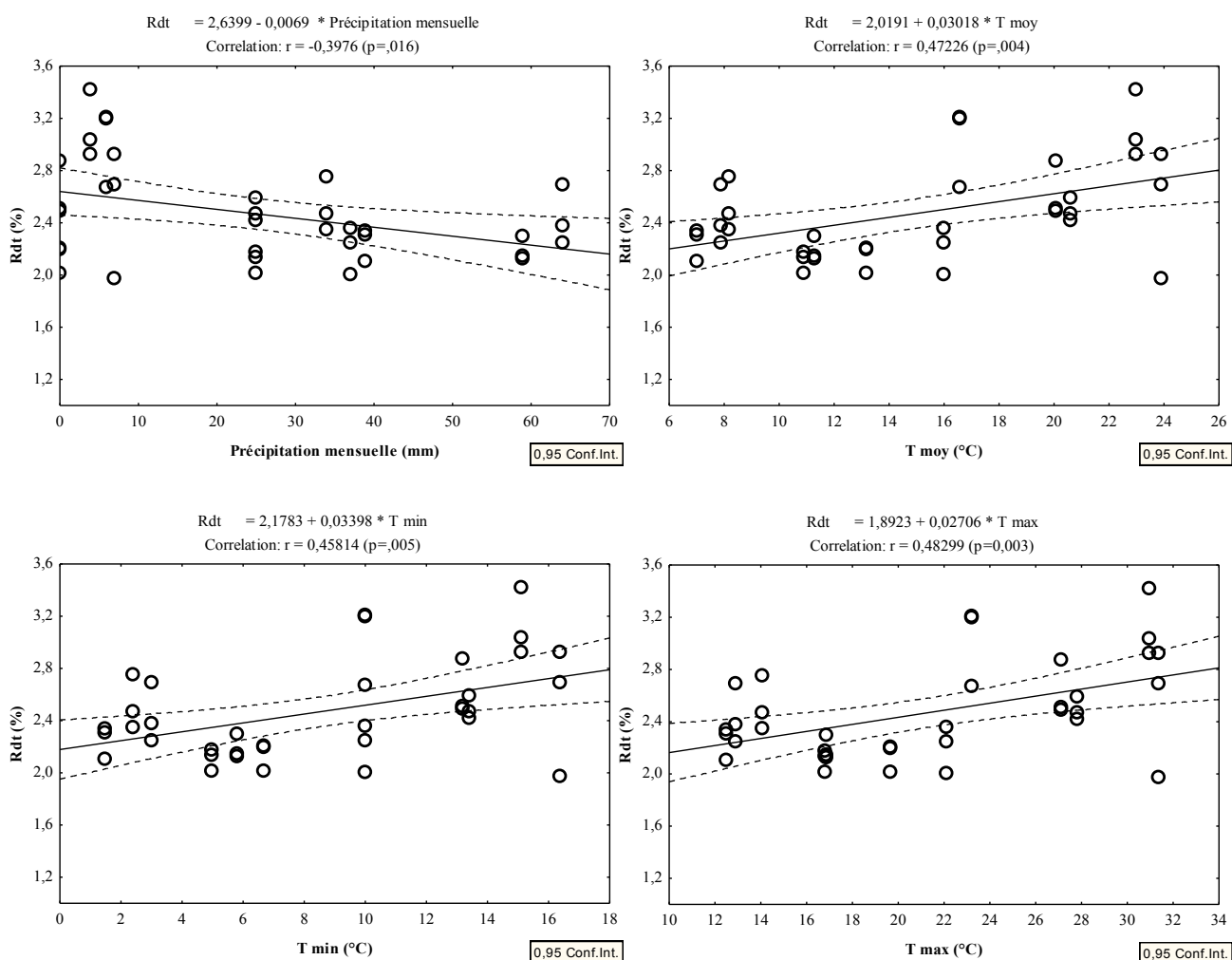


Figure 30. Corrélations entre les paramètres climatiques et le rendement en HE de *R. officinalis* dans la région de l'Oriental

Ainsi, en période de stress hydrique de juin à août (stade post-floraison), quand les précipitations étaient inférieures à 7 mm/mois et la température mensuelle moyenne atteignait 20 °C (tableau 17), la biosynthèse des composés organiques de la plante aurait été attribuée à la production des terpènes plutôt que de servir directement la croissance, et par conséquent nous avons constaté que la concentration en HE dans les échantillons de romarin a été améliorée. Vice-versa, en période pluvieuse (automne, hiver et printemps) quand les températures étaient clémentes, nous avons constaté que le rendement en HE a relativement diminué. En effet, les métabolites secondaires, tels que les HE, jouent un rôle majeur dans l'adaptation des plantes aux conditions de leur environnement. Celles-ci sont contraintes de faire des modifications dans leur physiologie pour lutter contre les dommages et s'adapter aux situations de stress (Edreva *et al.*, 2008). Des résultats similaires ont déjà été signalés pour *Salvia officinalis* (Nowak *et al.*, 2010), *Thymus satureioides* et *Origanum elongatum* (Ramzi *et al.*, 2017).

2.1.4. Effet de la provenance sur le rendement en HE

Le romarin à l'état naturel dans la région de l'Oriental est riche en HE en comparaison à d'autres plantes aromatiques et médicinales (Bozin *et al.*, 2006, Martins *et al.*, 2012). Selon l'origine de récolte, la teneur en HE a été comprise entre 1,7 et 2,8%. Le meilleur rendement a été enregistré pour les provenances de Talsint (Ta1 et Ta2) dans la province de Figuig, tandis que la plus faible teneur en HE a été enregistrée dans la province de Taourirt au niveau de la provenance de Sidi Lahcen (tableau 18).

Tableau 18. Rendement en HE de *R. officinalis* par province et par origine dans la région de l'Oriental au Maroc

| Province | Figuig | | Nador | Jerada | | Taourirt | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Ta1 | Ta2 | Az | Je | Gu | Ea | Da | Ef | Sl | De |
| Altitude (m) | 1467 | 1585 | 1406 | 1192 | 836 | 1270 | 1514 | 1545 | 1040 | 765 |
| Rendement (%) [*] | 2,78 ^a | 2,68 ^a | 1,81 ^{cd} | 2,12 ^b | 2,10 ^b | 1,93 ^c | 1,83 ^{cd} | 2,74 ^a | 1,73 ^d | 2,27 ^b |
| Ecart-type | 0,14 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,03 | 0,06 |

* Pour chaque ligne, les valeurs suivies de lettres différentes présentent des différences significatives à 95% (test de Duncan)

Ta. Talsint, **Az.** Ain Zohra, **Je.** Jerada, **Gu.** Guefaît, **Ea.** El Aouam, **Da.** Dada Ali, **Ef.** El Fachat, **Sl.** Sidi Lahcen, **De.** Debdou;

Les analyses statistiques, analyse de variance et comparaisons multiples de moyennes, ont mis en évidence des différences très hautement significatives de la teneur en HE entre les différentes provenances échantillonnées dans la zone d'étude. Ces analyses ont montré aussi qu'il y a trois groupes de provenances. Le premier groupe, constitué par Ta1, Ta2 et Ef, est significativement plus riche en HE que les autres provenances, le rendement est supérieur à 2,5%. Le second groupe, représenté par Je, Gu et De contient aussi des teneurs importantes en HE mais significativement moins riche que le premier, le rendement reste supérieur à 2%. Alors que, le troisième groupe, qui produit significativement moins d'HE que les autres groupes, est représenté par Az, Ea, Da et Sl, pour lequel le rendement est inférieur à 2% et supérieur à 1,70% (tableau 18).

La comparaison de ces résultats avec ceux de la littérature montre que le romarin de la région de l'Oriental est aussi riche en HE que les autres provenances étudiées au Maroc, puisque la teneur en HE a varié dans son aire de répartition dans la région entre 1,73 et 2,78%. Ces rendements sont comparables à ceux obtenus pour certaines provenances dans les régions du Rif (Ksar El Kebir, Ouezzane, Oued Laou), du Moyen Atlas (Sefrou, Tizi n'Telghemt, Berkine) et de l'Oriental (Ayoun Charquia, Rchida, Debdou) dont les teneurs en HE ont été comprises entre 1,60 et 2,73% (El Amrani *et al.*, 1997b ; Fechtal *et al.*, 2001a ; Khia *et al.*, 2014 ; Megzari *et al.*, 2015 ; Bouyahya *et al.*, 2017 ; Hannour *et al.*, 2018).

Plusieurs études ont été réalisées sur les HE du romarin en région méditerranéenne, les teneurs enregistrées ont été comprises entre 0,30% et 4,07%. Les plus faibles teneurs en HE sont celles obtenues pour le romarin de l'île de Corse et de la Serbie (0,5-0,7%) (Lakusic *et al.*, 2012 ; Casanova & Tomi, 2018). Alors que, les meilleures teneurs en HE ont été obtenues au niveau de certaines provenances du romarin en Grèce (2,8%), en Espagne (3,21%) (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012), et en Italie au niveau du clone (ORS1) dont la teneur en HE était la plus importante (4,07%) (Mulas *et al.*, 2002).

Toutes ces études s'accordent sur le fait qu'il y a de grandes différences de point de vue rendement en HE du romarin, recueilli auprès de populations appartenant à différentes zones biogéographiques en région Méditerranéenne. La position géographique, qui est caractérisée par la latitude, la longitude, la continentalité et l'altitude, est généralement associée à des changements de facteurs environnementaux, tels que la température, les précipitations, l'humidité, l'exposition au vent et aux embruns maritimes, qui influencent la biosynthèse des HE dans les plantes (Lakusic *et al.*, 2012 ; Jordan *et al.*, 2013a ; Aissi *et al.*, 2016).

2.1.5. Effet de quelques paramètres géographiques et orographiques sur le rendement en HE

Dans la région de l'Oriental au Maroc, la teneur en HE enregistrée au niveau des populations échantillonnées de romarin a montré une dépendance significative à certains facteurs abiotiques, notamment la latitude et la longitude (Figure 31). L'altitude n'a toutefois pas montré de corrélation statistiquement significative avec le rendement, contrairement à ce qui a été rapporté par Sotomayor et *al.* (2009) pour les populations de romarin originaires de Murcia, montrant une corrélation statistiquement positive entre ce paramètre et les rendements. Bien qu'on n'ait pas noté de relation significative entre ces deux paramètres, la même tendance a été constatée pour les provenances Ta1, Ta2 et Ef qui sont les plus altitudinales (>1467 m) et pour lesquelles les teneurs en huiles étaient les plus élevées.

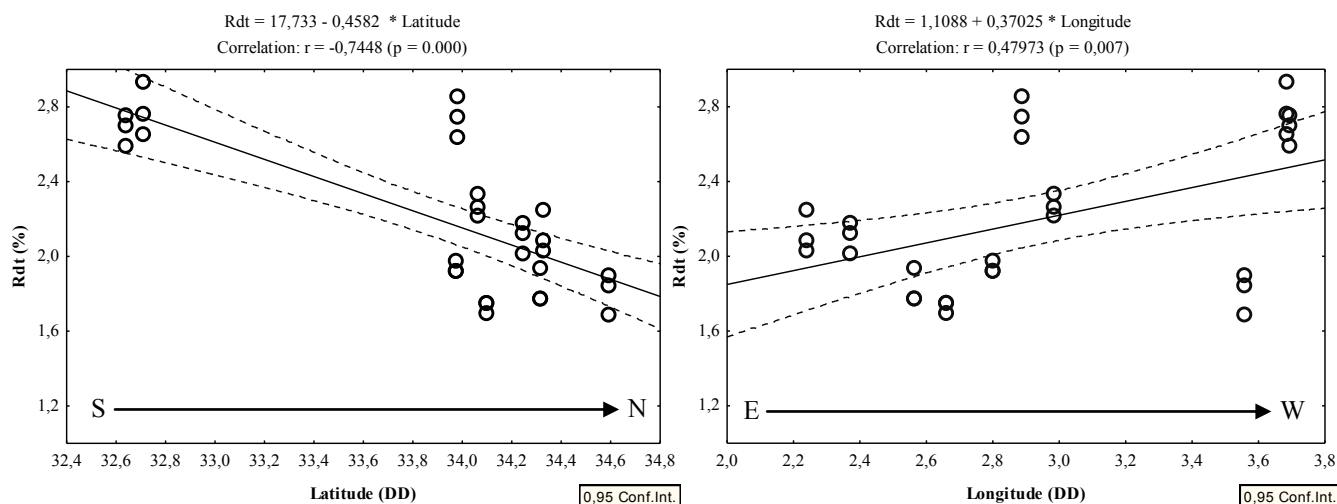


Figure 31. Corrélation entre la position géographique et le rendement en HE de *R. officinalis* dans la région de l'Oriental du Maroc

L'étude des huiles essentielles du romarin, dans son aire de répartition dans la région de l'Oriental au Maroc, a montré que la teneur en HE a présenté une corrélation négative avec la latitude et positive avec la longitude. Dans notre cas, le rendement a diminué en allant du sud vers le nord et a augmenté en allant de l'est vers l'ouest de la région. En effet, ce sont les provenances échantillonnées dans la province de Figuig (Ta1 et Ta2), qui sont les plus méridionales et les plus occidentales de la région, qui ont donné les rendements les plus importants en HE.

2.2. Caractérisation et étude de la variabilité de la composition chimique des HE de romarin

Les analyses chromatographiques ont permis l'identification de 35 composés, dont 14 constituants prédominants représentant plus de 92% de la composition totale des HE du romarin. Le 1,8-cinéole était le composé le plus abondant (42 - 54,8%) de tous les échantillons récoltés dans la région de l'Oriental, suivi du camphre (10,4 - 21,1%), du bornéol (3,4 - 11,7%), de l' α -pinène (3,6 - 10,7%), du β -pinène (2,6 - 6,6%), de l' α -terpinéol (3,6 - 5,5%), du camphène (1,8 - 3,7%), du β -Caryophyllène (0,6 - 2,6%), de l'acétate de bornyle (0,2 - 2,3%), du terpinène-4-ol (1,1 - 2%), du *p*-cymène (0,4 - 1,4%), du linalol (0,8 - 1,5%), du myrcène (0,8 - 1,4%) et de l'oxyde de caryophyllène (0,2 - 1,2%). Les autres composés de l'HE de romarin sont principalement des monoterpènes, mais leurs concentrations étaient très faibles ($\leq 1\%$) (tableau 19, figure 32). Des profils chimiques similaires ont également été observés pour les HE de romarin dans des études antérieures (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Verma *et al.*, 2012 ; Lakusic *et al.*, 2012 ; Bégum *et al.*, 2013 ; Jordán *et al.*, 2013a et b ; Zaouali *et al.*, 2013 ; Ismaili *et al.*, 2017).

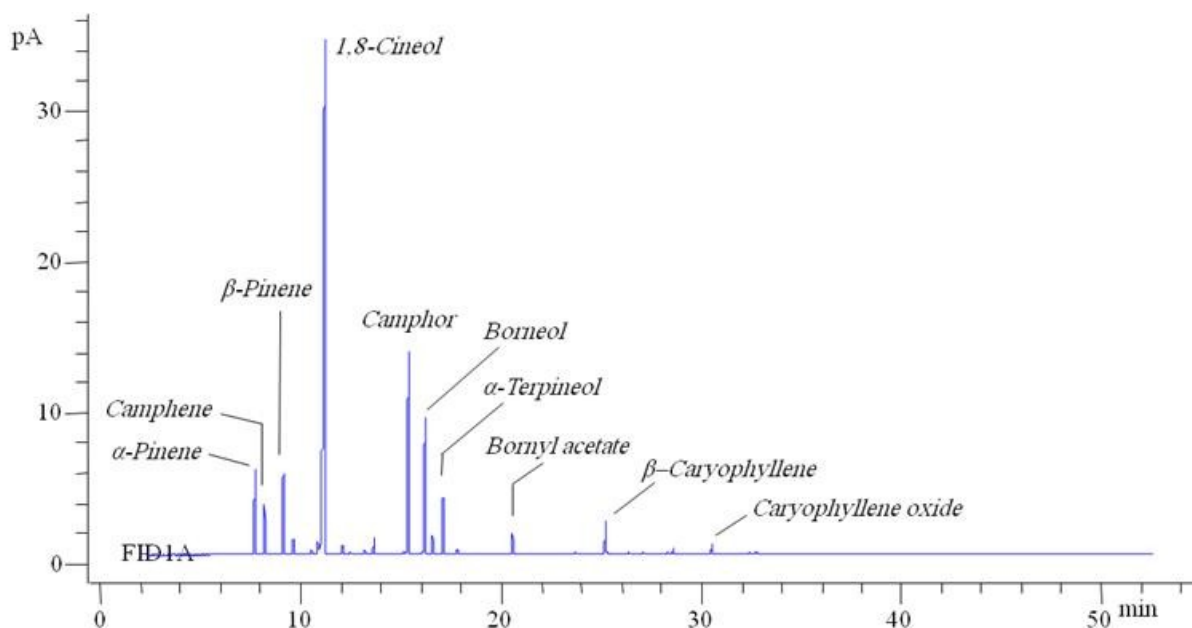


Figure 32. Chromatogramme typique de l'HE de *R. officinalis* analysée par CPG-DIF

* Nom des composés en anglais

Tableau 19. Composition chimique des HE de *R. officinalis* selon l'origine et la période de récolte

| Origine | Stade phénologique | Ta1 | Ta2 | Je | Gu | Az | Ea | Da | Ef | Sl | De | Parcelle expérimentale de Debdou | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|
| | | Post-floraison | | | | | | | | | | Sig | Sep | Oct | Nov | Floraison | | | | | Post-floraison | | | | Sig | | |
| Rdt (%) | IRc | 2,8 | 2,7 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 2,7 | 1,7 | 2,3 | *** | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | Pré-floraison | | |
| 1 | <i>Tricyclène</i> | 926 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | ** |
| 2 | <i>α-Thujène</i> | 930 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | *** | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** |
| 3 | <i>α-Pinène</i> | 938 | 8,7 | 8,7 | 8,8 | 6,0 | 7,5 | 6,5 | 8,2 | 10,7 | 6,7 | ** | 6,8 | 6,2 | 6,4 | 3,6 | 3,8 | 5,4 | 6,0 | 3,9 | 3,9 | 5,6 | 7,2 | 7,4 | 7,4 | ** | |
| 4 | <i>Camphène</i> | 952 | 3,7 | 3,3 | 3,6 | 2,7 | 3,0 | 1,9 | 3,2 | 3,6 | 2,7 | *** | 3,2 | 2,7 | 3,0 | 1,8 | 2,2 | 2,8 | 3,2 | 2,2 | 2,0 | 2,8 | 3,3 | 3,1 | 3,1 | * | |
| 5 | <i>β-Pinène</i> | 980 | 5,2 | 4,5 | 5,7 | 3,5 | 2,6 | 5,1 | 5,2 | 6,8 | 3,7 | *** | 2,9 | 2,7 | 3,1 | 2,7 | 3,5 | 4,8 | 6,6 | 5,9 | 5,1 | 5,6 | 4,8 | 3,7 | 3,7 | *** | |
| 6 | <i>3-Octanone</i> | 986 | t | t | t | t | 0,1 | T | 0,0 | 0,0 | 0,1 | NS | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | t | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | t | t | NS | |
| 7 | <i>Myrcène</i> | 993 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,0 | *** | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | NS | |
| 8 | <i>α-Phellandrène</i> | 1005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | ** | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** | |
| 9 | <i>α-Terpinène</i> | 1018 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | *** | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | *** | |
| 10 | <i>p-Cymène</i> | 1026 | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 1,3 | *** | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | *** | |
| 11 | <i>1,8-Cinéole</i> | 1034 | 43,6 | 44,2 | 46,0 | 44,5 | 45,7 | 53,6 | 46,4 | 50,7 | 54,8 | *** | 45,8 | 50,0 | 43,3 | 42,2 | 42,0 | 43,7 | 42,1 | 44,9 | 42,5 | 44,2 | 47,8 | 49,8 | 49,8 | *** | |
| 12 | <i>(Z)-β-Ocimène</i> | 1040 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | t | T | 0,0 | 0,0 | 0,3 | *** | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | NS | |
| 13 | <i>(E)-β-Ocimène</i> | 1049 | 0,0 | t | t | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | t | NS | t | t | t | t | t | t | t | t | t | t | t | t | t | NS | |
| 14 | <i>γ-Terpinène</i> | 1059 | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,4 | *** | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | *** | |
| 15 | <i>trans-Sabinène hydrate</i> | 1068 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | t | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | * | t | t | t | 0,1 | t | 0,2 | 0,1 | t | 0,3 | 0,1 | 0,1 | t | t | *** | |
| 16 | <i>Terpinolène</i> | 1087 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | *** | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | *** | |
| 17 | <i>Linalol</i> | 1098 | 1,0 | 1,5 | 1,2 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,1 | 0,9 | 1,8 | *** | 1,0 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | NS | |
| 18 | <i>Chrysanthenone</i> | 1121 | 0,0 | 0,1 | t | t | t | 0,0 | 0,0 | 0,0 | t | NS | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** | |
| 19 | <i>Campholenal</i> | 1125 | 0,0 | 0,0 | t | t | t | T | 0,0 | 0,0 | t | NS | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | * | |
| 20 | <i>Camphre</i> | 1143 | 21,1 | 20,2 | 15,0 | 19,0 | 18,5 | 11,9 | 15,0 | 13,0 | 10,4 | *** | 16,0 | 15,7 | 15,1 | 18,8 | 16,9 | 12,7 | 13,6 | 15,3 | 15,2 | 15,4 | 14,2 | 13,1 | 13,1 | NS | |
| 21 | <i>Bornéol</i> | 1163 | 3,6 | 5,1 | 5,7 | 6,2 | 5,7 | 3,4 | 4,0 | 1,9 | 4,6 | *** | 9,0 | 6,7 | 8,9 | 9,4 | 9,6 | 9,4 | 8,1 | 7,6 | 11,7 | 7,6 | 7,0 | 7,3 | 7,3 | NS | |
| 22 | <i>Terpinène-4-ol</i> | 1174 | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,1 | 1,5 | *** | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | *** | |
| 23 | <i>p-Cymène-8-ol</i> | 1182 | t | t | t | 0,1 | 0,1 | T | t | 0,0 | 0,1 | ** | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** | |

IR, Indices de rétention mesurés par rapport aux n-alcanes (C8 – C22) en utilisant une colonne capillaire (HP-5) ; **t** : composés à l'état de traces (<0,05%) ; * P = 0,05 ; ** P = 0,01 ; *** P = 0,001 ; **NS**, Aucune signification ;

Ta, Talsint ; **Je**, Jerada ; **Gu**, Gueffâit ; **Az**, Ain Zohra ; **Ea**, El Aouam ; **Da**, Dada Ali ; **Ef**, El Fachat ; **Sl**, Sidi Lahcen ; **De**, Debdou

Tableau 19 (suite)

| Origine | Stade phénologique | IRc | Parcelle expérimentale de Debdou | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|-----------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|-----|
| | | | Ta1 | Ta2 | Je | Gu | Az | Ea | Da | Ef | Sl | De | Sig | Sép | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout | Sig |
| | | | Post-floraison | | | | | | | | | | Pré-floraison | | | Floraison | | | | Post-floraison | | | | | | |
| Composés | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | <i>α-Terpinéol</i> | 1186 | 3,9 | 4,5 | 4,5 | 5,3 | 5,1 | 5,5 | 5,3 | 4,4 | 5,3 | 4,6 | ** | 4,1 | 4,3 | 4,2 | 4,8 | 4,2 | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 4,5 | 4,3 | 3,6 | 4,0 | NS |
| 25 | <i>Myrtenol</i> | 1193 | 0,0 | t | t | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | *** | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | NS |
| 26 | <i>Verbenone</i> | 1204 | 0,0 | t | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 0,9 | 0,4 | 0,0 | 0,6 | 0,1 | *** | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | NS |
| 27 | <i>Acétate de Bornyle</i> | 1283 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,8 | *** | 0,6 | 0,4 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 2,2 | 2,3 | 1,5 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | *** |
| 28 | <i>Thymol</i> | 1290 | 0,0 | t | 0,0 | t | t | 0,0 | 0,0 | 0,0 | t | t | NS | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | t | t | t | t | 0,1 | ** |
| 29 | <i>Carvacrol</i> | 1297 | t | t | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | *** | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | t | 0,1 | *** |
| 30 | <i>Eugenol</i> | 1353 | 0,1 | t | 0,1 | t | 0,0 | t | t | 0,1 | t | t | NS | t | t | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | t | 0,1 | 0,1 | 0,0 | t | NS |
| 31 | <i>β-Caryophyllène</i> | 1418 | 1,6 | 0,6 | 1,6 | 2,7 | 1,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | *** | 0,7 | 0,6 | 1,4 | 2,0 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,2 | 1,5 | 0,9 | *** |
| 32 | <i>α-Humulène</i> | 1454 | 0,1 | t | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | t | 0,1 | t | * | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | ** |
| 33 | <i>γ-Muuroène</i> | 1475 | 0,0 | t | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | *** | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | *** |
| 34 | <i>Oxyde de Caryophyllène</i> | 1580 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | *** | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | *** |
| 35 | <i>α-Cadinol</i> | 1652 | t | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | * | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | *** |
| Classes chimiques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Monoterpènes hydrocarbonés | | 22,0 | 19,4 | 21,8 | 15,1 | 16,8 | 17,4 | 20,4 | 25,4 | 17,0 | 19,6 | ** | 16,8 | 15,3 | 16,4 | 11,6 | 12,9 | 16,7 | 19,6 | 15,8 | 14,6 | 18,0 | 19,2 | 18,1 | NS |
| 37 | Monoterpènes oxygénés | | 75,4 | 77,5 | 74,8 | 78,6 | 80,4 | 79,1 | 74,6 | 72,3 | 79,7 | 77,7 | ** | 79,0 | 80,9 | 76,3 | 80,4 | 78,1 | 74,9 | 73,6 | 78,2 | 79,5 | 76,5 | 76,4 | 78,0 | NS |
| 38 | Sesquiterpènes hydrocarbonés | | 1,7 | 0,7 | 2,0 | 3,1 | 1,1 | 1,4 | 2,1 | 0,7 | 1,0 | 0,9 | *** | 0,9 | 0,7 | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,3 | 2,1 | 1,5 | 1,9 | 1,1 | *** |
| 39 | Sesquiterpènes oxygénés | | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 0,6 | 0,7 | *** | 0,9 | 0,7 | 1,6 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | *** |

IR, Indices de rétention mesurés par rapport aux n-alcane (C8 – C22) en utilisant une colonne capillaire (HP-5) ; t : composés à l'état de traces (<0,05%) ; * P = 0,05 ; ** P = 0,01 ; *** P = 0,001 ; NS, Aucune signification,

Ta, Talsint ; Je, Jerada ; Gu, Guefait ; Az, Ain Zohra ; Ea, El Aouam ; Da, Dada Ali ; Ef, El Fachat ; Sl, Sidi Lahcen ; De, Debdou

À l'exception du myrcène, du linalol, du camphre, du bornéol, de l' α -terpinéol et d'autres composés mineurs qui ont présenté de légères variations dans leurs teneurs au cours d'un cycle végétatif complet, la concentration de la plupart des composants de l'HE de romarin a été significativement influencée par la période de récolte et par la provenance (tableau 19). En outre, l'analyse statistique n'a montré aucune variation significative des niveaux des monoterpènes hydrocarbonés et des monoterpènes oxygénés au cours des différents stades de croissance de la plante. Il semblerait que la variation de la concentration de certains composés ait été compensée par une diminution ou une augmentation des concentrations d'autres composés. En revanche, la concentration des sesquiterpènes, dont la teneur totale a varié entre 1 et 4,8%, a été influencée de manière significative par le stade phénologique de la plante et par l'origine de récolte. Ces dissemblances peuvent survenir en réponse à certains processus physiologiques liés aux conditions bioclimatiques et biogéographiques différentes dans la zone d'étude (Lakusic *et al.*, 2012 ; Santos *et al.*, 2015 ; Aissi *et al.*, 2016).

2.2.1. Variabilité de la composition des HE de romarin au cours d'un cycle végétatif

L'analyse de la variation globale de la composition en HE du romarin au cours d'un cycle végétatif complet a été évaluée par l'Analyse en Composantes Principales (ACP). 14 composés majoritaires, dont la teneur moyenne était supérieure à 1%, ont été considérés en tant que variables actives. Le rendement moyen en HE, les classes chimiques et certains paramètres bioclimatiques (tels que les précipitations mensuelles et les températures moyennes mensuelles) ont été pris en tant que variables supplémentaires (figure 33).

Cette analyse exploratoire a mis en évidence l'existence de corrélations importantes et complexes entre les variables étudiées. Les graphiques en deux dimensions, établis selon les axes 1 et 2 et expliquant 70,93% de la variation totale, ont permis de synthétiser la variabilité chimique des HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet. Celle-ci a été influencée par la période de récolte et la variation des paramètres bioclimatiques (précipitations mensuelles et températures moyennes mensuelles).

En stade de post-floraison (juillet-août), lorsque les températures moyennes mensuelles étaient maximales (23 - 23,9°C) et les précipitations étaient minimales (4 - 7mm/ mois), les HE du romarin se distinguaient par leur importante concentration en 1,8-cinéole (47,8 - 50%) et en monoterpènes hydrocarbonés (15,3 - 19,2%), particulièrement le *p*-cymène (0,9 - 1,4%), l' α -pinène (6,2 - 7,4%), le camphène (2,7-3,3%) et le myrcène (0,9-1,1%). Les teneurs en ces composés étaient négativement corrélées aux sesquiterpènes oxygénés et hydrocarbonés, à l' α -

terpinéol, au bornéol, au terpinène-4-ol et à l'acétate de bornyle, dont les concentrations étaient minimisées pendant cette période.

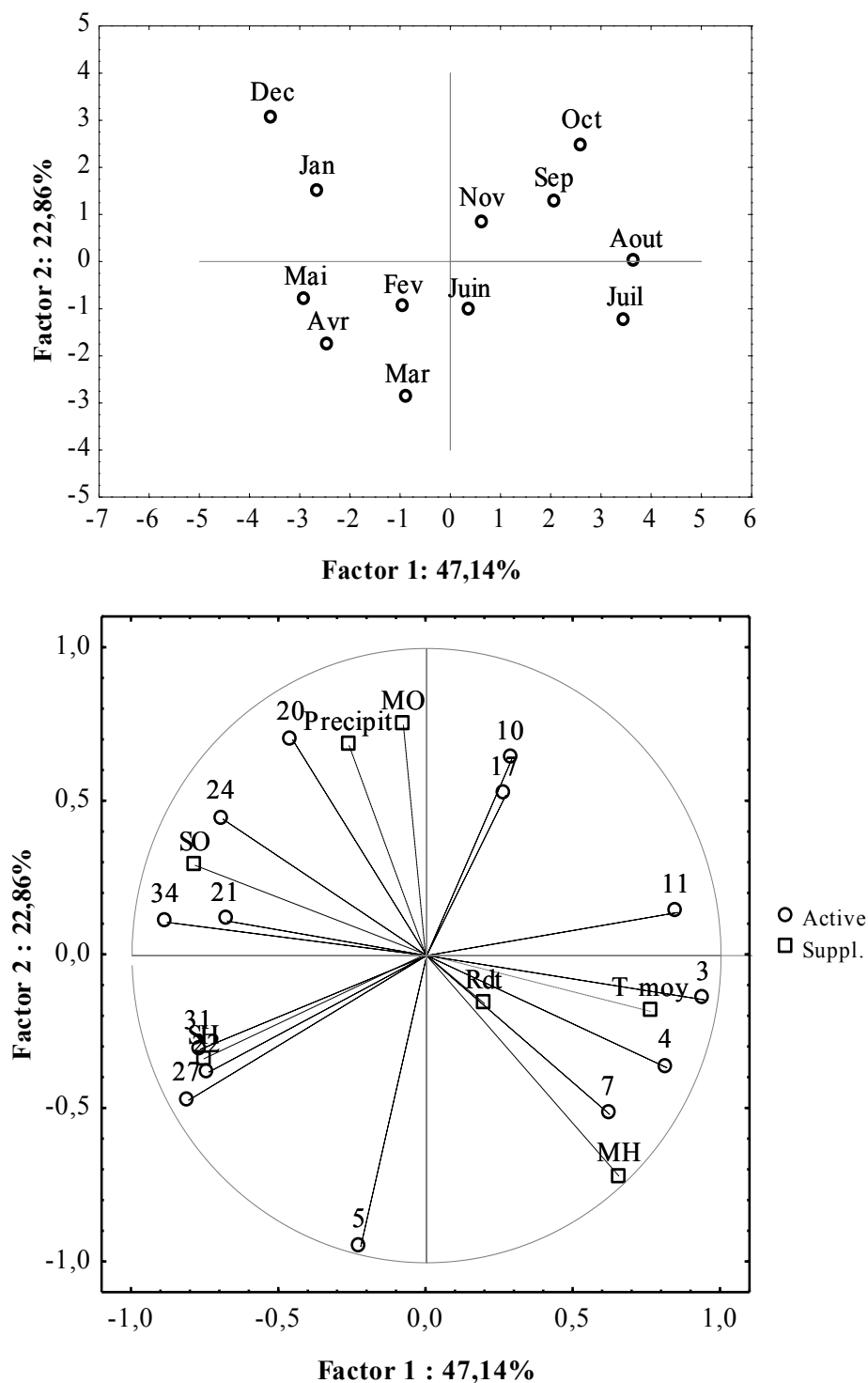


Figure 33. Diagrammes d'ACP de la composition chimique des HE de *R. officinalis* au cours d'un cycle végétatif complet

Variables actives : 3. α -Pinène, 4. Camphène, 5. β -Pinène, 7. Myrcène, 10. *p*-Cymène, 11. 1,8-Cinéole, 17. Linalol, 20. Camphre, 21. Bornéol, 22. Terpinène-4-ol, 24. α -Terpinéol, 27. Acétate de Bornyle, 31. β -Caryophyllène, 34. Oxyde de Caryophyllène.

Variables supplémentaires : Précipit. Précipitations mensuelles, T moy. Température moyenne mensuelle, MH. Monoterpènes Hydrocarbonés, MO. Monoterpènes Oxygénés, SH. Sesquiterpènes Hydrocarbonés, SO. Sesquiterpènes Oxygénés.

À l'arrivée de la saison des pluies en automne, pendant les mois de septembre et d'octobre en stade de pré-floraison (25 – 37 mm/mois), d'importantes concentrations en monoterpènes oxygénés ont été observées (79 - 80,9%) dans les HE du romarin, suite à une augmentation dans les concentrations en camphre, en α -terpinéol et en linalol. Alors que les concentrations en β -pinène ont chuté à leurs plus faibles pourcentages (2,7 - 2,9%).

Au début de floraison (décembre-janvier), lorsque qu'il faisait froid (7 - 7,9°C) et les pluies étaient abondantes (39 - 64 mm/mois), les concentrations en monoterpènes hydrocarbonés étaient minimales dans l'HE (11,6 - 12,9%), principalement celles de l' α -pinène (3,6 - 3,8%), du camphène (1,8 - 2,2%), du myrcène (0,8%) et du β -pinène (2,7 - 3,5%). Quoiqu'au cours de cette période, les teneurs en 1,8-cinéole avaient atteint leurs plus faibles pourcentages (42 - 42,2%), les concentrations en monoterpènes oxygénés sont restées relativement importantes dans l'HE de romarin (78,1 - 80,4%). Cette diminution du 1,8-cinéole a été largement compensée par une amélioration dans la teneur en camphre, qui avait atteint son niveau maximum (16,9 - 18,8%) (tableau 19 ; figure 33 ; annexe 2).

Une tendance inverse a été observée au mois de mars en stade de pleine floraison, la teneur en β -pinène a été maximisée dans l'HE (6,6%), tandis que celle des monoterpènes oxygénés avait été minimisée (73,6%) suite à une réduction dans les teneurs du 1,8-cinéole (42,1%) et du camphre (13,6%). Ensuite, en fin de période de floraison en avril-mai, à la fin de la saison des pluies (0 - 6 mm/mois), la différenciation chimique globale des HE de romarin a été principalement marquée par des concentrations relativement faibles en α -pinène (3,9%) et en camphène (2 - 2,2%), et par une augmentation de la teneur en MO (78,2 - 79,5%) essentiellement celles du bornéol (7,6 - 11,7%), du terpinène-4-ol (1,7 - 2%), de l'acétate de bornyle (1,5 - 2,3%) et du camphre (15,2 - 15,3%). En cette période, la teneur en 1,8-cinéole demeurait relativement faible (42,5 - 44,9%) et celle des sesquiterpènes relativement au-dessus de la moyenne (3,1 - 3,3%) (annexe 2).

2.2.2. Variabilité de la composition des HE de romarin selon la provenance

La différenciation globale de la composition chimique des HE de romarin entre provenances, évaluée par l'ACP, a été également basée sur la teneur moyenne des 14 composés majoritaires considérés comme variables actives. Alors que, le rendement moyen en HE, les classes chimiques et certains facteurs biogéographiques (altitude, latitude et longitude) ont été considérés en tant que variables supplémentaires (figure 34). Les diagrammes en deux dimensions issus de cette analyse ont aussi permis une bonne représentation de la différenciation globale de ces HE en expliquant 70,93% de la variation totale.

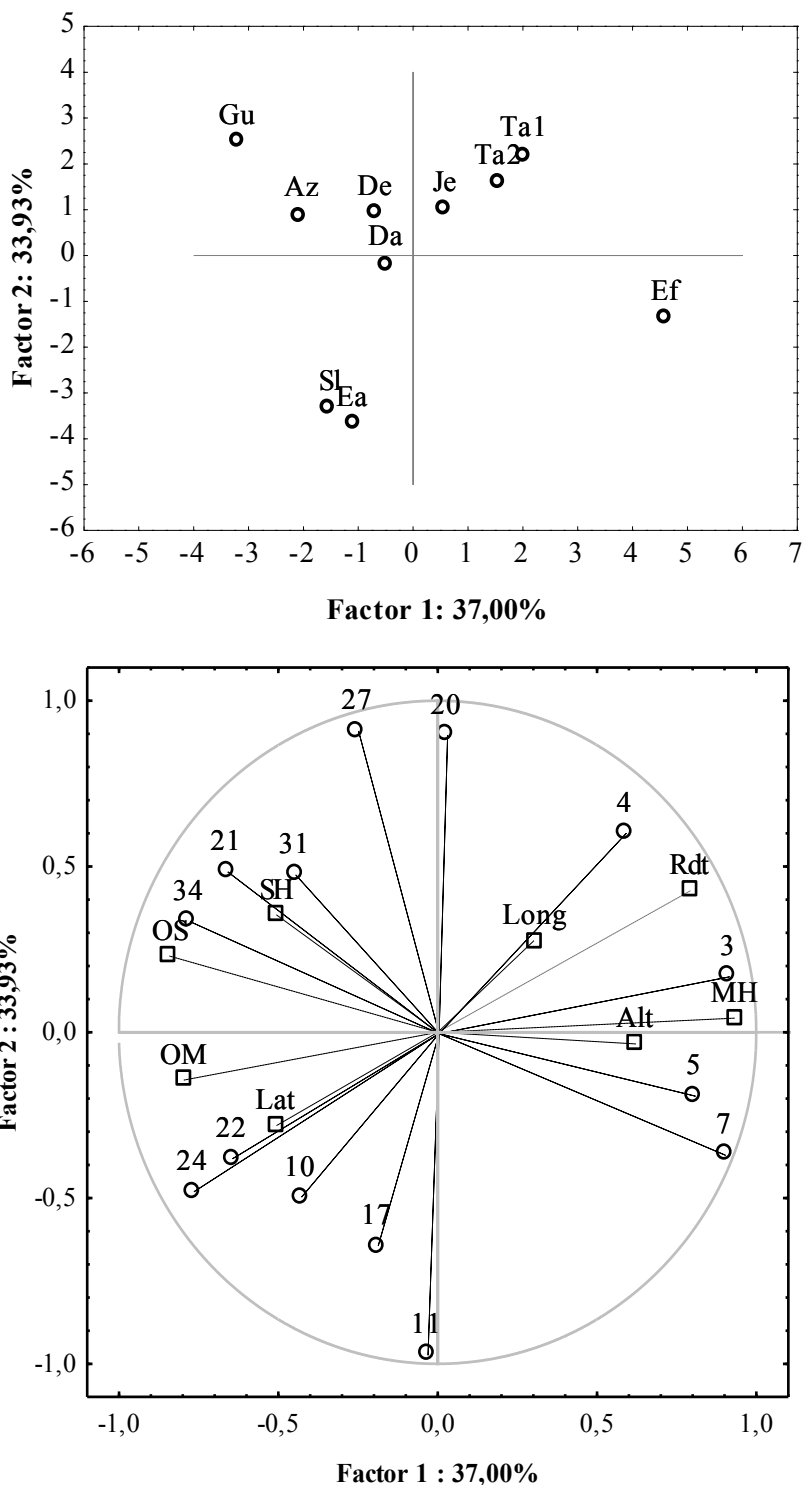


Figure 34. Diagrammes d'ACP de la composition chimique des HE de *R. officinalis* selon l'origine de récolte

Variables actives : 3. α -Pinène, 4. Camphène, 5. β -Pinène, 7. Myrcène, 10. p-Cymène, 11. 1,8-Cinéole, 17. Linalol, 20. Camphre, 21. Bornéol, 22. Terpinène-4-ol, 24. α -Terpinéol, 27. Acétate de bornyle, 31. β -Caryophyllène, 34. oxyde de Caryophyllène.

Variables supplémentaires : Alt. Altitude, Lat. Latitude, Long. Longitude, Rdt. Rendement HE, MH. Monoterpènes Hydrocarbonés, MO. Monoterpènes Oxygénés, SH. Sesquiterpènes Hydrocarbonés, SO. Sesquiterpènes Oxygénés.

Selon l'axe factoriel 1, expliquant 37% de variation totale, les populations étudiées ont été différenciées en deux groupes :

- Le premier groupe, formé par les provenances méridionales culminantes à des altitudes supérieures à 1467 m (Talsint1, Talsint2 et El Fachat), a été classé du côté positif de l'axe 1. Sur le plan chimique, ces provenances se différencient par des teneurs relativement élevées en HE (2,7 à 2,8%), par des niveaux relativement élevés en monoterpènes hydrocarbonés (19,4 à 25,4%), comme l' α -pinène, le camphène, le β -pinène et le myrcène, et par des teneurs relativement faibles en monoterpènes oxygénés (72,3 à 77,5%), en sesquiterpènes hydrocarbonés (0,7 à 1,7%) et oxygénés (0,3 à 0,4%).
- Le second groupe, formé par les provenances de Guefaît, Aïn Zohra, Sidi Lahcen et El Aouam, situées à des altitudes inférieures à 1410 m, a été classé du côté négatif de l'axe 1. De point de vue chimique, ces provenances se différencient par une faible teneur en HE (1,7 à 2,1%), de faibles concentrations en monoterpènes hydrocarbonés (15,1 à 17,4%) et par des teneurs relativement élevées en monoterpènes oxygénés (78,6 à 80,4%), en sesquiterpènes hydrocarbonés (1 à 3,1%) et en sesquiterpènes oxygénés (0,4 à 1%).

En revanche, selon l'axe factoriel 2 qui représente 33,9% de la variation totale, la différenciation chimique globale des provenances étudiées de romarin a été engendrée principalement par la variabilité dans les concentrations en 1,8-cinéole, camphre et acétate de bornyle. Les populations de romarin de Talsint (Ta1 et Ta2), de Guefaît et de Ain Zohra, qui sont situées du côté positif de l'axe 2, se caractérisent en effet par des teneurs relativement élevées en camphre (18,5 à 21,1%), acétate de bornyle (0,7 à 0,9%) et des teneurs relativement faibles en 1,8-cinéole (43,6 à 45,7%). Alors que, les populations de Sidi Lahcen et d'El Aouam, situées du côté négatif de cet axe, sont très riches en 1,8-cinéole (53,6 à 54,8%) et contiennent les plus faibles concentrations en camphre (10,4 à 11,9%) et en acétate de bornyle (0,2 à 0,3%).

2.2.3. Effet des facteurs abiotiques sur la composition chimique des HE de romarin

Différents modèles soulignant des relations complexes entre les facteurs géographiques et bioclimatiques avec la composition chimique des HE de romarin ont été rapportés dans la littérature (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012). Ainsi, afin d'expliquer les variations

de la composition des HE observées au cours de l'année et les différenciations chimiques entre les provenances étudiées du romarin dans la région de l'Oriental au Maroc, une analyse de corrélation complémentaire a été réalisée. La matrice issue de cette analyse a montré des relations significatives à hautement significatives avec les paramètres géographiques et bioclimatiques de la région (Tableau 20). À part le linalol et la classe des monoterpènes oxygénés, tous les autres composés majoritaires et classes chimiques ont été au moins influencés par l'un des paramètres investigués.

Tableau 20. Matrice de corrélation (r) entre la composition chimique et les paramètres géographiques et bioclimatiques

| Variable | Alt | Lat | Long | Précipit | T moy |
|------------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| Rendement | 0,3560 | -0,7448*** | 0,4797** | -0,3976* | 0,4723** |
| α -Pinène | 0,4470* | -0,2258 | 0,2040 | -0,1379 | 0,5279** |
| Camphène | 0,1955 | -0,2466 | 0,2100 | -0,1581 | 0,3797* |
| β -Pinène | 0,4254* | -0,2143 | -0,1819 | -0,5569*** | 0,0283 |
| Myrcène | 0,5032** | -0,3446 | 0,1054 | -0,4838** | 0,5822*** |
| <i>p</i> -Cymène | -0,4859** | 0,5637** | -0,1539 | 0,7494*** | -0,2357 |
| 1,8-Cinéole | -0,1502 | 0,3056 | -0,3238 | -0,2753 | 0,5987*** |
| Linalol | 0,0625 | -0,1089 | 0,0861 | 0,0170 | 0,1153 |
| Camphre | 0,2363 | -0,5037** | 0,5617** | 0,3169 | -0,2152 |
| Bornéol | -0,6715*** | 0,2254 | -0,0926 | 0,1713 | -0,2888 |
| Terpinène-4-ol | -0,0909 | 0,4452* | -0,2755 | -0,2824 | -0,2770 |
| α -Terpinéol | -0,2387 | 0,4950** | -0,3664* | 0,1805 | -0,2277 |
| Acétate de Bornyle | -0,2054 | -0,1807 | 0,3841* | -0,0522 | -0,5486** |
| β -Caryophyllène | -0,2886 | 0,1884 | -0,4398* | 0,1755 | -0,6901*** |
| Oxyde de Caryophyllène | -0,6879*** | 0,4074* | -0,5049** | 0,5478** | -0,8754*** |
| Monoterpènes hydrocarbonés | 0,4242* | -0,2254 | 0,0761 | -0,3934* | 0,4091* |
| Monoterpènes oxygénés | -0,3480 | 0,1283 | 0,1368 | 0,1002 | 0,0839 |
| Sesquiterpènes hydrocarbonés | -0,3190 | 0,2651 | -0,5249** | 0,1605 | -0,6808*** |
| Sesquiterpènes oxygénés | -0,6306*** | 0,5466** | -0,4858** | 0,6945*** | -0,8563*** |

Alt. Altitude, Lat. Latitude, Long. Longitude, Précipit. Précipitations mensuelles, T moy. Température moyenne mensuelle, * P <0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001

- Incidence des paramètres bioclimatiques sur la composition chimique des HE de romarin

L'évolution de la composition chimique des HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet a été significativement influencée par la variabilité des températures moyennes mensuelles et des précipitations au cours de l'année. Il convient de souligner que ces deux paramètres sont parmi les facteurs clés régulant la biosynthèse des HE au cours des différents

stades de croissance des plantes. La température minimale mensuelle et la température maximale mensuelle ont présenté un haut degré de colinéarité avec la température moyenne mensuelle, et par conséquent ont été exclut de l'analyse.

Comme on peut le déduire de l'analyse de régression (régression linéaire) (tableau 20), quatre composants de l'HE ont présenté une corrélation significative simultanément aux deux paramètres bioclimatiques étudiés :

- ✓ Le myrcène et la classe des MH ont présenté une corrélation négative avec les précipitations mensuelles et positives avec la température moyenne mensuelle.
- ✓ En revanche, le contraire a été observé dans le cas de l'oxyde de caryophyllène et de la classe des SO.

Les autres composants de l'HE de romarin qui ont présenté une corrélation significative avec l'un des paramètres bioclimatiques sont le β -pinène, le myrcène, l' α -pinène, le 1,8-cinéole, le bornyle acétate, le β -caryophyllène et la classe des SH.

En automne et en hiver quand les précipitations étaient abondantes :

- ✓ Les concentrations en β -pinène ont significativement diminué.
- ✓ Celles du myrcène ont au contraire significativement augmenté.

En conditions de température élevée en été et en début de l'automne :

- ✓ Les concentrations en α -pinène et en 1,8-cinéole ont augmenté.
- ✓ Alors que, celles du bornyle acétate, du β -caryophyllène et des SH ont significativement diminué (figure 35).

Dans le cadre de l'étude réalisée par Lakusic et *al.* (2012) en région de Sardaigne en Italie, le paramètre bioclimatique qui a eu le plus d'incidence sur la teneur en composés majoritaires était la température moyenne mensuelle. En revanche, les précipitations n'ont pas présenté d'effets significatifs sur la variabilité de la composition chimique des HE de romarin. Nos résultats sont en accord avec cette étude principalement en ce qui concerne la relation entre la température et les teneurs moyennes en 1,8-cinéole et en camphre : « *en conditions de climats plus chauds, les quantités en 1,8-cinéole augmentent par rapport à celles du camphre et vice-versa* ». Quoiqu'il en soit, la corrélation de ce dernier avec la température n'ait pas été significative ($p = 0,208$), les teneurs maximales en camphre ont été obtenues en hiver quand les températures moyennes étaient plus froides, et les teneurs les plus faibles ont été obtenues en été quand les températures étaient parmi les plus chaudes.

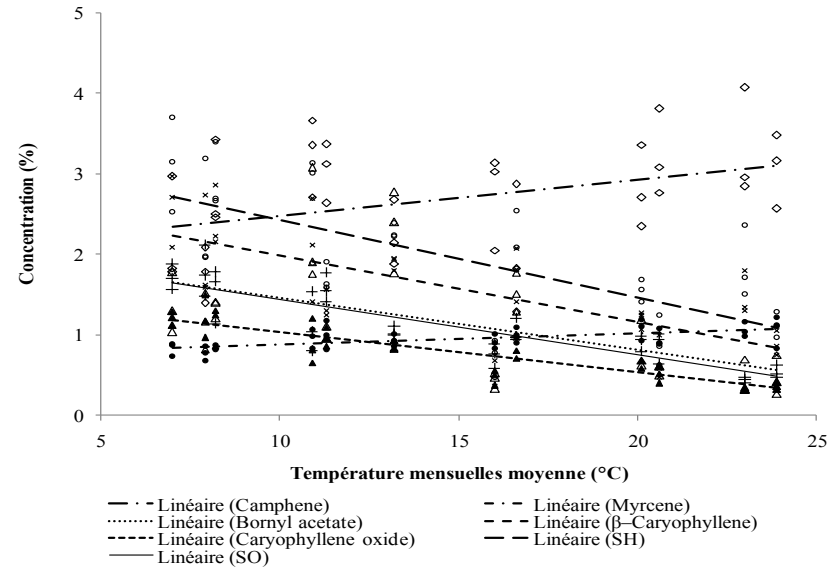
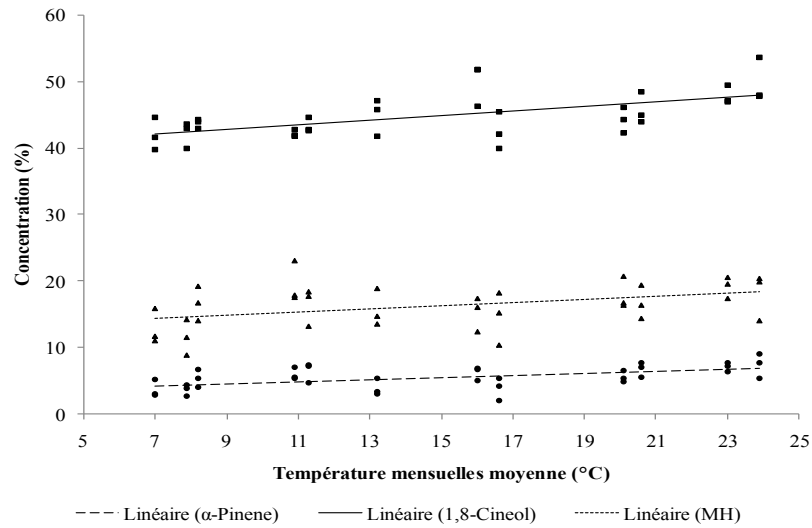
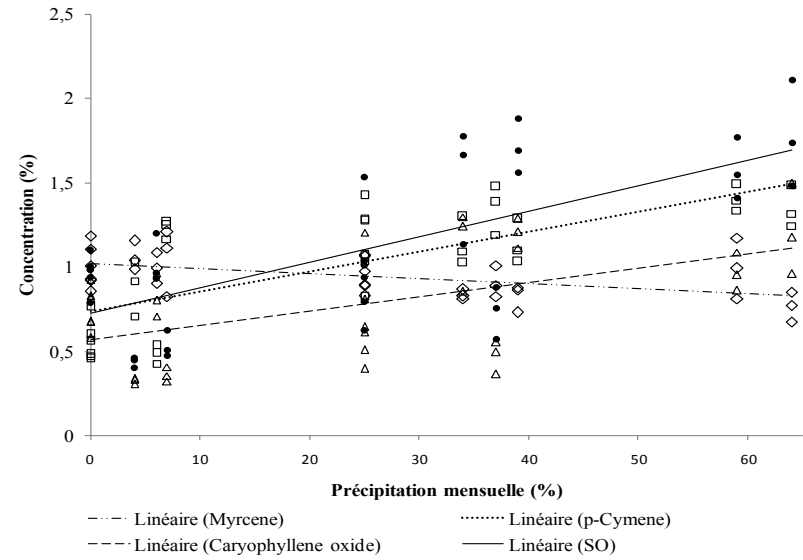
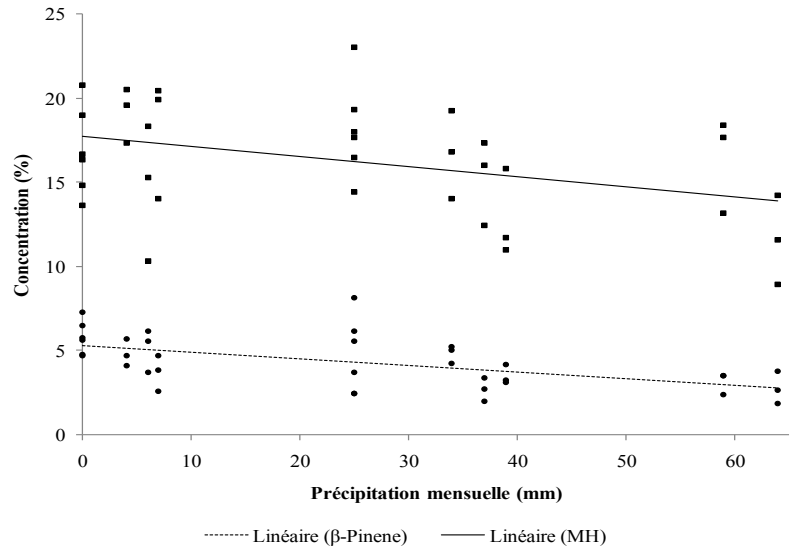


Figure 35. Relation entre les facteurs bioclimatiques et les constituants les plus sensibles de l'HE de *R. officinalis*

- Incidence des paramètres géographiques et orographiques sur la composition chimique des HE de romarin

Dans la région orientale du Maroc, la composition chimique des HE de romarin a présenté une corrélation significative avec les facteurs géographiques de l'habitat. Comme on peut le constater de l'analyse des corrélations, seules 4 des 19 variables enregistrées n'ont présenté aucune significativité avec ces facteurs. Ces variables sont le camphène, le 1,8-cinéole, le linalol et la classe des MO. Les concentrations des autres composés ont toutefois affiché différents niveaux de dépendance à l'altitude, la latitude ou la longitude (tableau 20). Ces corrélations sont illustrées dans la figure 36.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Sotomayor *et al.* (2009), principalement pour la relation entre l'altitude et les concentrations en β -pinène et en bornéol. Nos investigations ont montré que les teneurs de l' α -pinène, du β -pinène, du myrcène et des MH augmentent avec l'altitude ; Alors que, celles du *p*-cymène, du bornéol, de l'oxyde de caryophyllène et des SO diminuent.

De même, Lakusic *et al.* (2012) ont signalé l'abondance de quatre chémotypes, dans la péninsule balkanique, sur la base de quatre constituants majoritaires, le 1,8-cinéole, le camphre, l' α -pinène et le bornéol, dont les concentrations étaient étroitement liées aux caractéristiques climatiques de l'habitat, à la position géographique et à la continentalité (température, latitude et longitude). Le camphre, qui avait présenté une haute corrélation avec la longitude, a été considéré comme le principal composant de l'HE des populations les plus continentales. De même, les populations les plus continentales de la région de l'Oriental du Maroc (Ta1 et Ta2) ont présenté des concentrations relativement élevées en camphre par rapport aux autres populations prospectées.

Tous ces auteurs (Sotomayor *et al.*, 2009 ; Lakusic *et al.*, 2012 ; Jordán *et al.*, 2013a et b) appuient l'hypothèse selon laquelle la distribution géographique et le gradient altitudinal, qui sont généralement associés à la variation des facteurs environnementaux, influencent la composition des HE de romarin. Les facteurs génétiques peuvent également jouer un rôle important dans la "chémovariation" des HE. Ce fait a été précédemment soulevé pour le rendement et la composition chimique des HE extraites de plusieurs plantes naturelles transplantées dans les mêmes conditions environnementales au Maroc, telles que *Myrtus communis* (Ismaili *et al.*, 2001), *Rosmarinus officinalis* (Fechtal *et al.*, 2001a) et *Origanum elongatum* (Fechtal *et al.*, 2001b). Après trois années de culture, les provenances transplantées ont conservé leurs profils chimiques d'origine. La "chémovariété" des plantes aromatiques semble être liée aux propriétés génétiques de l'espèce, qui résultent d'une longue adaptation de la plante à son environnement.

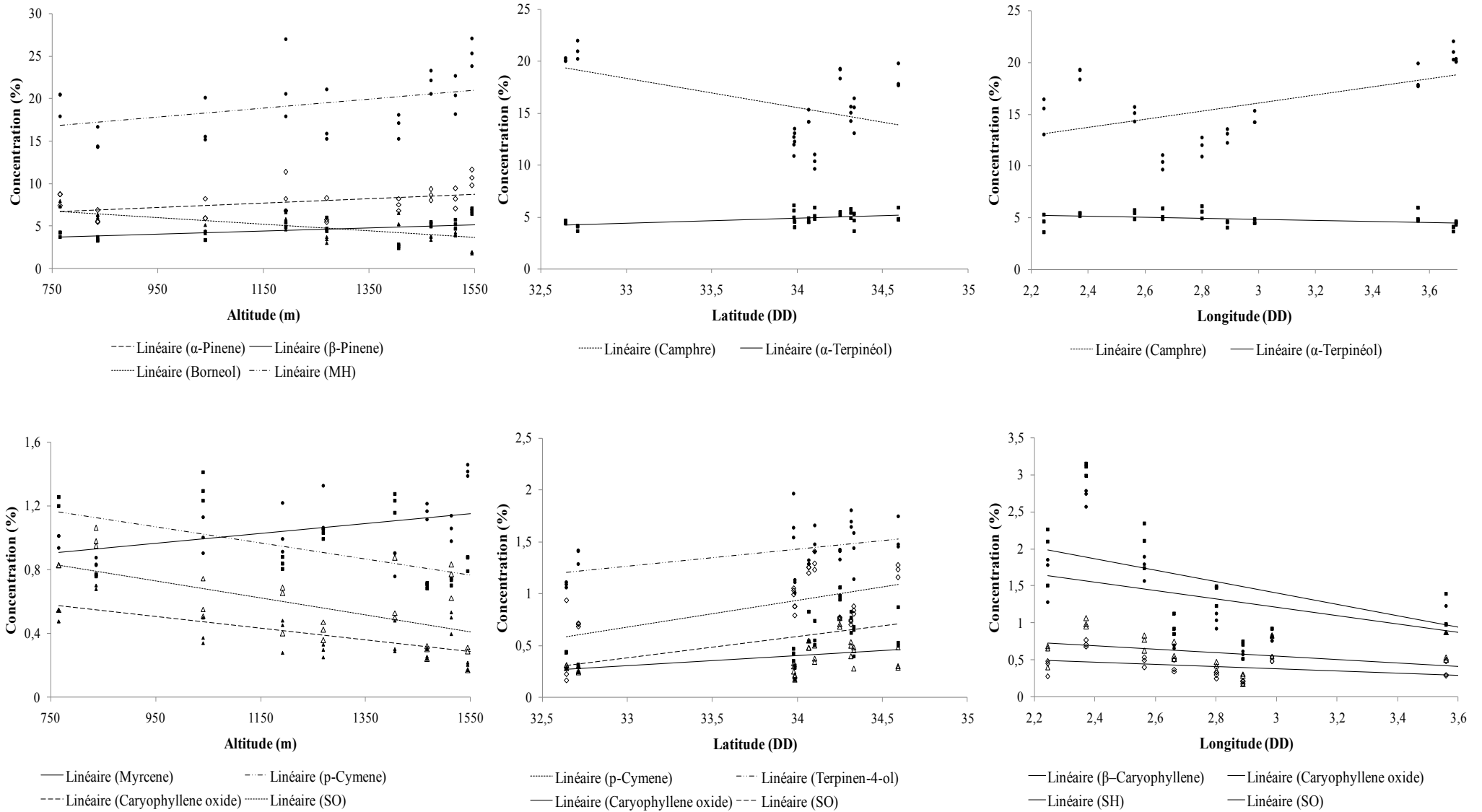


Figure 36. Relation entre les paramètres géographiques et les constituants les plus sensibles de l'HE de *R. officinalis*

En raison de facteurs intrinsèques (génétique et physiologie) et extrinsèques (conditions environnementales), le rendement et la composition des HE du romarin présentent d'importantes variabilités dans son aire de répartition en zone méditerranéenne (El Amrani et al., 2000 ; Fechtal et al., 2001a ; Angioni et al., 2004 ; Lakusic et al., 2012 ; Sotomayor et al., 2009 ; Jordán et al., 2013a et b ; Zaouali et al., 2013). Malgré quelques légères différenciations chimiques, l'HE extraite de différentes populations naturelles de romarin dans la région de l'Oriental est plus riche en 1,8-cinéole (42 - 55%) que celles investiguées dans les péninsules ibériques et balkaniques (11 - 39%). La forte concentration en ce composé pourrait être liée au climat tempéré du sud de la Méditerranée. A partir de ce constat, on peut classer les nappes de romarin de la région de l'Oriental au Maroc, par rapport aux autres populations prospectées en région méditerranéenne, en tant que chémotype à 1,8 cinéole.

Conclusion

Au Maroc, l'importance de la filière de romarin ne cesse de croître en raison de la forte augmentation de la demande mondiale, du nombre croissant d'utilisateurs et de la diversité des domaines d'utilisation de ses produits. Pour une production industrielle commode, il a été nécessaire de maîtriser la qualité de ses HE. Cependant, l'exploitation pour la production de ces HE est actuellement pratiquée en période sèche avec un arrêt en saison de pluies pendant l'hiver. Ce mode de gestion ne permet pas une meilleure valorisation des espaces naturelles de cette plante. En effet, ces pratiques ont un impact négatif sur la régénération et la durabilité des nappes de romarin dans la région de l'Oriental. Nos investigations ont montré que le romarin contient aussi des quantités intéressantes en HE, pendant l'hiver et le printemps, qui sont caractérisées par des teneurs importantes en 1,8-cinéole et en camphre. Pour mieux valoriser ces nappes, l'exploitation devrait être réalisée pendant toute l'année avec une période d'arrêt de juillet à août tel que nous l'avons souligné dans le chapitre précédent. En fonction de la période et de l'origine de récolte, trois types d'HE de romarin peuvent être produites dans la région de l'Oriental :

- Une HE très riche en 1,8-cinéole (50 à 55%) et moins riche en camphre (10 à 13%) au niveau des provenances de Sidi Lahcen, El Fachat et El Aouam.
- Une HE riche en 1,8-cinéole (46 à 47%) et qui contient des quantités moyennes en camphre (14 à 15%) au niveau des provenances de Debdou, Dada Ali et Jerada.
- Une HE riche en 1,8-cinéole (42 à 46%) et riche en camphre (19 à 21%) au niveau des provenances de Talsint, Guefaït et d'Aïn Zohra.

CHAPITRE 3. Etude de la bioactivité des huiles essentielles de *R. officinalis* contre *Varroa destructor*

3.1. Evaluation de l'infestation au rucher

Avant d'entamer les essais de traitement, un contrôle par ouverture des ruches nous a permis de constater que les colonies d'abeilles n'avaient pas encore amorcé la construction du couvain mâle. L'évaluation de l'infestation par le varroa n'a alors concerné que celui phorétique. Le dépistage du niveau de l'infestation au niveau du rucher a été réalisé pendant l'hiver (janvier 2017) par la méthode d'échantillonnage des varroas phorétiques sur les abeilles et par la méthode de pose des langes.

Les taux moyens d'infestation par les varroas phorétiques échantillonnés sur les abeilles au rucher de Sidi Yahya étaient de l'ordre de 12,62% ($\pm 2,34$). La variabilité (Ecart-type) entre les taux d'infestation n'était pas très importante (Tableau 21). Toutefois, selon Currie & Gatién (2006), les apiculteurs ne devraient pas retarder les traitements acaricides jusqu'au printemps si l'abondance moyenne de *V. destructor* dans leurs colonies à la fin de l'automne dépasse 0,12 varroa par abeille (12 varroa par 100 abeilles), ou la perte de colonies se produirait. C'est dans ce sens qu'un traitement était nécessaire pour améliorer l'état sanitaire des abeilles et optimiser la production du miel. Les colonies qui présentent entre 10% et 20% de parasites doivent être traitées immédiatement (Robaux, 1986).

Tableau 21. Résultats de l'évaluation des taux d'infestation par les varroas phorétiques avant traitement

| Echantillon | Effectifs d'abeilles | Effectifs de varroas | Taux d'infestation% |
|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | 51 | 8 | 15,69 |
| 2 | 50 | 5 | 10,00 |
| 3 | 65 | 8 | 12,31 |
| 4 | 112 | 14 | 12,50 |
| | <i>Moyenne</i> | | 12,62 |
| | <i>Ecart-type</i> | | 2,34 |

Le taux d'infestation par le suivi des chutes naturelles des varroas par la méthode de «pose des langes» avant traitement a été estimé 1,87 ($\pm 0,24$) varroas/ruche/jour. La variabilité entre les ruches n'a pas été importante puisqu'elle a varié en moyenne entre 1,44 et 2,22 varroas/ruche/jour (tableau 22). Ces valeurs restent relativement faibles par rapport à celles obtenues au niveau des échantillons des varroas phorétiques. En effet, les infestations évaluées par les différentes méthodes sont d'ailleurs faiblement corrélées (Broodsgaard &

Broodsgaard, 1998), d'autant plus que le nombre d'abeilles et d'échantillons prélevés n'était pas important et par conséquent non représentatif.

Au cours de l'année, la répartition des varroas dans le couvain et hors couvain n'est pas homogène. En période de reproduction de l'abeille, quand le couvain est important, les méthodes d'évaluation des varroas hors couvain par la méthode de pose des langes ou d'échantillonnage d'abeilles sont moins représentatives du degré d'infestation de la colonie. Cependant, ces méthodes sont plus fiables pour l'estimation de l'infestation en hiver quand le couvain est pratiquement inexistant (figure 37) (Boucher, 2004), tel est le cas dans notre expérience. Le comptage par chute naturelle est donc plus représentatif du niveau d'infestation de la colonie. Ces méthodes d'estimation hors couvain sont à interpréter avec discernement en cas de présence de couvain.

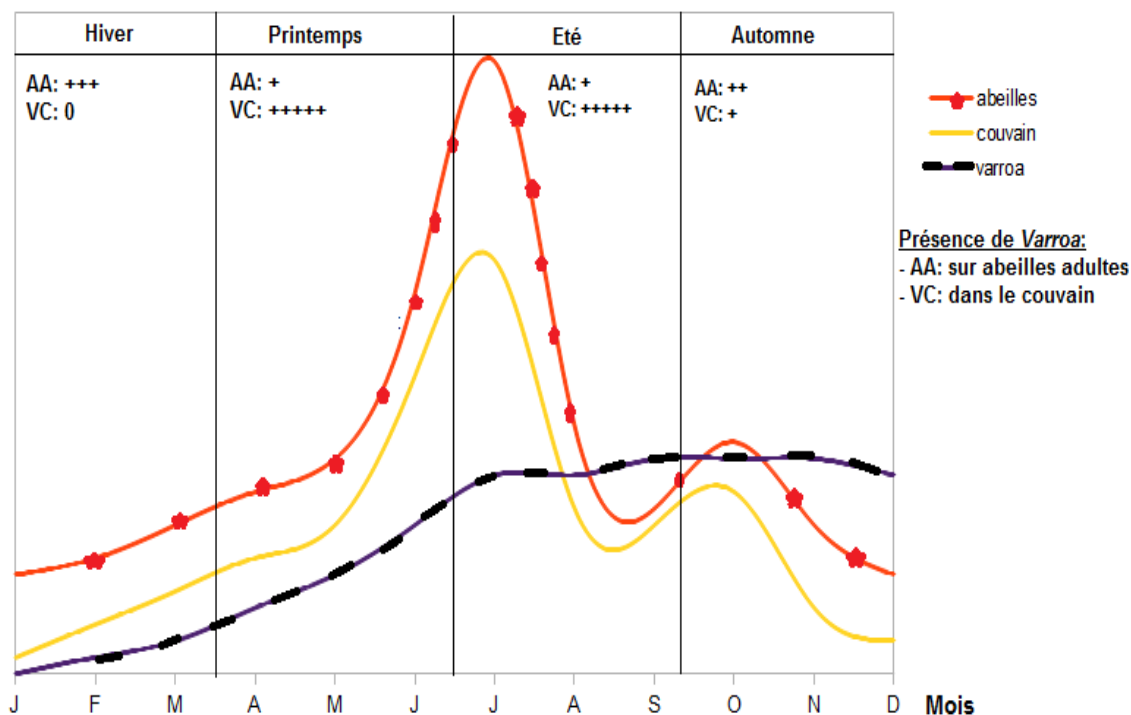


Figure 37. Evolution des effectifs de varroa selon le cycle de l'abeille (abeilles adultes et couvain) (Cartel, 2006 in Zaanoun, 2015)

Une importante corrélation existe entre le nombre journalier de chutes et la population totale d'acariens au sein d'une colonie (figure 38) (Imdorf, 2003 ; Branco *et al.*, 2006). La population de *V. destructor* peut être estimée rapidement en multipliant le nombre de varroas recueillis journalièrement au fond de la ruche par 250-500 ou 20-40 respectivement en absence et présence de couvain (Wendling, 2012). D'autres auteurs proposent d'estimer le nombre d'acariens dans la colonie à partir des chutes naturelles en multipliant les chutes quotidiennes d'acariens par 400 de novembre à février, par 30 de mai à août, et par 100 les mois de mars, avril, septembre et octobre (Martin, 1998).

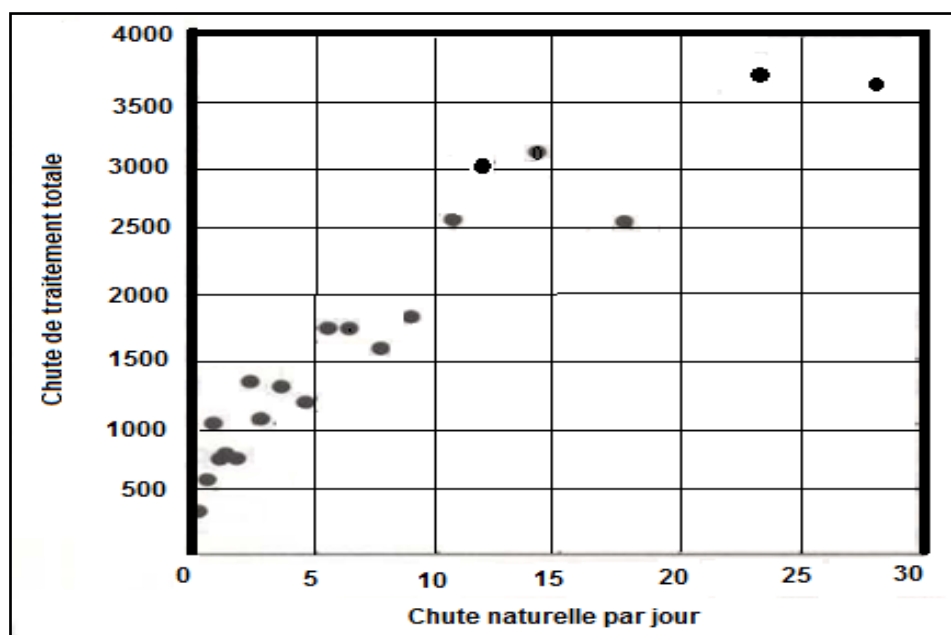


Figure 38. Relation entre chute naturelle journalière et la population totale de *V. destructor* (Imdorf, 2003)

Sur la base de ces travaux, on peut estimer que la population de varroa au niveau du rucher de Sidi Yahya est comprise entre 468 et 935 varroas/ruche, qui témoigne d'un taux d'infestation très élevé. D'après Noireterre (2011), une colonie parasitée par 50 Varroas à la sortie d'hivernage, atteindrait le seuil de dommage économique de 2000 *Varroas* avant la fin du mois d'août. L'infestation estimée au niveau du rucher étudié est de 9 à 18 fois supérieure au seuil de 50 varroas. Il en résulte une pression parasitaire maximale sur la colonie et le couvain serait alors fortement parasité. Les abeilles de l'hiver suivant seront nettement affaiblies et la colonie s'effondrerait brutalement, car elle ne serait pas capable d'élever la nouvelle génération.

L'avantage d'estimation de l'infestation par la méthode des langes est qu'elle est non destructive et peut être facilement mise en place par les apiculteurs eux-mêmes. En outre, cette méthode semble fiable uniquement pour des colonies qui ne sont pas en phase d'effondrement (Branco et al., 2006 ; Faucon et al., 2007).

3.2. Evaluation des potentialités acaricides des HE de *R. officinalis*

Pour l'ensemble des traitements, une chute assez importante de varroas a été notée par rapport au témoin qui n'a reçu aucun traitement (tableau 22). Tous les varroas recueillis sur les langes après traitement par les HE étaient morts. Le faible effectif de varroas décrochés au niveau des témoins témoigne que le test réalisé reste fiable pour évaluer l'effet acaricide des HE utilisées. Par ailleurs, l'action insecticide de l'HE de romarin n'a pas nécessité beaucoup de

temps pour se manifester puisque des mortalités importantes de varroas ont été enregistrées dès le premier jour.

Tableau 22. Résultat des essais de traitements contre *Varroa destructor*

| Traitement | 1 ^{er} jour | | |
|------------|---|---|---------------------------|
| | Nbre moyen de varroas/jour décrochés avant traitement | Nbre moyen de varroas/jour décrochés morts après traitement | Taux efficacité (%) |
| Témoins | 1,78 | 2 | - |
| Bayvarol | 1,89 | 13 | 83,03 ± 7.7 ^b |
| 1ml | 2,00 | 4 | 65,93 ± 2.9 ^{a*} |
| 2ml | 2,22 | 5,33 | 69,71 ± 7.4 ^a |
| 3ml | 1,78 | 8,33 | 81,70 ± 5.8 ^b |
| 4ml | 2,00 | 11,33 | 85,79 ± 4.5 ^b |
| 5ml | 1,44 | 19,66 | 93,02 ± 2.3 ^c |
| Traitement | 2 ^{ème} jour | | |
| | Nbre moyen de varroas/jour décrochés avant traitement | Nbre moyen de varroas/jour décrochés morts après traitement | Taux efficacité (%) |
| Témoins | 1,78 | 1 | - |
| Bayvarol | 1,89 | 8 | 81,68 ± 6.6 ^{bc} |
| 1ml | 2,00 | 1,66 | 42,65 ± 8.9 ^a |
| 2ml | 2,22 | 3,33 | 59,80 ± 3.5 ^{ab} |
| 3ml | 1,78 | 9 | 83,43 ± 2.0 ^{bc} |
| 4ml | 2,00 | 9 | 83,52 ± 9.5 ^{bc} |
| 5ml | 1,44 | 15,33 | 91,41 ± 1.2 ^c |
| Traitement | 6 ^{ème} jour | | |
| | Nbre moyen de varroas/jour décrochés avant traitement | Nbre moyen de varroas/jour décrochés morts après traitement | Taux efficacité (%) |
| Témoins | 1,78 | 1,33 | - |
| Bayvarol | 1,89 | 3,17 | 63,26 ± 2.8 ^b |
| 1ml | 2,00 | 0,92 | 30,80 ± 14.4 ^a |
| 2ml | 2,22 | 1,5 | 40,37 ± 2.2 ^a |
| 3ml | 1,78 | 3 | 61,98 ± 7.5 ^b |
| 4ml | 2,00 | 3,08 | 65,55 ± 12.4 ^b |
| 5ml | 1,44 | 2,75 | 65,68 ± 1.2 ^b |

* Pour chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes présentent des différences significatives à 95% (test de Duncan); les valeurs sont les moyennes de trois répétitions indépendantes ± l'écart-type.

Les HE de *R. officinalis* semblent aboutir à une efficacité réelle et convenable par rapport au produit de référence le *BAYVAROL*, homologué, commercialisé et connu pour son efficacité (tableau 22). En effet, 24 heures après traitement, les HE de romarin ont provoqué des chutes d'acariens significativement supérieures à celles obtenues avant traitement. L'efficacité la plus élevée (93,02%) a été obtenue en utilisant la dose de 5 ml d'HE, qui a été significativement supérieure à celles obtenues par les autres traitements. Les doses d'application de 3 et 4 ml

d'HE par ruche ont aussi présenté des efficacités importantes et équivalentes à celles obtenues par le *BAYVAROL*, celle-ci étaient comprises entre 81,70 et 85,79%. En revanche, la toxicité des HE de romarin contre le varroa était plus faible en utilisant de petites doses. Les efficacités obtenues par 1 et 2 ml d'HE/ruche, respectivement 65,93 et 69,71%, étaient significativement inférieures à celles obtenues par les autres traitements.

48 heures après traitement, une légère diminution de l'efficacité d'environ 2% a été observée pour le *BAYVAROL* et les doses d'application d'HE supérieures à 3 ml. Cette diminution était beaucoup plus importante pour les doses d'application de 1 et 2 ml/ruche, qui étaient respectivement de l'ordre de 23 et 10%. Pendant le second jour de traitement, le *BAYVAROL* a présenté une efficacité statistiquement semblable à celle obtenue par les doses d'HE supérieures à 2 ml/ruche à $p = 0,05$ (tableau 22). Les doses d'application de 1 et 2 ml/ruche n'étaient plus efficaces contre le varroa, puisqu'on n'a pas noté de différences remarquables entre le nombre de chutes de varroas induites par ces traitements et les chutes de varroa avant traitement. Après 48 heures, les doses de 1 et 2ml/ruche n'étaient donc plus efficaces contre le varroa.

Le 6^{ème} jour après traitement, les HE de romarin utilisées en petites doses (1 et 2 ml) n'étaient plus toxiques pour le varroa. Les efficacités obtenues étaient en effet significativement inférieures par rapport aux autres traitements. En revanche, les HE de romarin, appliquées à des doses de 3 ml/ruche et plus, ont présenté une toxicité comparable à celle obtenue par le *BAYVAROL* malgré leurs propriétés hautement volatiles.

Il convient de noter que les abeilles sont devenues plus agressives juste après les traitements par les HE. D'une part, Nous avons enregistré la mortalité de plusieurs abeilles le deuxième jour de traitement dans les ruches 3 (12 abeilles) et 15 (5 abeilles) qui ont reçu une dose d'application de 5 ml d'HE. Par contre, aucune mortalité anormale n'a été enregistrée, que ce soit pour des doses d'application plus faibles ou pour le témoin ne dépassant pas 2 abeilles / ruche / jour. D'autre part, les chutes de varroa les plus importantes ont été observées pendant les deux premiers jours. Ceci est essentiellement dû à la haute volatilité des HE (Kim *et al.*, 2004). Ces résultats sont en accord avec ceux de Chiesa (1991) qui a observé que l'essentiel des chutes d'acariens est enregistré immédiatement après chaque traitement pendant les premières 48 heures. Par conséquent, l'analyse des efficacités concernera principalement les 2 premiers jours après traitement, notamment pour éviter le problème de nettoyage opéré par les abeilles pour de longues durées d'exposition des langes, tel est le cas des langes retirés 6 jours après traitement.

Les HE de nombreuses plantes ont montré un large spectre de bioactivité contre le varroa (Colin, 1990 ; Péguin, 1991 ; Calderone *et al.*, 1997 ; Imdorf, 1999 ; Lindberg, 2000 ; Ruffinengo *et al.*, 2007 ; Ramzi *et al.*, 2017), ce qui est attribué en partie à leur nature lipophile et à leurs hautes volatilités (Kim *et al.*, 2004). Beaucoup d'entre elles ont montré des activités acaricides significatives contre *V. destructor* au niveau laboratoire, avec une variabilité marquée de leur efficacité finale au niveau rucher (Ariana *et al.*, 2002 ; Ruffinengo *et al.*, 2007 ; Maggi *et al.*, 2011). La composition des HE de chaque plante a tendance à être unique. Certaines plantes présentent différents chémotypes avec différentes compositions d'HE. La composition chimique d'une HE dépend souvent de la provenance, de la période de récolte, des conditions climatiques et des méthodes d'extraction. La diversité des compositions chimiques des HE contribue sans aucun doute à la variation dans les résultats obtenus par les différents tests d'efficacité (Imdorf *et al.*, 1999).

Dans les mêmes conditions expérimentales au niveau rucher, les HE de *Thymus satureioides* et de *Origanum elongatum* ont présenté un effet acaricide remarquable contre *V. destructor* (Ramzi *et al.*, 2017). Les HE de ces plantes, dominées respectivement par le bornéol et le carvacrol, ainsi que leur mélange, appliqués directement dans les ruches, ont été aussi efficaces que le *BAYVAROL*. Le 1,8-cinéole (47,8%), le camphre (14,2%), l' α -pinène (7,16%), le bornéol (7,5%), le β -pinène (4,83%), l' α -terpinéol (3,62%) et le camphène (3,07%) sont les principaux composés des HE de romarin utilisées dans nos traitements. Ces molécules bioactives pourraient être à l'origine de l'activité acaricide des HE de *R. officinalis*. En effet, la bioactivité du camphre contre le varroa avait déjà été rapportée sans toxicité apparente pour les abeilles (Abou Elenain *et al.*, 2014). Alors que, celle du 1,8-cinéole sur le varroa était proche de celle sur les abeilles (Imdorf *et al.*, 1995 ; Higes *et al.*, 1997). Lors d'essais au laboratoire, l'HE de romarin contenant le β -myrcène et le 1,8-cinéole en tant que composés majoritaires a montré un effet acaricide mineur contre le varroa, tandis que l'HE de romarin contenant également du camphre était plus efficace et a entraîné une mortalité élevée des acariens sans toxicité apparente pour l'abeille domestique (Maggi *et al.*, 2011). D'après ces résultats, il s'avère que les composants bioactifs des HE possèdent différents modes d'action et que, dans un mélange, leur toxicité dépend de leur concentration et de leur aptitude à être combinés avec d'autres composés (Bakkali *et al.*, 2008).

Miresmailli *et al.* (2006) ont signalé des effets à la fois synergiques et antagonistes entre les composés majoritaires de l'HE de romarin en étudiant leur toxicité contre *Tetranychus urticae* KOCH (Acari: *Tetranychidae*) sur deux plantes hôtes : l'haricot et la tomate. Les essais biologiques ont montré que l'absence de l' α -pinène ou du 1,8-cinéole dans les mélanges

entraînait une diminution significative de la toxicité, respectivement de 80% et 84%. Cependant, la toxicité du mélange constitué uniquement par ces deux composés n'était pas aussi élevée que prévu, leur niveau de toxicité était significativement plus élevé lorsqu'ils étaient testés individuellement. Cela indique que le 1,8-cinéole et l' α -pinène pourraient avoir un effet antagoniste mutuel. Par ailleurs, la présence simultanée de ces deux constituants avec les autres composés majoritaires, tels que le camphène, le β -pinène, le camphre, le *p*-cymène, le limonène, le bornéol, l' α -terpinéol et l'acétate de bornyle, était nécessaire pour atteindre le niveau de toxicité de l'HE naturelle de romarin. Dans ce cas, il semble que la présence simultanée de l'ensemble des composés majoritaires a induit un effet synergique dans le mélange et a réduit l'antagonisme entre le 1,8-cinéole et l' α -pinène en améliorant sa bioactivité.

D'une part, la bioactivité d'une HE dépend de son profil chimique. L'HE de romarin testée contre le varroa a fourni une activité acaricide importante. La présence simultanée de plusieurs composés bioactifs dans cette HE, contenant le 1,8-cinéole, le camphre, le bornéol, l' α -pinène, le β -pinène, l' α -terpinéol et le camphène en tant que composés majoritaires, en serait à l'origine. D'autre part, la bioactivité d'une HE dépend également de sa concentration. Dans les conditions expérimentales au niveau rucher, une dose d'application de 5 ml d'HE de romarin /ruche a causé les taux de mortalités les plus élevés chez les acariens *V. destructor*. Cependant, quelques mortalités parmi les abeilles ont été également enregistrées le deuxième jour du traitement, probablement en raison de la présence de concentrations élevées en 1,8-cinéole dans cette HE. Au niveau rucher, une dose d'application de 3 ml/ruche d'HE de romarin était sans danger pour les abeilles et a produit une toxicité équivalente au *BAYVAROL*. La même chose a été observée par Islam *et al.* (2016), qui ont enregistré le taux le plus élevé de mortalités (80%) chez les varroas avec une dose d'application de 5 ml d'HE de romarin pur (100%), qui a diminué à 73,68% pour une concentration de 50% (mêlé avec de l'acide formique) et à 66,10% pour une concentration de 25%, sans mortalités anormales chez les abeilles.

Selon des études antérieures, les essais biologiques sur le terrain révèlent une variabilité considérable de l'activité miticide des HE au niveau rucher selon les saisons de l'année et les localités (Calderone & Spivak, 1995 ; Calderone *et al.*, 1997 ; Imdorf *et al.*, 1999 ; Bakkali *et al.*, 2008 ; Emsen & Dodologlu, 2009 ; Sabahi *et al.*, 2017). En effet, l'efficacité de certains composants est tributaire de leur volatilité dans les ruches, qui dépend de la période de l'année ou de la température et de l'humidité de l'air ambiant lors du traitement (Gracia *et al.*, 2017). Dans notre étude, l'efficacité a diminué à partir du 2^{ème} jour d'expérimentation, probablement

en raison de l'évaporation rapide des HE des lanières utilisées dans les traitements. Ainsi, la mise au point de systèmes d'administration efficaces permettant de libérer les HE de façon progressive à une dose constante pendant une période prolongée, quelles que soient les conditions environnementales, est une étape importante pour leur utilisation de façon efficace dans les ruches (Sabahi *et al.*, 2017).

Conclusion

L'HE du romarin de la région de l'Oriental contenant le 1,8-cinéole, le camphre, l' α -pinène et le bornéol en tant que composées majoritaires ayant un potentiel acaricide certain pourrait constituer une bonne alternative aux traitements chimiques largement utilisés dans les colonies d'*Apis mellifera* contre l'acarien *V. destructor*. Mais, cela suppose qu'il est également nécessaire de répliquer plusieurs fois les traitements, en particulier avec d'autres molécules actives, afin d'éviter le phénomène de résistance. Comme indiqué précédemment, la composition et la concentration des HE, ainsi que leurs conditions de fumigation, sont importantes pour atteindre des niveaux élevés et sûrs de lutte contre les acariens au niveau rucher. Avant de les utiliser dans le cadre d'un programme de lutte intégré visant le control de ce ravageur, le *V. destructor*, des études supplémentaires sont nécessaires pour déterminer le meilleur système d'administration des HE de romarin qui permettra d'améliorer et d'optimiser le pouvoir fumigant des ces HE dans les ruches.

CONCLUSION GENERALE

Les travaux entrepris dans cette étude ont concerné trois volets essentiels pour la valorisation et la préservation des matorrals de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc. Des expérimentations sur les techniques d'exploitation et des études sur la qualité chimique des HE et de leur bioactivité contre le varroa ont été investiguées. Pendant chaque saison de l'année (automne, hiver, printemps et été) trois unités expérimentales par bloc ont été exploitées selon trois méthodes de coupe (MC1- exploitation de la pousse de l'année, MC2- exploitation de la moitié de la touffe à une hauteur d'environ 10 cm du sol, MC3- exploitation au ras du sol de la totalité de la touffe en préservant quelques branches feuillues pour le maintien de la photosynthèse). Aussi, un suivi mensuel pendant un cycle végétatif complet du nombre de touffes en floraison, du rendement et de la composition chimique des HE de romarin a été réalisé au niveau du même site d'expérimentation. Pour l'évaluation de la variabilité des HE de romarin dans son aire de répartition dans la région de l'Oriental au Maroc, 10 provenances situées à différentes altitudes, longitudes, latitudes ont été étudiées. Les échantillons de *R. officinalis* ainsi collectés ont été hydrodistillés et les HE obtenues ont été analysées par CPG-DIF et CPG-SM.

La technique et la période de récolte sont deux paramètres déterminants pour l'exploitation durable des nappes de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc. L'observation de la régénération des touffes de romarin au cours des quatre années d'exploitations nous a permis de mettre au point quelques bonnes pratiques de récolte pour le romarin :

- Pour l'exploitation des nappes de romarin, la méthode de coupe MC2 est une technique particulièrement intéressante sur plusieurs volets. En gardant l'autre moitié intacte de la plante, cette technique d'exploitation permet aux touffes de romarin exploitées de jouer aussi leur rôle en tant que plantes productrices du nectar et du pollen pour l'apiculture et les semences nécessaires pour la régénération naturelle de l'écosystème. Cette technique a donné des productivités en biomasse intéressantes par rapport aux autres techniques expérimentées, sauf en hiver que la coupe rase était plus productive. Aussi, cette technique peut être pratiquée pendant toute l'année et permet de rajeunir progressivement les touffes de romarin.
- En saison sèche, l'exploitation compromet la durabilité des nappes de romarin. Quelque soit la méthode de coupe pratiquée (MC1, MC2, MC3), l'exploitation a eu un impact négatif sur la productivité et la régénération des touffes de romarin. Il est par

conséquent nécessaire d'adopter une période de mise en repos d'au moins deux mois en juillet et août.

- Pendant l'hiver, la reprise des touffes de romarin est meilleure, c'est la période propice pour la taille des nappes de romarin dans la région de l'Oriental. Pour les touffes lignifiées et non productives, la coupe au ras du sol (MC3) est la technique convenable pour leur rajeunissement puisque les meilleurs productivités et taux de reprise ont été enregistrés par cette technique. Les taux de reprise enregistrés ont atteint 234% et la productivité a pratiquement doublé au bout de trois compagnes d'exploitation.

Le suivi de la teneur en HE du romarin au cours d'un cycle végétatif complet a montré que celle-ci reste supérieure à 2% tout au long de l'année. On peut distinguer deux phases de production des HE pour le romarin dans la forêt de Debdou : la première, qui est caractérisée par une production relativement faible à moyenne en huiles (2,11 - 2,52%), s'étend du mois de septembre au mois d'avril (stades de préfloraison et de floraison), et la seconde, qui correspond à une production relativement élevée (2,53 - 3,13%), s'étend du mois de mai au mois d'août (stade de post-floraison). L'analyse de corrélation a révélé des relations significatives entre la variation du rendement en HE de romarin et l'évolution des paramètres bioclimatiques au cours de l'année. La teneur en HE de romarin a été négativement corrélée aux précipitations mensuelles, alors qu'elle a été positivement corrélée à la température moyenne mensuelle, la température minimale mensuelle et la température maximale mensuelle.

Selon l'origine géographique, la teneur en HE enregistrée au niveau des populations échantillonnées de romarin a montré une dépendance significative à certains facteurs abiotiques, notamment la latitude et la longitude, l'altitude n'a toutefois pas montré de corrélation statistiquement significative avec le rendement. La teneur en HE a été comprise entre 1,7 et 2,8%. Le meilleur rendement a été enregistré pour des provenances de Talsint (Ta1 et Ta2) dans la province de Figuig, tandis que la plus faible teneur en HE a été enregistrée dans la province de Taourirt au niveau de la provenance de Sidi Lahcen.

Par ailleurs, toutes les HE analysées ont présenté un profil chimique semblable avec de légères variations dans la teneur des composés majoritaires. Ce profil chimique est caractérisé par des teneurs importantes en 1,8-cinéole (42,0 - 54,8%) et en camphre (10,4 - 21,1%), et des teneurs notables en bornéol, α -pinène, β -pinène, α -terpinéol, camphène, β -caryophyllène, acétate de bornyl, terpinène-4-ol, *p*-cymène, linalol, myrcène et oxyde de caryophyllène. La composition chimique des HE de romarin a été influencée significativement par les

paramètres géographiques et bioclimatiques de la région de l'Oriental. En général, quand les températures sont minimales et les précipitations sont importantes en hiver, les HE de romarin contiennent des teneurs relativement importantes en camphre et relativement faibles en 1,8-cinéole et vice-versa en été. Aussi, selon l'origine géographique, les provenances les plus continentales, Ta1 et Ta2 dans la province de Figuig, ont présenté les teneurs les plus importantes en camphre par rapport aux autres provenances prospectées dans la région.

En raison de facteurs intrinsèques (génétique et physiologique) et extrinsèques (paramètres géographiques et bioclimatiques), le rendement et la composition des HE du romarin ont présenté d'importantes variabilités dans son aire de répartition en zone méditerranéenne. Malgré quelques légères différenciations chimiques, les HE extraites de différentes populations naturelles du romarin dans la région de l'Oriental sont plus riches en 1,8-cinéole (42 - 55%) que celles investiguées dans les péninsules ibériques et balkaniques (11 - 39%). La forte concentration en ce composé pourrait être liée au climat tempéré du sud de la Méditerranée. À partir de ce constat, l'HE de romarin de la région de l'Oriental au Maroc peut être qualifiée en tant que chémotype à 1,8-cinéole par rapport aux autres populations prospectées en région méditerranéenne.

Par ailleurs, cinq concentrations (1, 2, 3, 4 et 5ml/ruche) d'HE de romarin comparées au *BAYVAROL*, (2 lanières par ruche : une lanière imprégnée contient 3,6 mg de fluméthrine) ont été utilisées pour le traitement des colonies d'*Apis mellifera* au niveau rucher à Sidi Yahya Zaer, afin d'évaluer leur efficacité contre le *V. destructor*. Cette étude, au niveau rucher, a montré une bioactivité acaricide importante de l'HE de romarin, qui est riche en 1,8-cinéole et en camphre. La dose de 5 ml/ruche a été la plus efficace, toutefois quelques mortalités d'abeilles ont été notées pendant le second jour après traitement. Probablement, à cause de la concentration importante en 1,8-cinéole dans l'HE de romarin. Cependant, les doses de 4 ml et 3 ml n'étaient pas toxiques pour les abeilles et ont été aussi efficaces que le *BAYVAROL* (produit acaricide homologué). À faibles concentrations (1 et 2 ml/ruche), les HE de romarin n'ont pas présenté d'efficacité satisfaisante contre le varroa.

Perspectives

Par son climat méditerranéen typique, le Maroc recèle une richesse floristique très importante. Parmi les constituants de cette richesse, le romarin occupe une place écologique et économique de premier ordre. Les faciès de romarin couvrent d'importantes superficies dans la partie orientale et méditerranéenne du pays. Ce sont ces espaces naturels qui permettront une renaissance de la foresterie dans les zones arides et semi-arides du fait que ce genre de climat permet des compositions en HE intéressantes pour de multiples usages. Cette

spécificité est un domaine de compétition que le pays peut gagner en fournissant un effort en matière de domestication et de culture des espèces sauvages pour passer de l'économie de cueillette à celle de la production. Cependant, le mode d'exploitation actuel de ces écosystèmes compromet leurs durabilités. Pour préserver cette ressource naturelle et maintenir une activité durable de son exploitation, il est important de tester les nouvelles techniques mises au point dans le cadre de notre étude afin de passer de l'étape expérimentale à l'étape de validation à grande échelle avant de l'adopter dans les contrats de cession. Aussi, des efforts devraient être réalisés en matière de sélection sur de nouveaux cultivars, ayant des compositions chimiques spécifiques et riches en HE, à l'image de ce qui a été fait en Italie.

La composition et la concentration des HE, ainsi que leurs conditions de fumigation sont des paramètres importants pour atteindre des niveaux élevés et sûrs de lutte contre les acariens au niveau rucher. En effet, l'efficacité des HE de romarin a diminué à partir du 2ème jour d'expérimentation, probablement en raison de leur évaporation rapide des lanières utilisées pour les traitements. En conséquence, la mise au point de systèmes d'administration efficaces permettant de libérer progressivement les HE à une dose constante pendant une période prolongée, quelles que soit les conditions environnementales, est une étape importante avant de les utiliser dans les programmes de contrôle de ce ravageur, le varroa. Aussi, l'utilisation des feuilles de romarin directement dans les enfumoirs par les apiculteurs est une technique qui mérite d'être prospectée en tant que mesure de prévention.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abd El-Wahab T.E. & Ebada M.A. 2006.** Evaluation of some volatile plant oils and mastic against *Varroa destructor* in honey bee colonies. *Journal of Applied Sciences Research*. 2(8): 514-521.
- Abd El-Wahab T.E., Ebada M.A. & Zidan E.W. 2012.** Control of varroa mite by essential oils and formic acid with their effects on grooming behaviour of honey bee colonies. *J. Basic. Appl. Sci. Res.* 2(8): 7674-7680.
- Abou Elenain H.T., Asmaa A.E. & Taha A.A. 2014.** Evaluation of some natural oils for controlling Varroa mite (*Varroa destructor*) infesting honeybee colonies in some Egyptian governorates. *J. Plant Prot. and Path.* 5: 687-695.
- Adamczyk S., Lazaro R., Pérez-arquillué C., Conchello P. & Herrera A. 2005.** Evaluation of residues of essential oil components in honey after different anti-varroa treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(26):10085-90.
- Adams R.P. 2007.** Identification of essential oil components by Gas Chromatography Mass/Spectroscopy, 4th ed. Allured publ., Carol stream, IL, USA. 804p.
- Aissi O., Boussaid M. & Messaoud C. 2016.** Essential oil composition in natural populations of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia: Effect of ecological factors and incidence on antioxidant and antiacetylcholinesterase activities. *Ind. Crops Prod.* 91: 56-65.
- Alippi A.M., Albo G.N., Marcangeli J., Leniz D. & Noriega A. 1995.** The mite *Varroa jacobsoni* does not transmit American foulbrood from infected to healthy colonies. *Exp. Appl. Acarol.* 19: 607-613.
- Amaral G.P., de Carvalho N.R., Barcelos R.P., Dobrachinski F., Portella R.D.L., Silva M.H., Lugokenski T.H., Dias G.R.M., da Luz S.C.A., Boligon A.A., Athayde M.L., Villetti M.A., Antunes Soares F.A. & Fachineto R. 2013.** Protective action of ethanolic extract of *Rosmarinus officinalis* L. in gastric ulcer prevention induced by ethanol in rats. *Food Chem Toxicol.* 55: 48-55.
- Amdam G.V., Hartfelder K., Norberg K., Hagen A. & Omholt S.W. 2004.** Altered physiology in worker honey bees (Hymenoptera: Apidae) infested with the mite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae): a factor in colony loss during overwintering?. *J. Econ. Entomol.* 97: 741-747.
- Anderson D.L. & Trueman J.W.H., 2000.** *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) is more than one species. *Exp. Appl. Acarol.* 24: 165-189.
- Angioni A., Barra A., Cereti E., Barile D., Coisson J.D., Arlorio M., Dessi S., Coroneo V. & Cabras P. 2004.** Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 : 3530-3535.
- Apostolides N.A., El Beyrouthy M., Dhifi W., Najm S., Cazier F., Najem W., Labaki M. & AbouKaïs A. 2013.** Chemical composition of aerial parts of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil growing wild in Lebanon. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 16(2): 274-282.
- Ariana A., Ebadi R. & Tahmasebi G., 2002.** Laboratory evaluation of some plant essences to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Experimental and Applied Acarology*. 27: 319-327.
- Arnold N., Valentini G., Bellomaria B. & Hocine L. 1997.** Comparative Study of the essential oils from *Rosmarinus eriocalyx* Jordan & Fourr. from Algeria and *R. officinalis* L. from other countries. *Journal of Essential Oil Research* . 9 : 167-175.
- Arranz E., Mes J., Wichers H.J., Jaime L., Mendiola J.A., Reglero G. & Santoyo S. 2015.** Anti-inflammatory activity of the basolateral fraction of Caco-2 cells exposed to a rosemary supercritical extract. *Journal of Functional Foods*. 13: 384-390.

- Arslan D. & Musa Özcan M. 2008.** Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*. 49(5): 1258-1264.
- Attia S., Grissa K.L., Lognay G., Bitume E., Hance T. & Mailleux A.C. 2013.** A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: *Tetranychidae*) with special reference to natural pesticides. *J Pest Sci*. 86: 361-386.
- Australian Government. Australian Quarantine and Inspection Service.** Bees and bee pests and diseases [en-ligne], Mise à jour le 25 juillet 2019, [<http://www.agriculture.gov.au/pests-diseases-weeds/bees>],(Consultée le 13 novembre 2019).
- Ayadi S., Jerribi C. & Abderrabba M., 2011.** Extraction et étude des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* cueillie dans trois régions différentes de la Tunisie. *J. Soc. Alger. Chim*. 21(1): 25-33.
- Babovic N., Djilas S., Jadranin M., Vajs V., Ivanovic J., Petrovic S. & Zizovic I. 2010.** Supercritical carbon dioxide extraction of antioxidant fractions from selected *Lamiaceae* herbs and their antioxidant capacity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 11(1): 98-107.
- Ball B.V. 1997.** Secondary infections and diseases associated with *Varroa jacobsoni*. *Opt. Méditerr*. 21: 49-58.
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. & Idaomar M. 2008.** Biological effects of essential oils-a review. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 446-475.
- Barreto H.M., Silva Filho E.C., Lima E.D.O., Coutinho H.D.M., Morais-Braga M.F.B., Tavares C.C.A., Tintino S.R., Rego J.V., Abreu A.P.L., Lustosa M.C.G., Oliveira R.W.G., Citó A.M.G.L. & Lopes J.A. D. 2014.** Chemical composition and possible use as adjuvant of the antibiotic therapy of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*. 59 : 290-294.
- Bedeian A.K. 1994.** Illustrated polyglottic dictionary of plant names. Medbouly Library, Cairo, Egypt. 455p.
- Begum A., Sandhya S., Shaffath Ali S., Vinod K.R., Reddy S. & Banji D. 2013.** An in-depth review on the medicinal flora *Rosmarinus officinalis* (*Lamiaceae*). *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*. 12(1): 61-73.
- Bellefontaine R. 1998.** La multiplication végétative spontanée des ligneux sahéliens. Rencontre des chercheurs, enseignants et praticiens de la multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. CIRAD-Forêt, Montpellier, France, 14 p.
- Bellefontaine R., Gaston A. & Petrucci Y. 1997.** Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. Food & Agriculture Org, Rome, Italie, 316p.
- Benabid A. 1997.** Potentialités et cartographie des plantes aromatiques, médicinales et mellifères dans le Rif in projet GEF-RIF : Développement des Filières de Valorisation des Ressources Naturelles, Admin. des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Rabat.
- Benabid A., 2000.** Flore et écosystèmes du Maroc, Evaluation et préservation de la biodiversité, Ibis Press, Paris. 360p.
- Benjlali B. & Zrira S. 2005.** Plantes aromatiques et médicinales : Atouts du secteur et exigences pour une valorisation durable. Actes éditions Agriculture et Développement, Rabat. 346 p.
- Blumenthal M. 1998.** The complete German Commission E Monographs : Therapeutic guide to herbal medicines. Ed. Am. Bot. Coun. Austin, USA. 685p.
- Bonafos R., Guillet B., Colin M. & Kreiter S. 2011.** Monitoring de la sensibilité/résistance de *Varroa destructor* Anderson et Trueman aux acaricides. Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture AFPP, 26,27-10-2011, Montpellier, France.
- Bonnier G., 1934.** Flore complète de France, Suisse et Belgique. Paris : Arlhac, 8, p.119, 9, p.39.

- Broodsgaard C.J. & Broodsgaard H.F., 1998.** Monitoring method as a basis for Need-based Control of Varroas mites infesting Honey Bees colonies. *ATLA*. 26: 413-419.
- Branco M.R., Kidd N.A.C. & Pickard R.S. 2006.** A comparative evaluation of sampling methods for *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) population estimation. *Apidologie*. 37: 452-461.
- Borrás Linares I., Arráez-Román D., Herrero M., Ibáñez E., Segura-Carretero A. & Fernández-Gutiérrez A. 2011.** Comparison of different extraction procedures for the comprehensive characterization of bioactive phenolic compounds in *Rosmarinus officinalis* by reversed-phase high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography. A.*, 1218(42): 7682-7690.
- Boucher C. 2004.** Dépistage et évaluation de l'infestation par *Varroa destructor*. Journée champêtre en apiculture 2004. Comité Apiculture du Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, le 10 juillet 2004, Deschambault, Canada. 7p.
- Bousbia N., Abert Vian M., Ferhat M., Petitcolas E., Meklati B.Y. & Chemat F. 2009.** Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: Hydrodistillation and microwave hydrodiffusion and gravity. *Food Chemistry*. 114(1): 355-362.
- Boutekedjiret C., Buatois B. & Bessiere J.M. 2005.** Characterisation of rosemary essential oil of different areas of Algeria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 8(1): 65-70.
- Bouyahya A., Et-Touys A., Bakri Y., Talbaoui A., Fellah H., Abrini J. & Dakka N. 2017.** Chemical composition of *Mentha pulegium* and *Rosmarinus officinalis* essential oils and their antileishmanial, antibacterial and antioxidant activities. *Microbial Pathogenesis*. 111: 41-49.
- Bowen-Walker P.L. & Gunn A., 2001.** The effect of the ectoparasitic mite, *Varroa destructor* on adult worker honeybee (*Apis mellifera*) emergence weights, water, protein, carbohydrate, and lipid levels. *Entomol Exp Appl*. 101: 207-217.
- Bowen-Walker P.L., Martin S.J. & Gunn A. 1999.** The transmission of deformed wing virus between honey bees (*Apis mellifera* L.) by the ectoparasitic mite *Varroa jacobsoni* Oud. *J. Invertebr. Pathol.* 73: 101-106.
- Bozin B., Mimica-Dukic N., Simin N. & Anackov G. 2006.** Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. *J. Agric. Food Chem.* 54: 1822-1828.
- Breguetova N.G., 1953.** The mite fauna of the Far East. *Parasitologitcheskii Zbornik ZIN AN SSR*. 15: 302-338.
- Calderone N.W. & Kuenen L.P.S. 2001.** Effects of western honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony, cell type, and larval sex on host acquisition by female *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *J. Econ. Entomol.* 94: 1022-1030.
- Calderone N.W. & Spivak M. 1995.** Plant extracts for control of the parasitic mite *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) in colonies of the Western honey bee (Hymenoptera: Apidae). *J. Econ. Entomol.* 88(5):1211-1215.
- Calderone N.W., Wilson W.T. & Spivak M. 1997.** Plant extracts used for control of the parasitic mites *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) in colonies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *J. Econ. Entomol.* 90: 1080-1086.
- Casanova J. & Tomi F. 2018.** Spécificité de l'huile essentielle de romarin spontané (*Rosmarinus officinalis* L.) de Corse et de Sardaigne. *ISTE OpenScience*. 18(1): 1-17.
- Chablou A. 1996.** Etude de la Phytomasse de *Stipa tenacissima* et de *Rosmarinus officinalis* dans la Forêt Domaniale de Debdou, Mémoire de 3^o Cycle, ENFI, Salé, Maroc. 117p.
- Chahboun N., Esmail A., Rhaïem N., Abed H., Amiyare R., Barrahi M., Berrabeh M., Oudda H. & Ouhssine M. 2014.** Extraction and study of the essential oil *Rosmarinus Officinalis* cuellie in the region of Taza, Morocco. *Der Pharma Chemica*. 6(3): 367-372.

- Chen Y.P., Pettis J.S., Evans J.D., Kramer M. & Feldlaufer M.F. 2004.** Molecular evidence for transmission of Kashmir bee virus in honey bee colonies by ectoparasitic mite, *Varroa destructor*. *Apidologie*. 35: 441-448.
- Chiasson H. & Beloin N. 2007.** Les huiles essentielles, des biopesticides « nouveau genre ». *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec*. 14(1): 3-6.
- Chiesa F. 1991.** Effective control of varroaosis using powdered thymol. *Apidologie*. 22(2): 135-145.
- Clot Havond N. 2014.** Plantes médicinales de Provence et d'ailleurs. Ed. Edisud, Saint-Rémy-de-Provence, France. 203p.
- Colin M.E. 1990.** Essential oils of *Labiatae* for controlling honey bee varroosis. *J. Appl. Ent.* 110: 19-25.
- Colin M.E., Faucon J.P., Heinrich A., Ferry R. & Giauffret A. 1983.** Etude du premier foyer français de varroaose de l'abeille. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*. 56: 89-93.
- Cui L., Kim M.O., Seo J.H., Kim I.S., Kim N.Y., Lee S.H., Park J., Kim J. & Lee H.S. 2012.** Abietane diterpenoids of *Rosmarinus officinalis* and their diacylglycerol acyltransferase inhibitory activity. *Food Chem.* 132(4):1775-1780.
- Currie R.W. & Gatién P. 2006.** Timing acaricide treatments to prevent *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) from causing economic damage to honey bee colonies. *Can. Entomol.* 138: 238–252.
- Dafni H., Lensky Y. & Fahn A. 1988.** Flower and Nectar Characteristics of Nine Species of Labiatae and their influence on Honeybee Visits. *Journal of Apicultural Research*. 27(2): 103-114.
- Damiani N., Gende L. B., Bailac P., Marcangeli J.A. & Eguaras M.J. 2009.** Acaricidal and insecticidal activity of essential oils on *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Parasitol Res.* 106: 145-152.
- De Guzman L., Kulincevic J. & Rinderer T. 1997.** Selection of honey bees tolerant or resistant to *Varroa jacobsoni* Oud. *Cahiers Options Méditerranéennes*. 21: 59-75.
- Delaplane K., Berry J. & Skinner J. 2005.** Integrated pest management against *Varroa destructor* reduces colony mite levels and delays treatment threshold. *Journal of apicultural research*. 44: 157-162
- Delfinado M.D., 1963.** Mites of the honey bee in South-east Asia. *J. Apic. Res.* 2: 113 -114.
- Derwich E., Benziane Z. & Chabir R. 2011.** Aromatic and medicinal plants of morocco: chemical composition of essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Juniperus Phoenicea*. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*. 2(1): 145-153.
- Dibong S.D., Mpondo M.E., Nigoye A., Kwin M.F. & Betti J.L. 2011.** Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. [Ethnobotany and phytomedicine of medicinal plants sold in Douala markets]. *Journal of Applied Biosciences*. 37: 2496 – 2507.
- Donzé G., 1995.** Adaptations comportementales de l'acarien ectoparasite *Varroa jacobsoni* durant sa phase de reproduction dans les alvéoles operculées de l'abeille mellifère *Apis mellifera*. Thèse de doctorat ès sciences, Université de Neuchâtel, 152p.
- Doreau M. 1961.** Considérations actuelles sur l'alimentation, ainsi que sur la pharmacopée et la thérapeutique traditionnelle au Sahara. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Strasbourg, France. 108p.
- DREFO 2012.** Etude d'aménagement de la forêt de Boumerieme : Etude de base et approche méthodologique. Ed. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Rabat, Maroc, 64p.
- DREFO 2019.** Réalisation de l'étude de la révision de l'aménagement de la forêt d'El Ayatte : Aménagement proposé. Ed. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Rabat, Maroc, 205p.

- Duncan D.B. 1955.** Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11(1): 1-42.
- Durvelle J.P. 1930.** Fabrication des essences et des parfums. Ed. Desforges, Girardot et Cie, Paris, France. 807p.
- Edreva A., Velikova V., Tsonev T., Dagnon S., Gurel A., Aktas L. & Gesheva E. 2008.** Stress-protective role of secondary metabolites: diversity of functions and mechanisms. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 34: 67–78.
- Egin, N.L. 1988.** ["Brushes" for mites.] *Pchelovodstvo*, n3: 15p.
- El Amrani A., Zrira S., Mejjati-Alami M., Ismaili-Alaoui M., Berrada M. & Benjilali B., 1997a.** Effet du niveau et de la période de coupe sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle de romarin du Maroc. Congrès International Organisé à l'IAVH II, Rabat, Maroc. pp: 155-160.
- El Amrani A., Zrira S., Ismaili-Alaoui M., Belanger A., Berrada M. & Benjilali B., 1997b.** Effet du stade végétatif sur les rendements et la qualité de l'huile essentielle de Romarin du Maroc. Congrès International Organisé à l'IAVH II, Rabat, Maroc. pp: 185-190.
- El Amrani A., Zrira S., Ismaili-Alaoui M., ACHHAL El Kadmiri A., Belanger A., Berrada M. & Benjilali B., 1997c.** Variabilité intraspécifique du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) du Maroc. Congrès International Organisé à l'IAVH II, Rabat, Maroc. pp: 59-65.
- El Amrani A., Zrira S., Benjilali B. & Berrada M. 2000.** A study of Moroccan rosemary oils. *J. Essent. Oil Res.* 12: 487-495.
- El Bouhamid A. 1994.** Des contraintes majeures au développement de l'apiculture au Maroc. Thèse de doctorat vétérinaire. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. 120p.
- El Ghadraoui L., Essakhi D., Benjelloun M., Errabhi N., El Harchli E., Alaoui Mhamdi M. & Daniel P. 2015.** Chemical composition of essential oils from *Rosmarinus officinalis* L. and acaricidal activity on *Dociostaurus maroccanus* Thunberg, 1815 in Morocco. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* 6(8): 166-172.
- Ellis J.D., Zettel Nalen C.M., 2010.** Varroa Mite, *Varroa destructor* Anderson and Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae). EENY-473 (Revised June 2013, June 2016, and April 2019), Series of the Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension University of Florida, USA. 7p.
- El Oualidi J., Khamar H., Fennane M., Ibn Tattou M., Chauvet S. & Taleb M.S., 2012.** Checklist des endémiques et spécimens types de la flore vasculaire de l'Afrique du Nord. Document de l'Institut Scientifique, n°25, 2012.
- Elzen P., Baxter J., Spivak M. & Wilson W. 2000.** Control of *Varroa Jacobsoni* Qud. Resistant fluvanilate and amitraz using coumophos. *Apidologie.* 31: 437-441.
- El-Zemity S.R., Rezk H.A. & Zaitoon A.A., 2006.** Acaricidal activity of some essential oils and their monoterpenoidal constituents against the parasitic bee mites, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *J. Appl. Sci. Res.* 2 (11) : 1032–1036.
- Emberger L., 1939.** Aperçu général sur la végétation du Maroc, commentaire de la carte phytogéographique du Maroc(1/1500000). Verlag Habs Huber Bern. pp. 40-157.
- Emsen B & Dodologlu A. 2009.** The effects of using different organic compounds against honey bee mite (*Varroa destructor* Anderson and Trueman) on colony developments of honey bee (*Apis mellifera* L.) and residue levels in honey. *J Anim. Vet. Adv.* 8(5):1004-1009.
- Escuder O. 2007.** Plantes médicinales mode d'emploi. Eugen Ulmer Eds, Paris, France. 255p.
- Evans W.C. 1996.** Trease and Evan's Pharmacognosy. 14th edition W B SANDERS, London. 612 p.

- Faucon M. 2012.** Traité d'aromathérapie scientifique et médicale - fondements & aide à la prescription : monographies (huiles essentielles, huiles végétales, hydrolats aromatiques). Eds Sang de la Terre, Paris, France. 879p.
- Faucon J.P., Drajnudel P., Chauzat M.P. & Aubert M. 2007.** Contrôle de l'efficacité du médicament APIVAR ND contre *Varroa destructor*, parasite de l'abeille domestique. Revue Méd. Vét. 158 : 283-290.
- Faye E., Diallo H., Samba S.A.N., Touré M.A., Dramé A., Fall B., Lejoly J., Diatta M., Kairé M., De Cannière C., Mahy G. & Bogaert J. 2013.** Importance de la méthode de coupe sur la regeneration de Combretaceae du Bassin arachidier sénégalais. Tropicultura. 31(1): 44-52.
- Fechtal M., Ismaili M.R. & Zine El Adine A. 2001a.** Effet de la transplantation sur la qualité et le rendement en huiles essentielles du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.). Ann. Rech. For. Maroc. 34: 94-102.
- Fechtal M., Ismaili M.R., Zine El Abidine A., Hachmi M. & Sesbou A. 2001b.** Effet de la transplantation sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles d'origan (*Origanum elongatum*) de la région Nord du Maroc. Ann. Rech. For. 34:103-109.
- Fechtal M., Tahiri T., Ismaili-Alaoui M. & Benjilali B., 1997.** Etude des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. du Rif centro-occidental. Congrès International Organisé à l'IAVH II, Rabat, Maroc. pp: 285-292.
- Fennane M., 2003.** Inventaire des communautés végétales à l'aide du phytosociologue, au Maroc. Phytosociological checklist of Morocco. Ecologia Mediterranea. 29(1) : 87-106.
- Fennane M., 2004.** Propositions de zones importantes pour les plantes au Maroc (ZIP). "zones importantes pour les plantes au Maroc". Atelier national le 11-12/10/2004 à Rabat.
- Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & El Oualidi J. 2007.** Flore pratique du Maroc, Volume 2. Édition Institut Scientifique de Rabat. Rabat, Maroc. 636p.
- Fennane M. & Rejdali M. 2016.** Aromatic and medicinal plants of Morocco: Richness, diversity and threats. Bulletin de l'Institut Scientifique. Rabat, Section Sciences de la Vie. 38: 01-16.
- Fernandez N. & Coineau Y. 2002.** Varroa Tueur d'abeilles, bien le connaître pour mieux le combattre. Ed. Atlantica, Anglet, France. 237 p.
- Figueredo G., 2007.** Étude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (*Lamiaceae*) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne, Thèse doctorat, Ecole doctorale des sciences fondamentales, Université Blaise Pascal, 416p.
- Floris I., Satta A., Cabras P., Garau V.L. & Angioni A. 2004.** Comparison between two thymol formulations in the control of *Varroa destructor*: effectiveness, persistence, and residues. J. Econ. Entomol. 97(2): 187-191.
- Frezza C., Venditti A., Serafini M. & Bianco A. 2019.** Chapter 4 - Phytochemistry, chemotaxonomy, ethnopharmacology, and nutraceuticals of Lamiaceae. Studies in Natural Products Chemistry. 62: 125-178.
- Garnier G., Bezanger-Beauquesne L. & Debraux G. 1961.** Ressources médicinales de la flore française. Tome II. Eds Vigot Frères, Paris, France. 1512p.
- Gracia M.J., Moreno C., Ferrer M., Sanz A., Peribáñez M.Á. & Estrada R. 2017.** Field efficacy of acaricides against *Varroa destructor*. PLoS One. 12(2):e0171633.
- Gracia-Salinas M.J., Ferrer-Dufol M., Latorre-Castro E., Moneromanera C., Castillo-Hernandez J.A., & Lucientes-Curd J., 2006.** Detection of fluvalinate resistance in *Varroa destructor* in Spanish apiaries. J. Apic. Res. 45:101-105.
- Grobov O.F. 1976.** La varroase de l'abeille mellifère. Apiacta. 11: 145-148.

- Gunther C.E.M. 1951.** A mite from a beehive on Singapore Island (Acarina : Laelapidae). Proc. Linnean Soc.. 76: 155-157.
- Hanley A. & Duval J., 1995.** La varroase des abeilles. Ecological Agriculture Projects, McGill University, Canada. Agro-bio-370-08. <http://eap.mcgill.ca/agrobio/ab370-08.htm>.
- Hannour K., Boughdad A., Maataoui A. & Bouchelta A. 2018.** Chemical composition of *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) essential oils and evaluation of their toxicity against *Bruchus rufimanus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in Morocco. International Journal of Tropical Insect Science. 38(3): 192-204.
- Heinrich M., Kufer J., Leonti M. & Pardo-de-Santayana M. 2006.** Ethnobotany and ethnopharmacology - Interdisciplinary links with the historical sciences. Journal of Ethnopharmacology. 107: 157-160.
- Herrero M., Plaza M., Cifuentes A. & Ibáñez E. 2010.** Green processes for the extraction of bioactives from Rosemary: Chemical and functional characterization via ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and in-vitro assays. Journal of Chromatography. A. 1217(16): 2512-20.
- Higes P.M., Suarez M. & Llorente J. 1997.** Comparative field trials of Varroa mite control with different components of essential oils (thymol, menthol and camphor). Res Rev Parasitol. 57(1):21-24.
- Higes M., Martin R., Sanz A., Jimenez J.J., Bernal J.L. & Nozal M.J. 2004.** Spring efficacy of Apivar, Apistan and Apitimol in the control of varroosis in honeybees in Mediterranean climate. Proc. First Europ. Conf. Apidology, Udine 19-23.09.2004, p.107.
- Hilan C., Sfeir R., Jawish D. & Aitour S., 2006.** Huiles essentielles de certaines plantes médicinales libanaises de la famille des *Lamiaceae*. Lebanese Science Journal. 7(2): 13-22.
- Hmamouchi M., Essassi M., Gharras L. & Bessière J. 1997.** Facteurs influençant les caractéristiques de l'huile essentielle du romarin du Maroc (lieu de récolte, cycle végétatif et partie traitée). Congrès International Organisé à l'IAVH II, Rabat, Maroc. pp: 211-220.
- Hoefler C. 1994.** Contribution à l'étude pharmacologique des extraits de *Rosmarinus officinalis* L., et notamment des jeunes pousses : activités cholérétiques, anti-hépatotoxiques, anti-inflammatoires et diurétiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Metz. 170p.
- Holmes P. 1999.** Rosemary oil: The wisdom of the heart. International Journal of Aromatherapy. 9(2):62-66.
- Ian Tsin-He, 1965.** Les particularités biologiques de l'acarien *Varroa jacobsoni* (Oudemans). Kounchong Zhishi. 9: 40-41.
- Imdorf A., Kilchenmann V., Bogdanov S., Bachofen B. & Berettaet C. 1995.** Toxic effects of thymol, camphor, menthol and eucalyptol on *Varroa jacobsoni* Oud and *Apis mellifera* L. in a laboratory test. Apidologie. 26: 27-31.
- Imdorf A., Bogdanov S., Ochoa RI & Calderone N.W. 1999.** Use of essential oils for the control of *Varroa jacobsoni* Oud. in honey bee colonies. Apidologie. 30(2-3): 209-228.
- Imdorf A., Charrière J., Kilchenmann V., Bogdanov V. & Fluri P. 2003.** Alternative strategy in central Europe for the control of *Varroa destructor* in honey bee colonies. Apiacta. 38: 258-285.
- Islam N., Amjad M., ul-Haq E., Stephen E. & Naz F. 2016.** Management of *Varroa destructor* by essential oils and formic acid in *Apis Mellifera* Linn. colonies. J Entomol Zool Stud. 4(6):97-104.
- Ismaili M.R. 2000.** Essai de domestication de *Rosmarinus officinalis*, *Myrtus communis* et *Origanum elongatum* pour la production des huiles essentielles au Maroc. Mémoire de 3ème cycle, Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs, Salé, Maroc, p 84.

- Ismaili M.R. 2006.** Les matorrals de romarin dans la région de l'Oriental au Maroc : gestion de la ressource et propositions de mise en valeur. Mémoire (Master of Science) : CIHEAM-IAMM, Montpellier (France). 90p.
- Ismaili M.R., Fechtal M., Zine El Abidine A., Hachmi M. & Sesbou A. 2001.** Effet de la transplantation sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles du myrte (*Myrtus communis* L.). Ann. Rech. For. Maroc. 34: 87-93.
- Ismaili M.R., Rahouti M., Kabouchi B., Ramzi H., Aberchane M., Fidah A., Famiri A. & Lamzoudi O. 2017.** Improvement of harvesting practices for sustainable development of Moroccan rosemary Mediterranean's scrublands. J. Essent. Oil Bear Plants. 20: 1266-1274.
- Ismaili M. R., Ramzi H., Fidah A., Rahouti M., Kabouchi B. & Aberchane M. 2019.** Chemical variability and acaricidal activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oils. Moroccan Journal of Chemistry. 7(4): 636-651.
- Isman M.B. 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. Crop Protect. 19(8-10): 603–608.
- McNaught A.D. & Wilkinson A. 2012.** Compendium of Chemical Terminology, Gold Book version 2.3.1. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). UK. 1622p.
- Jacotet-Navarro M., Rombaut N., Fabiano-Tixier A., Danguien M., Bily A. & Chemat F. 2015.** Ultrasound versus microwave as green processes for extraction of rosmarinic, carnosic and ursolic acids from rosemary. Ultrasonics Sonochemistry. 27: 102-109.
- Jayaraman K. 1999.** A Statistical manual for forestry research. Forestry research support programme for Asia and the Pacific, Ed. FAO, Bangkok, 242 p.
- Jiofack T., Ayissi I., Fokunang C., Guedje N. & Kemeuze V. 2009.** Ethnobotany and phytomedicine of the upper Nyong Valley forest in Cameroon. African Journal of Pharmacy and pharmacology. 3(4): 144-150.
- Jiofack T., Fokunang C., Guedje N., Kemeuze V., Fongnzossie E., Nkongmeneck B.A., Mapongmetsem P.M. & Tsabang N. 2010.** Ethnobotanical uses of medicinals plants of two ethnoecological regions of Cameroon. International Journal of Medicine and Medical Sciences. 2(3): 60-79.
- Jordán M.J., Lax V., Rota M.C., Lorán S. & Sotomayor J.A. 2013a.** Effect of bioclimatic area on the essential oil composition and antibacterial activity of *Rosmarinus officinalis* L. Food Control. 30(2): 463-468.
- Jordán M.J., Lax V., Rota M.C., Lorán S. & Sotomayor J.A. 2013b.** Effect of the phenological stage on the chemical composition, and antimicrobial and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L essential oil and its polyphenolic extract. Ind Crops Prod. 48: 144-152.
- Jambu M. 1991.** Exploratory and multivariate data analysis. 1st Ed., Academic Press, UK. 474p.
- Kanga L.H., James R.R. & Boucias D.G. 2002.** *Hirsutella thompsonii* and *Metarhizium anisopliae* as potential microbial control agents of *Varroa destructor*, a honey bee parasite. J.Invertebr. Pathol. 81: 175-184.
- Khia A., Ghanmi M., Satrani B., Aafi A., Aberchane M., Quaboul B., Chaouch A., Amusant N. & Charrouf Z. 2014.** Effet de la provenance sur la qualité chimique et microbiologique des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. du Maroc. Phytothérapie. 12(6): 341-347.
- Kim S.I., Yi J.H., Tak J.H., Ahn Y.J. 2004.** Acaricidal activity of plant essential oils against *Dermanyssus gallinae* (acari: dermanyssidae). Veterinary Parasitology. 120: 297-304.
- Konko Y.E. 2014.** Caractérisation chimique des huiles essentielles de différentes provenances de *Thymus satureioides* C. & B. dans la région de Taroudant et évaluation de leur potentiel bio-insecticide contre *Varroa destructor* Anderson & Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae) dans le Gharb, Mémoire de 3ème cycle, Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs, Salé, Maroc.

- Kontogianni V.G., Tomic G., Nikolic I., Nerantzaki A., Sayyad N., Stosic-Grujicic S., Stojanovic I., Gerothanassis I.P. & Tzakos A.G. 2013.** Phytochemical profile of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* extracts and correlation to their antioxidant and antiproliferative activity. Food Chem. 136:120-129.
- Kotwal S. & Abrol D.P. 2009.** Impact of *Varroa destructor* infestation on the body weight of developing honeybee brood and emerging adults. Pak. Entomol. 31: 67-70
- Kováts E., 1965.** Gas chromatographic characterisation of organic substances in the retention index system. Advances in Chromatography. 1: 229-247.
- Lakusic D.V., Ristic M.S., Slavkovskac V.N., Sinzar-Sekulic J.B. & Lakusic B.S. 2012.** Environment-related variations of the composition of the essential oils of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in the Balkan Peninsula. Chem Biodivers. 9: 1286-1302.
- Lehmann H. 2014.** Le médicament à base de plantes en europe. statut, enregistrement, contrôles. Thèse de Doctorat en Pharmacie de Université de Strasbourg. 340p.
- Lindberg C.M., Adony P., Melathopoulos M.A. & Winston M.L. 2000.** Laboratory Evaluation of Miticides to Control *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae), a Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Parasite. Journal of Economic Entomology. 93(2): 189-198.
- Lobb N. & Martin S. 1997.** Mortality of *Varroa jacobsoni* Oudemans during or soon after the emergence of worker and drone honeybees *Apis mellifera* L. Apidologie. 28: 367-374.
- Lucchesi M.E., Chemat F. & Smadja J. 2004.** Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. J. Chromatogr. A. 1043(2): 323-327.
- McCaskill D. & Croteau R. 1998.** Some caveats for bioengineering terpenoid metabolism in plants. Trends in Biotechnology. 16 : 349-355.
- Machado D.G., Cunha M.P., Neis V.B., Balen G.O., Colla A., Bettio L.E.B., Oliveira A., Pazini F.L., Dalmarco J.B., Simionatto E.L., Pizzolatti M.G. & Rodrigues A.L. 2013.** Antidepressant-like effects of fractions, essential oil, carnosol and betulinic acid isolated from *Rosmarinus officinalis* L. Food Chem. 136(2): 999-1005.
- Maggi M.D., Ruffinengo S.R., Gende L.B., Sarlo E.G. & Eguaras M.J., 2010.** Laboratory evaluations of *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et Perry essential oil Against *Varroa destructor*. Journal of Essential Oil Research, 22(2):119-122.
- Maggi M., Gende L., Russo K., Fritz R. & Eguaras M. 2011.** Bioactivity of *Rosmarinus officinalis* essential oils against *Apis mellifera*, *Varroa destructor* and *Paenibacillus larvae* related to the drying treatment of the plant material. Nat Prod Res. 25(4): 397-406.
- Maire R. & Jahandiez E. 1934.** Catalogue des plantes du Maroc (Spermatophytes et Ptéridophytes), Tome III. Imprimerie Minerva, Alger.
- Makhlouf H. 2002.** Les huiles essentielles de romarin et de clou de girofle : approche analytique et activité antioxydante sur une huile alimentaire. Mémoire ingénieur, I.N.A., Alger, 82p.
- Mann J. 1987.** Secondary metabolism, Second Edition. Clarendon Press, New York, USA. 374p.
- Martin S.J., 1994.** Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in worker brood of the honeybee *Apis mellifera* L. under natural conditions. Exp. Appl. Acarol. 18: 87-100.
- Martin S.J. 1995.** Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in drone brood of the honey bee *Apis mellifera* L. under naturel conditions. Exp. Appl. Acarol. 19: 199-210.
- Martin S.J. 1998.** A population model for the ectoparasitic mite *Varroa jacobsoni* in honey bee (*Apis mellifera*) colonies. Ecol. Model. 109: 267-281.

- Martin S.J., Highfield A.C, Brettell L., Villalobos E.M., Budge G.E., Powell M., Nikaido S. & Schroeder D.C. 2012.** Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite. *Science*. 336(6086): 1304-1306.
- Martins M.R., Tinoco M.T., Ameida A.S. & Cruz-Morais J. 2012.** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of three essential oils from Portuguese flora. *J. Phcog.* 3: 39-44.
- Matovská K. & Lehotay S.J. 2003.** Practical approaches to fast gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 1000(1-2): 153-180.
- Megzari A., Farah A., Houssaini M.I. & EL Hadrami M. 2015.** Provenance effect on the yield, chemical composition and antibacterial activity of Moroccan rosemary essential oils. *Der Pharma Chemica*. 7(10): 459-472.
- Miguel M.G., Guerrero C., Rodrigues H., Brito J., Duarte F., Venâncio F. & Tavares R. 2007.** Essential oils of *Rosmarinus officinalis* L., effect of harvesting dates, growing media and fertilizers. Proc. of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, Agios Nikolaos, Greece, July 24-26, 2007. pp: 65-70.
- Milani N. 1999.** The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud. to acaricides. *Apidologie*. 30: 229-234.
- Miresmailli S., Bradbury R. & Isman M.B. 2006.** Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. *Pest Manag Sci*. 62: 366-371.
- Montgomery D.C. 2013.** Design and analysis of experiments, Eighth edition. Arizona (IL): Wiley, USA. 757p.
- Moritz R.F.A. & Jordan M. 1992.** Selection of resistance against *Varroa jacobsoni* across caste and sex in the honeybee (*Apis mellifera* L., Hymenoptera: Apidae). *Exp. Appl. Acarol.* 16: 345-353.
- Moro Buronzo A. 2008.** Le grand guide des huiles essentielles: santé, beauté, bien être. Ed. Hachette Pratique, Vanves, France. 244p.
- Moujanni A., Essamadi A. & Terrab A. 2017.** L'apiculture au Maroc : focus sur la production de miel [Beekeeping in Morocco: focus on honey production]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 20(1): 52-78.
- Mounchid K., Bourjilat F., Dersi N., Bellik A., Aboussaouira T., Rachidai A., Tantaoui-Elaraki A. & Ismaïli-Alaoui M. 2004.** Toxicity of south Morocco *Rosmarinus officinalis* essential oil: antibacterial and histopathological effects. *Actes Inst. Agron. Vet.* 24(3 & 4): 139-145.
- Moussi M. 2015.** Contribution à une étude histométrique de *Rosmarinus officinalis* dans la région de Tlemcen. Master II en écologie végétale et environnement. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, Algérie. 133p.
- Mulas M., Francesconi A.H.D., Bicchi C., Perinu B. & Vais E.D. 2002.** Plant Characters and Essential Oil Composition of New Selections of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *ISHS Acta Horticulturae*. 576: 163-168.
- Mulinacci N., Innocenti M., Bellumori M., Giaccherini C., Martini V. & Michelozzi M. 2011.** Storage method, drying processes and extraction procedures strongly affect the phenolic fraction of rosemary leaves: an HPLC/DAD/MS study. *Talanta*. 85(1): 167-76.
- Naemura A., Ura M., Yamashita T., Arai R. & Yamamoto J. 2008.** Long-term intake of rosemary and common thyme herbs inhibits experimental thrombosis without prolongation of bleeding time. *Thromb Res*. 122(4): 517-522.
- Neira C.M., Heinsohn P.P., Carrillo L.R., Baez M.A. & Fuentealba A.J. 2004.** The effect of lavender and laurel essential oils on *Varroa destructor* Anderson & Truemann (Acari:Varroidae). *Agricultura Técnica*. 64(3): 238-244.
- Noireterre P. 2011.** Biologie et Pathogénie de *Varroa destructor*. *Bulletin des G. T. V.* 62: 101-106.

- Nowak M., Manderscheid R., Weigel H.J., Kleinwachter M. & Selmar, D. 2010.** Drought stress increases the accumulation of monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*), an effect that is compensated by elevated carbon dioxide concentration. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 83: 133-136.
- Oudemans A.C., 1904.** On a new genus and species of parasitic Acari. *Notes from Leyden Museum.* 24: 216-222.
- Ojeda-Sana A.M., Van Baren C.M., Elechosa M.A., Juárez M.A. & Moreno S. 2013.** New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components. *Food Control.* 31(1):189-195.
- Olmedo R.H., Nepote V. & Grosso N.R. 2013.** Preservation of sensory and chemical properties in flavoured cheese prepared with cream cheese base using oregano and rosemary essential oils. *LWT - Food Science and Technology.* 53(2): 409-417.
- Outaleb T., Hazzit M., Ferhat Z., Baaliouamer A., Yekkour A., Zitouni A. & Sabaou N. 2015.** Composition, antioxidant and antimicrobial activities of Algerian *Rosmarinus officinalis* L. extracts, *J. Essent. Oil. Bear. Pl.* 18(3): 654-665.
- Ouziki M. & Taiqui L., 2016.** Evaluation Exhaustive de la diversité des plantes aromatiques et médicinales de la péninsule Tingitane (Maroc). *European Scientific Journal.* 12(15): 210-230.
- Pavela R. 2014.** Acute, synergistic and antagonistic effects of some aromatic compounds on the *Spodoptera littoralis* Boisid. (Lep., Noctuidae) larvae. *Ind Crops Prod.* 60: 247-258.
- Pavela R. 2015.** Acute toxicity and synergistic and antagonistic effects of the aromatic compounds of some essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say larvae. *Parasitol Res.* 114: 3835-3853.
- Pavela R. 2016.** History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a review. *Plant Prot Sci.* 52(4): 229-241.
- Péguin P. 1991.** L'apiculture bio face au varroa. *Nature et Progrès.* 123: 27-28.
- Pernal S.F., Baird D.S., Birmingham A.L., Higo H.A., Slessor K.N. & Winston M.L. 2005.** Semiochemicals influencing the host-finding behaviour of *Varroa destructor*. *Exp. Appl. Acarol.* 37: 1-26
- Peter K.V. & Babu K.N. 2012.** Introduction to herbs and spices: medicinal uses and sustainable production. *Handbook of herbs and spices. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.* 2: 1-16.
- Pintore G., Usai M., Bradesi P., Juliano C., Boatto G., Tomi F., Chessa M., Cerri R. & Casanova J. 2002.** Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. oils from Sardinia and Corsica. *Flav. Fragr. J.* 17(1): 15-19.
- Pommerening A. & Muszta A. 2015.** Methods of modelling relative growth rate. *For. Ecosyst.* 2(5): 1-9.
- PNUD, 2012.** Intégration de la Biodiversité dans les chaînes de valeur des Plantes Aromatiques et Médicinales Méditerranéennes au Maroc, document de projet : Programme des Nations Unies pour le Développement, PIMS N° 4050, 169p.
- Qayyoun M.A., Khan B.S. & Bashir M.H. 2013.** Efficacy of plant extracts against honey bee mite, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *World Journal of Zoology.* 8(2): 212-216.
- Ramsey S.D., Ochoa R., Bauchan G., Gulbranson C., Mowery J.D., Cohen A., Lima D., Joklik J., Cicero J.M., Ellis J.D., Hawthorne D. & vanEngelsdorp D. 2019.** *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *PNAS.* 116 (5): 1792-1801.
- Ramzi H., Ismaili M.R., Aberchane M. & Zaanoun S. 2017.** Chemical characterization and acaricidal activity of *Thymus satureioides* C. & B. and *Origanum elongatum* E. & M. (*Lamiaceae*) essential oils against *Varroa destructor* Anderson & Trueman (Acari: Varroidae). *Ind Crops Prod.* 108:201-207.

- Regnault-Roger C., Vincent C. & Arnason J.T. 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annu. Rev. Entomol.* 57: 405-424.
- Richard H. & Vernon F. 1976.** Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles. *Actualités Scientifiques et Techniques en Industries Agro-al*, 2 (10). Ed. CDIUPA. 212p.
- Rivals P. 1963.** Les besoins de vernalisation, de photopériode et de levée de dormance en tant que conditions d'habitat. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée*.10(1-4): 20-32.
- Robaux P., 1986.** *Varroa* et varroatose. O.P.I.D.A. Echauffour, France. 238p.
- Rosenkranz P., Aumeier P. & Ziegelmann B. 2010.** Biology and control of *Varroa destructor*. *J. Invertebr. Pathol.* 103: 96-119.
- Rosselló J.A., Cosín R., Boscaiu M., Vicente O., Martínez I. & Soriano, P. 2006.** Intragenomic diversity and phylogenetic systematics of wild rosemaries (*Rosmarinus officinalis* L. s.l., *Lamiaceae*) assessed by nuclear ribosomal DNA sequences (ITS). *Plant Systematics and Evolution.* 262: 1-12.
- Ruffinengo S., Maggi M., Faverin C., García de la Rosa S. B., Bailac P., Principal J. & Eguaras M. 2007.** Essential oils toxicity related to *Varroa destructor* and *Apis mellifera* under laboratory conditions. *Zootecnia Trop.* 25(1): 63-69.
- Sabahi Q., Gashout H., Kelly P.G. & Guzman-Novoa E. 2017.** Continuous release of oregano oil effectively and safely controls *Varroa destructor* infestations in honey bee colonies in a northern climate. *Exp. Appl. Acarol.* 72(3): 263-275.
- Salido S., Altarejos J., Noguerras M., Saánchez A. & Luque P. 2003.** Chemical composition and seasonal variations of rosemary oil from Southern Spain, *J. Essent. Oil Res.* 15(1): 10-14.
- Sammataro D. 1994.** Controlling tracheal mites (Acari:Tarsonemidae) in honey bees (Hymenoptera:Apidae) with vegetable oil. *Journal of Economic Entomology.* 87(8): 910-916.
- Santos R.R., Costa D.C., Cavaleiro C., Costa H.S., Albuquerque T.G., Castilho M.C., Ramos F., Melo N.R. & Sanches-Silva A. 2015.** A novel insight on an ancient aromatic plant: the rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Trends Food Sci Technol.* 45(2): 355-368.
- Scherrer A.M., Motti R. & Weckerle C.S., 2005.** Traditional plant use in the areas of Monte Vesole and Ascea, Cilento National Park (Campania, Southern Italy). *J. Ethnopharmacol.* 97: 129-143.
- Schmidt I. 2011.** *Encyclopédie essentielle des plantes médicinales.* Eds Komet, Cologne, Allemagne. 255p.
- Serra Bonvehí J., Ventura Coll F. & Ruiz Martínez J.A. 2016.** Residues of essential oils in honey after treatments to control *Varroa destructor*. *J. Essent. Oil Res.* 28 (1): 22–28.
- Shah F.A. & Shah T.A. 1988.** *Tropilaelaps clareae*, a serious pest of honey bees; flour dusting controls for *Varroa* disease. *American Bee Journal.* 128(1): 27.
- Singh M. & Guleria N. 2013.** Influence of harvesting stage and inorganic and organic fertilizer on yield and oil composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in a semi-arid tropical climate. *Ind. Crops Prod.* 42(1): 37-40.
- Stokstad E. 2019.** Breeders toughen up bees to resist deadly mites. *American Association for the Advancement of Science.* <https://www.sciencemag.org/news/2019/07/breeders-toughen-bees-resist-deadly-mites>.
- Smeti S., Atti N., Mahouachi M. & Munoz F. 2013.** Use of dietary rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oils to increase the shelf life of Barbarine light lamb meat. *Small Ruminant Research.* 113(2-3): 340-345.
- Sotomayor J.A., Martínez C., Moñino M.I., Lax V., Quílez M. & Jordán M.J. 2009.** Effect of altitude on *Rosmarinus officinalis* L. essential oil in Murcia (Spain). *Acta Hort.* 826: 309-316.

- Souza C.R.F., Schiavetto I.A., Thomazini F.C.F. & Oliveira W.P. 2008.** Processing of *Rosmarinus officinalis* linne extract on spray and spouted bed dryers. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 25(01): 59-69.
- Souza Tette P.A., Rocha Guidi L., De Abreu Gloria M.B. & Christian Fernandes C. 2015.** Pesticides in honey: a review on chromatographic analytical methods. Talanta. 149: 124-141.
- Spocclair D. 2011.** Apiculture naturelle en Provence - c'est simple. Eds Lulu.com, 80p.
- Stefanovits-Bányai E., Tulok M.H., Hegedus A., Renner C. & Varga I.S. 2003.** Antioxidant effect of various rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) clones. Acta Biol Szeged. 47: 111-113.
- Svoboda K.P., Svoboda T.G. & Syred P.M. 2000.** Secretory structures of Aromatic and medicinal plant. Microscopix Publications. Powys, UK. 60p.
- Szumny A., Figiel A., Gutiérrez-Ortiz A. & Carbonell-Barrachina A.A. 2010.** Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. Journal of Food Engineering, 97(2) : 253–260.
- Tahri N., EL Basti A., Zidane L., Rochdi A. & Douira A., 2012.** Etude ethnobotanique des Plantes médicinales dans La Province De Settat (Maroc). Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 12(2): 192-208.
- Teixeira B., Marques A., Ramos C., Neng N.R., Nogueira J.M.F., Saraiva J.A. & Nunes M.L. 2013.** Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. Ind Crops Prod. 43:587-595.
- Tentcheva D., Gauthier L., Zappulla N., Dainat B., Cousserans F., Colin M.E. & Bergoin M. 2004.** Prevalence and seasonal variations of six bee viruses in *Apis mellifera* L. and *Varroa destructor* mite populations in France. Appl. Environ. Microbiol. 70: 7185-7191.
- The Food and Environment Research Agency 2017.** The national bee unit, managing varroa. The Animal and Plant Health Agency, York, UK. 44p.
- Teuscher E., Anton R. & Lobstein A. 2005.** Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments, et huiles essentielles. Tec&Doc Lavoisier, Paris, France. 522p.
- Topolska G. 2001.** *Varroa destructor* (Anderson and Trueman, 2000); the change in classification within the genus *Varroa* (Oudemans,1904). Wiad. Parazytol. 47: 151-155.
- Tranchant J. 1995.** Manuel Pratique de Chromatographie en Phase Gazeuse, 4^{ème} édition. Masson, France. 720p.
- Trouiller J. & Moosbeckhofer R. 1997.** Resistenz der varroa gegen Pyrethroide. Bienenvater. 118: 6-9.
- Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H, Walters S.M. & Webb D.A., 1972.** Flora Europaea, *Diapensiaceae* to *Myoporaceae*. vol.3, Cambridge: Ed University press, Great Britain. 407p.
- Upson T. 2006.** The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens. Blackwell Publishing Ltd, 551: 62-68.
- USAID 2006.** Projet intégré de gestion et de valorisation du romarin dans la région de l’Oriental : Cas de la coopérative Béni Yaala Zkara, C.R. El Aouinate, Province de Jerada, Evaluation financière et économique. 24 P.
- U.S.D.A. 2019.** National nutrient database for standard reference, nutrient data laboratory. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171333/nutrients>.
- Valdés A., García-Cañas V., Rocamora-Reverte L., Gómez-Martínez A., Ferragut J.A. & Cifuentes A. 2012.** Effect of rosemary polyphenols on human colon cancer cells: transcriptomic profiling and functional enrichment analysis. Genes Nutr. 8(1): 43-60.

- Vandame R. 1996.** Importance de l'hybridation de l'hôte dans la tolérance à un parasite. Cas de l'acarien parasite *Varroa jacobsoni* chez les races d'abeilles *Apis mellifera* européenne et africanisée, en climat tropical humide du Mexique. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon 1, 126p.
- Verma R.S., Rahman L., Mishra S., Verma R.K., Chauhan A. & Singh A. 2011.** Changes in essential oil content and composition of leaf and leaf powder of *Rosmarinus officinalis* cv. CIM-Hariyali during storage. Maejo Int. J. Sci. Technol. 5(02): 181-190.
- Verma R.S., Rahman L., Mishra S., Verma R.K., Singh A., Chauhan A. & Yadav A.K. 2012.** Volatile terpenoid composition of *Rosmarinus officinalis*, "CIM-Hariyali": variability in north India during annual growth. J. Chil. Chem. Soc. 57(2): 1066-1068.
- Vicente G., Molina S., González-Vallinas M., García-Risco M.R., Fornari T., Reglero G. & de Molina A.R. 2013.** Supercritical rosemary extracts, their antioxidant activity and effect on hepatic tumor progression. J Supercrit Fluids. 79:101-108.
- Wallner K. 2003.** Control of the mite *Varroa destructor* in honey bee colonies. Pesticide Outlook. 14(2): 80-84.
- Wallner K. 1999.** Varroacides and their residues in bee products. Apidologie. 30: 235-248.
- Wendling S. 2012.** *Varroa destructor* (Anderson & Trueman, 2000), un acarien ectoparasite de l'abeille domestique *Apis mellifera* linnaeus, 1758. Revue bibliographique et contribution à l'étude de sa reproduction. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, France, 196p.
- Zaanoun S. 2015.** Caractérisation chimique des huiles essentielles de *Thymus satureioides* C. & B. et d'*Origanum elongatum* E. & M et évaluation de leur effet acaricide contre le *Varroa destructor* Anderson & Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae). Mémoire de 3ème cycle, Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs, Salé, Maroc. 115p.
- Zaouali Y., Chograni H., Trimech R. & Boussaid M., 2013.** Changes in essential oil composition and phenolic fraction in *Rosmarinus officinalis* L. var. typicus Batt. organs during growth and incidence on the antioxidant activity. Ind Crops Prod. 43 : 412-419.
- Zhiri A., 2006.** Les huiles essentielles, un pouvoir antimicrobien avéré. Natura News, Fondation pour le libre choix. 16p.
- Zrira S., El Amrani A., Mejjati-Alami M., Belanger A., Ismaili-Alaoui M. & Benjilali B. 1997.** Rationalisation de l'exploitation industrielle des plantes aromatiques et médicinales : cas du Romarin. Congrès International : Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs Huiles Essentielles, IAVH II, Rabat, pp: 177-184.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Le bouturage et la culture du romarin naturel (*Rosmarinus officinalis* L.)

Introduction

Le romarin naturel présente un très faible taux de germination des graines (inférieur à 30%), La germination prend environ 1 mois, et les stades suivants de la croissance sont également très lents au départ. Aussi, la plantation directe de fragments de tige présente un échec total, d'où l'intérêt de l'élevage des boutures en pépinière dans des conditions de culture favorable avant la plantation au champ.

La multiplication par bouturage du romarin est d'une importance fondamentale au point de vue pratique, c'est le mode de propagation le plus facile et le plus utilisé comme c'est le cas en horticulture. C'est une technique économique qui permet d'obtenir rapidement des plants de qualité et de bonne taille.

Cette forme de propagation végétative consiste à cultiver un fragment d'organe végétal dans des conditions de milieu favorable. La bouture peut éventuellement se transformer en un organisme entier capable de mener une vie indépendante et possédant les caractères fondamentaux de l'individu souche (Ismaili et *al.*, 2016).

1. Multiplication du romarin : le bouturage

La bouture est un fragment d'organe végétal (tige, feuille ou racine) qui, mise en terre, prend racine. Cultivée ensuite dans un milieu favorable, la bouture redonne un nouvel organisme identique à celui d'où provient le fragment.

1.1. Les facteurs influençant le bouturage du romarin

Le bouturage du romarin est influencé par différents facteurs :

- le type de la bouture
- la période de bouturage
- les substances de croissance

1.1.1. Le type de la bouture

Des gradients d'aptitude à la formation de racines ont souvent été observés en fonction de la situation de la bouture sur la plante.

Dans le cas du romarin, ce sont les boutures herbacées (pousses terminales des tiges) qui donnent un taux d'enracinement meilleur contrairement aux boutures ligneuses (fragments de base des tiges). Ce type de bouture donne un taux de réussite supérieur à 80% si les autres facteurs sont contrôlés (Ismaili et *al.*, 2005).

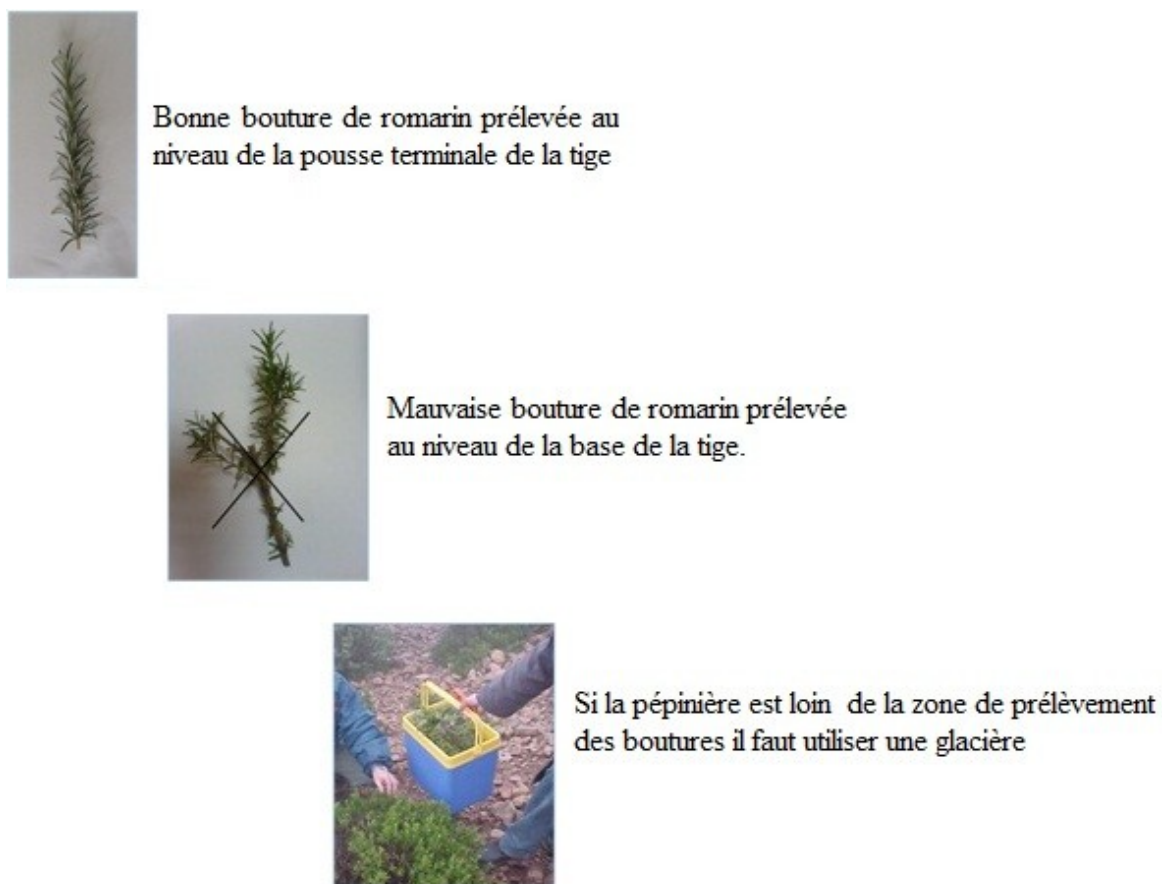


Figure 1. *Types et conditions de prélèvement des boutures de romarin*

1.1.2. La période de bouturage

Le bouturage du romarin réussit pendant l'hiver. Au delà du mois de mars, le taux d'enracinement des boutures diminue (Ismaili et al, 2005).

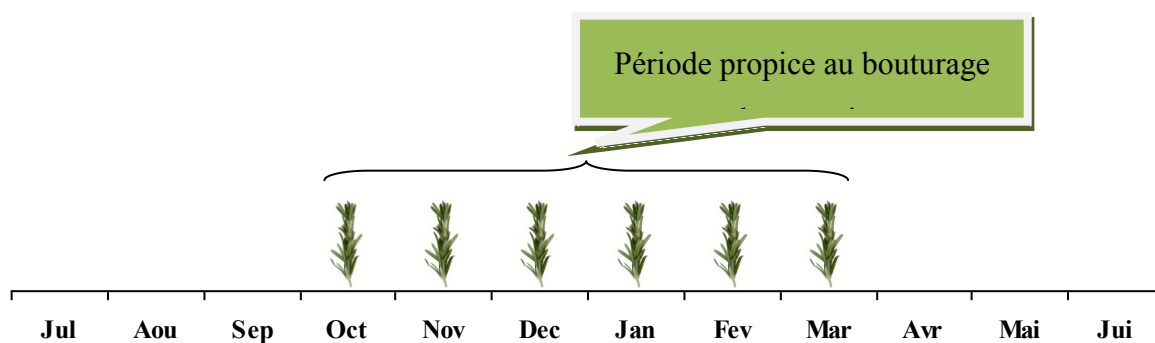


Figure 2. *Période de bouturage du romarin*

1.1.3. Les substances de croissance

Le traitement des boutures de romarin par l'acide indol-butyrique (AIB) améliore le taux d'enracinement d'un pourcentage de 10 à 20% (Ismaili et *al.*, 2005).

Comme le romarin se bouture facilement pendant la période allant du mois d'octobre au mois de mars, l'utilisation de ces substances de croissance n'est pas nécessaire.

1.2. La technique du bouturage

La technique du bouturage se déroule en deux phases :

- phase 1 : la préparation des boutures
- phase 2 : l'élevage en sachet

1.2.1 - La préparation des boutures

Cette phase consiste à prélever des boutures à partir des individu-souches et les préparer pour la mise en sachet.

Pour le prélèvement des boutures, il convient de sélectionner des individu-souches vigoureux. Sur ces individus, on prélève à l'aide d'un sécateur bien aiguisé et d'un seul coup les pousses terminales au niveau des rameaux bien-venants. Les boutures doivent être d'une dimension de 10 à 15 cm de longueur (Ismaili et *al.*, 2005).

Ces pousses doivent être de bonne allure et pourvues de feuilles toutes vertes. Les boutures ainsi prélevées doivent être soit directement mises en sachets ou gardées dans une glacière au cas où le lieu de prélèvement des boutures «forêt» est loin de la pépinière. Avant la plantation des boutures, on enlève les feuilles localisées en bas de la bouture avec un sécateur pour ne pas éplucher la tige et pour minimiser les risques de pourriture de la bouture une fois élevée en pépinière.

1.2.2. L'élevage des boutures

L'élevage des boutures de romarin peut se faire à l'air libre dans des sachets de polyéthylène remplis de terreau. Avant la mise en sachet des boutures, le terreau doit être légèrement humidifié. Ensuite, il faut enfouir environ les 2/3 de la bouture dans le sachet.

Pendant les premiers jours du bouturage un arrosage quotidien est indispensable pour éviter le dessèchement des boutures. La fréquence de l'arrosage est fonction des conditions climatiques : soit un à deux arrosages par jour si les conditions sont sévères (vents, températures élevées). L'utilisation d'une ombrière pendant les deux à trois premières semaines du bouturage est souhaitable. Une fois les boutures commencent à faire apparaître

les premières pousses, un ensoleillement progressif permet de donner des individus vigoureux. Le temps de séjour des plants en pépinière est de 3 à 5 mois.

Si les conditions climatiques sont clémentes (climat subhumide), le bouturage du romarin réussit facilement à l'aire libre. Alors que, dans les régions à climat sec avec des intempéries et du vent (comme c'est le cas dans la région de l'Oriental), il faut protéger les boutures soit par des brise-vents et des ombrières soit les cultiver sous serre (Ismaili et *al.*, 2005).

2. La Culture du romarin

2.1. La plantation

Le romarin, une fois enraciné est assez résistant. C'est une plante qui aime les endroits ensoleillés et où le sol est bien drainé. Dès la première saison, il prend une bonne envergure (environ 30 centimètres de diamètre et 60 cm de hauteur). La plantation est réalisée en début du printemps. Le taux de réussite obtenu dépasse 80% dans la région de l'Oriental au Maroc (taux calculé après le passage du cap estival), ce taux atteint 100% dans la région de Rabat (plantation réalisée au niveau de la pépinière du CRF). L'arrosage en première année de plantation pendant le cap estival améliore le taux de réussite des plants de romarin (Ismaili et *al.*, 2016).

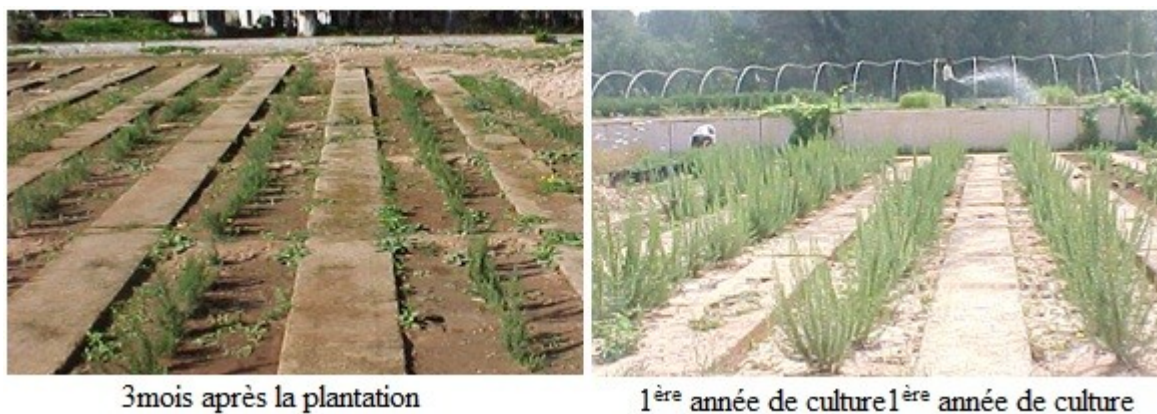


Figure 3. *Plantation artificielle de romarin à la pépinière du CRF*

Le romarin peut être cultivé en forme de haies le long des cultures avec un espacement entre plant de 0,5 m. ou dans des plantations en plein champs, la méthode préconisée est le fossé de 20 cm de largeur sur 20 cm de profondeur le long des courbes de niveau (Ismaili et *al.*, 2016).

2.1. La fertilisation

La fertilisation est un apport en éléments minéraux ou organiques pour combler le déficit du sol. L'application des fertilisants doit prendre en considération plusieurs facteurs à savoir : le

type de sol, ses caractéristiques physico-chimiques, sa déficience, le climat et l'espèce cultivée.

L'Engrais est appliqué avant la plantation au moment de la préparation du sol, un second apport en azote est bénéfique au printemps. La formule à utiliser est constituée de 5g/m² d'ammonitrate à 33%, de 30g/m² de superphosphate à 45% et de 15g/m² de sulfate de potasse à 46%.

Dans le cas du romarin, la fertilisation minérale améliore significativement la production en biomasse et en huiles essentielles. Cette amélioration varie de 40% à 64% pour la production en biomasse sèche et de 15 à 20% pour le rendement en huiles essentielles. Quant à la composition chimique, elle est semblable au romarin non fertilisé. La teneur en constituants majoritaires (α et β pinène, 1-8 cinéole et camphre) reste la même quelque soit le traitement de fertilisation appliqué.

La production en biomasse sèche de romarin est en moyenne de 1,2 tonne au cours de la première année de culture. Dans le cas de la fertilisation cette production peut aller jusqu'à deux tonnes par hectare et par an en biomasse sèche de romarin (Ismaili et *al.*, 2016).

3.2. L'irrigation

L'irrigation du romarin améliore la production en biomasse, toute fois le rendement en huiles essentielles reste relativement faible par rapport au plantes en forêt. Les essais en pépinière ont permis de montrer qu'un assèchement des cultures (sevrage) pendant un mois avant la récolte permet d'améliorer le rendement en huiles essentielles de 10%.

Ce sevrage a permis aussi une nette amélioration de la teneur en 1,8-cinéole et une légère diminution de celle de α -pinène. Quant aux autres composés les pourcentages sont restés stables (Ismaili et *al.*, 2016).

Conclusion et perspectives pour des cultures de romarin

Actuellement, la récolte du romarin spontané offre des opportunités importantes pour les professionnels de la filière des PAM, elle génère une activité diversifiée de récolte, de transformation et de commercialisation interne et à l'export. Cette activité est cependant menacée dans sa pérennité à cause de la pression exercée sur les nappes de romarin.

Pour inverser la tendance à la dégradation de ces nappes, la culture du romarin présente une alternative de développement très intéressante. Elle permet de régulariser l'offre et de standardiser la qualité.

Les expérimentations menées montrent que la multiplication du romarin par bouturage ne présente pas de difficulté particulière, seul un travail soigneux au cours des différentes étapes est nécessaire. Cette multiplication permet de contourner la difficulté de régénération par semis. La plantation et la culture du romarin ne nécessitent pas de travaux lourds. Les plants sont résistants dès leurs premiers enracinements. Ces plantations permettront de régénérer les nappes dégradées ou d'en constituer de nouvelles.

La culture du romarin peut constituer aussi un moyen d'amélioration et de diversification des revenus des populations rurales. Les cultures pourraient être réalisées sous forme de haies limitant les champs agricoles, à l'image de la culture du rosier, ou des cultures en pleins champs, ou encore en culture mixte avec l'arboriculture.

Références bibliographiques

- Ismaili M.R., Aberchane M. & Famiri A. 2016.** Le romarin naturel (*Rosmarinus officinalis* L.) : Techniques de bouturage et de culture. Ed. Centre de Recherche Forestière, Rabat, Maroc. 30p.
- Ismaili M.R., Fechtal M., Zine El Abidine A. & Karkouzi R. 2005.** Multiplication végétative de deux espèces de romarin du Maroc (*Rosmarinus officinalis* et *Rosmarinus tournefortii*). An. Rech. For. au Maroc. 36: 140-147.

ANNEXE 2 : Variation de la concentration de quelques composés de l'HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet

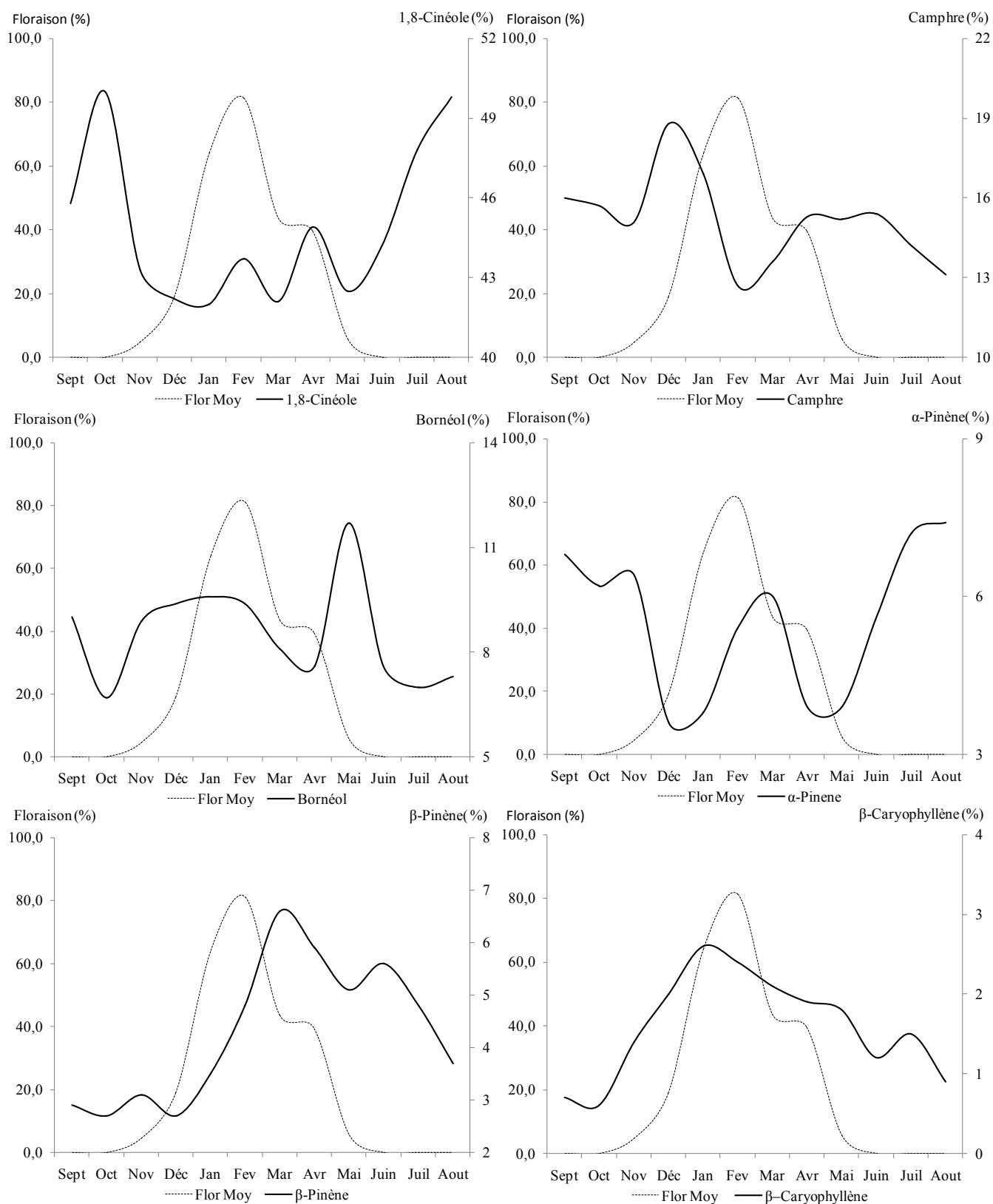


Figure 33. Evolution de la teneur de quelques composés majoritaires de l'HE de romarin au cours d'un cycle végétatif complet

ANNEXE 3 : Analyses statistiques

Tableau 1. Analyse de la variance de la Composition chimique en fonction du stade végétatif

| N° | Composé | Facteur | SCE | Df | CM | F | P | Sig |
|----|------------------------|--------------------|----------|----|----------|-------|----------|-----|
| 1 | Tricyclène | Période de récolte | 0,000756 | 11 | 0,000069 | 3,127 | 0,009436 | ** |
| | | Erreur | 0,000527 | 24 | 0,000022 | | | |
| 2 | α -Thujène | Période de récolte | 0,002807 | 11 | 0,000255 | 11,04 | 0,000001 | *** |
| | | Erreur | 0,000555 | 24 | 0,000023 | | | |
| 3 | α -Pinène | Période de récolte | 0,033413 | 11 | 0,003038 | 3,637 | 0,003954 | ** |
| | | Erreur | 0,020045 | 24 | 0,000835 | | | |
| 4 | Camphène | Période de récolte | 0,009686 | 11 | 0,000881 | 2,921 | 0,013611 | * |
| | | Erreur | 0,007236 | 24 | 0,000301 | | | |
| 5 | β -Pinène | Période de récolte | 0,037668 | 11 | 0,003424 | 6,383 | 0,000077 | *** |
| | | Erreur | 0,012875 | 24 | 0,000536 | | | |
| 6 | 3-Octanone | Période de récolte | 0,000214 | 11 | 0,000019 | 1,538 | 0,182061 | NS |
| | | Erreur | 0,000303 | 24 | 0,000013 | | | |
| 7 | Myrcène | Période de récolte | 0,000849 | 11 | 0,000077 | 2,191 | 0,052414 | NS |
| | | Erreur | 0,000845 | 24 | 0,000035 | | | |
| 8 | α -Phellandrène | Période de récolte | 0,000347 | 11 | 0,000032 | 6,498 | 0,000067 | *** |
| | | Erreur | 0,000117 | 24 | 0,000005 | | | |
| 9 | α -Terpinène | Période de récolte | 0,001095 | 11 | 0,0001 | 6,312 | 0,000084 | *** |
| | | Erreur | 0,000378 | 24 | 0,000016 | | | |
| 10 | p-Cymène | Période de récolte | 0,011061 | 11 | 0,001006 | 32,96 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000732 | 24 | 0,000031 | | | |
| 11 | 1,8-Cinéole | Période de récolte | 0,02808 | 11 | 0,00255 | 5,14 | 0,000399 | *** |
| | | Erreur | 0,01193 | 24 | 0,0005 | | | |
| 12 | (Z)- β -Ocimène | Période de récolte | 0,000296 | 11 | 0,000027 | 0,55 | 0,848944 | NS |
| | | Erreur | 0,001175 | 24 | 0,000049 | | | |
| 13 | (E)- β -Ocimène | Période de récolte | 0,000115 | 11 | 0,00001 | 1,707 | 0,132127 | NS |
| | | Erreur | 0,000147 | 24 | 0,000006 | | | |
| 14 | γ -Terpinène | Période de récolte | 0,004824 | 11 | 0,000439 | 9,894 | 0,000002 | *** |
| | | Erreur | 0,001064 | 24 | 0,000044 | | | |
| 15 | trans-Sabinène hydrate | Période de récolte | 0,005593 | 11 | 0,000508 | 22,34 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000546 | 24 | 0,000023 | | | |
| 16 | Terpinolène | Période de récolte | 0,000812 | 11 | 0,000074 | 18,28 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000097 | 24 | 0,000004 | | | |
| 17 | Linalol | Période de récolte | 0,001574 | 11 | 0,000143 | 0,949 | 0,513875 | NS |
| | | Erreur | 0,003617 | 24 | 0,000151 | | | |
| 18 | Chrysanthenone | Période de récolte | 0,000184 | 11 | 0,000017 | 7,46 | 0,000021 | *** |
| | | Erreur | 0,000054 | 24 | 0,000002 | | | |
| 19 | Campholenal | Période de récolte | 0,000137 | 11 | 0,000012 | 2,401 | 0,035286 | * |
| | | Erreur | 0,000125 | 24 | 0,000005 | | | |
| 20 | Camphre | Période de récolte | 0,018212 | 11 | 0,001656 | 1,786 | 0,113584 | NS |
| | | Erreur | 0,022243 | 24 | 0,000927 | | | |

Tableau 1 (suite)

| N° | Composé | Facteur | SCE | Df | CM | F | P | Sig |
|----|------------------------------|--------------------|----------|----|----------|-------|----------|-----|
| 21 | Bornéol | Période de récolte | 0,020738 | 11 | 0,001885 | 1,746 | 0,122684 | NS |
| | | Erreur | 0,025912 | 24 | 0,00108 | | | |
| 22 | Terpinène-4-ol | Période de récolte | 0,003177 | 11 | 0,000289 | 6,55 | 0,000062 | *** |
| | | Erreur | 0,001058 | 24 | 0,000044 | | | |
| 23 | p-Cymène-8-ol | Période de récolte | 0,000944 | 11 | 0,000086 | 11,45 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,00018 | 24 | 0,000007 | | | |
| 24 | α -Terpinéol | Période de récolte | 0,001719 | 11 | 0,000156 | 0,853 | 0,593973 | NS |
| | | Erreur | 0,004401 | 24 | 0,000183 | | | |
| 25 | Myrtenol | Période de récolte | 0,000693 | 11 | 0,000063 | 1,63 | 0,153084 | NS |
| | | Erreur | 0,000928 | 24 | 0,000039 | | | |
| 26 | Verbenone | Période de récolte | 0,001863 | 11 | 0,000169 | 1,334 | 0,266208 | NS |
| | | Erreur | 0,003047 | 24 | 0,000127 | | | |
| 27 | Bornyl acétate | Période de récolte | 0,03102 | 11 | 0,00282 | 13,84 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,004889 | 24 | 0,000204 | | | |
| 28 | Thymol | Période de récolte | 0,000708 | 11 | 0,000064 | 3,89 | 0,002614 | ** |
| | | Erreur | 0,000397 | 24 | 0,000017 | | | |
| 29 | Carvacrol | Période de récolte | 0,001031 | 11 | 0,000094 | 6,104 | 0,000109 | *** |
| | | Erreur | 0,000369 | 24 | 0,000015 | | | |
| 30 | Eugenol | Période de récolte | 0,00023 | 11 | 0,000021 | 2,145 | 0,057301 | NS |
| | | Erreur | 0,000234 | 24 | 0,00001 | | | |
| 31 | β -Caryophyllène | Période de récolte | 0,025502 | 11 | 0,002318 | 11,99 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,004641 | 24 | 0,000193 | | | |
| 32 | α -Humulène | Période de récolte | 0,004686 | 11 | 0,000426 | 4,413 | 0,00115 | ** |
| | | Erreur | 0,002316 | 24 | 0,000097 | | | |
| 33 | γ -Muuroène | Période de récolte | 0,001316 | 11 | 0,00012 | 5,653 | 0,000196 | *** |
| | | Erreur | 0,000508 | 24 | 0,000021 | | | |
| 34 | Caryophyllène oxyde | Période de récolte | 0,011684 | 11 | 0,001062 | 16,59 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,001536 | 24 | 0,000064 | | | |
| 35 | α -Cadinol | Période de récolte | 0,006859 | 11 | 0,000624 | 18,48 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,00081 | 24 | 0,000034 | | | |
| 36 | Monoterpènes hydrocarbonés | Période de récolte | 0,037159 | 11 | 0,003378 | 2,21 | 0,050604 | NS |
| | | Erreur | 0,036686 | 24 | 0,001529 | | | |
| 37 | Monoterpènes oxygénés | Période de récolte | 0,02287 | 11 | 0,00208 | 1,88 | 0,095211 | NS |
| | | Erreur | 0,02656 | 24 | 0,00111 | | | |
| 38 | Sesquiterpènes hydrocarbonés | Période de récolte | 0,029586 | 11 | 0,00269 | 12,92 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,004998 | 24 | 0,000208 | | | |
| 39 | Sesquiterpènes oxygénés | Période de récolte | 0,016172 | 11 | 0,00147 | 16,17 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,002183 | 24 | 0,000091 | | | |

Tableau 2. Analyse de la variance de la Composition chimique en fonction de la provenance

| N° | Composé | Facteur | SCE | Df | CM | F | P | Sig |
|----|------------------------|------------|----------|----|----------|------|----------|-----|
| 1 | Tricyclène | Provenance | 0,000308 | 9 | 0,000034 | 5,92 | 0,000466 | *** |
| | | Erreur | 0,000116 | 20 | 0,000006 | | | |
| 2 | α -Thujène | Provenance | 0,003533 | 9 | 0,000393 | 58,8 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000133 | 20 | 0,000007 | | | |
| 3 | α -Pinène | Provenance | 0,017973 | 9 | 0,001997 | 4,12 | 0,004001 | ** |
| | | Erreur | 0,009686 | 20 | 0,000484 | | | |
| 4 | Camphène | Provenance | 0,007616 | 9 | 0,000846 | 6,55 | 0,000238 | *** |
| | | Erreur | 0,002583 | 20 | 0,000129 | | | |
| 5 | β -Pinène | Provenance | 0,02324 | 9 | 0,002582 | 17,8 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,002894 | 20 | 0,000145 | | | |
| 6 | 3-Octanone | Provenance | 0,000056 | 9 | 0,000006 | 0,03 | 0,999993 | NS |
| | | Erreur | 0,003661 | 20 | 0,000183 | | | |
| 7 | Myrcène | Provenance | 0,001697 | 9 | 0,000189 | 9,33 | 0,000019 | *** |
| | | Erreur | 0,000404 | 20 | 0,00002 | | | |
| 8 | α -Phellandrène | Provenance | 0,000139 | 9 | 0,000015 | 5,17 | 0,001086 | ** |
| | | Erreur | 0,00006 | 20 | 0,000003 | | | |
| 9 | α -Terpinène | Provenance | 0,001732 | 9 | 0,000192 | 6,21 | 0,000341 | *** |
| | | Erreur | 0,00062 | 20 | 0,000031 | | | |
| 10 | p-Cymène | Provenance | 0,007055 | 9 | 0,000784 | 7,89 | 0,000066 | *** |
| | | Erreur | 0,001987 | 20 | 0,000099 | | | |
| 11 | 1,8-Cinéole | Provenance | 0,04324 | 9 | 0,0048 | 25,5 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,00377 | 20 | 0,00019 | | | |
| 12 | (Z)- β -Ocimène | Provenance | 0,008796 | 9 | 0,000977 | 15,2 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,00129 | 20 | 0,000064 | | | |
| 13 | (E)- β -Ocimène | Provenance | 0,000326 | 9 | 0,000036 | 2,02 | 0,091719 | NS |
| | | Erreur | 0,000359 | 20 | 0,000018 | | | |
| 14 | γ -Terpinène | Provenance | 0,002735 | 9 | 0,000304 | 31,3 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000194 | 20 | 0,00001 | | | |
| 15 | trans-Sabinène hydrate | Provenance | 0,002309 | 9 | 0,000257 | 3,13 | 0,016118 | * |
| | | Erreur | 0,001641 | 20 | 0,000082 | | | |
| 16 | Terpinolène | Provenance | 0,002735 | 9 | 0,000304 | 31,3 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000194 | 20 | 0,00001 | | | |
| 17 | Linalol | Provenance | 0,006045 | 9 | 0,000672 | 39,9 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000337 | 20 | 0,000017 | | | |
| 18 | Chrysanthenone | Provenance | 0,00158 | 9 | 0,000176 | 1,57 | 0,190865 | NS |
| | | Erreur | 0,002233 | 20 | 0,000112 | | | |
| 19 | Campholenal | Provenance | 0,00108 | 9 | 0,00012 | 1,45 | 0,234874 | NS |
| | | Erreur | 0,001661 | 20 | 0,000083 | | | |
| 20 | Camphre | Provenance | 0,068868 | 9 | 0,007652 | 46,4 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,003302 | 20 | 0,000165 | | | |

Tableau 2 (suite)

| N° | Composé | Facteur | SCE | Df | CM | F | P | Sig |
|----|------------------------------|------------|----------|----|----------|------|----------|-----|
| 21 | Bornéol | Provenance | 0,042924 | 9 | 0,004769 | 28,5 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,00335 | 20 | 0,000167 | | | |
| 22 | Terpinène-4-ol | Provenance | 0,002428 | 9 | 0,00027 | 9,68 | 0,000015 | *** |
| | | Erreur | 0,000557 | 20 | 0,000028 | | | |
| 23 | p-Cymène-8-ol | Provenance | 0,004105 | 9 | 0,000456 | 3,58 | 0,008416 | ** |
| | | Erreur | 0,002549 | 20 | 0,000127 | | | |
| 24 | α -Terpinéol | Provenance | 0,004243 | 9 | 0,000471 | 3,82 | 0,005986 | ** |
| | | Erreur | 0,002466 | 20 | 0,000123 | | | |
| 25 | Myrtenol | Provenance | 0,006805 | 9 | 0,000756 | 10,8 | 0,000006 | *** |
| | | Erreur | 0,001396 | 20 | 0,00007 | | | |
| 26 | Verbenone | Provenance | 0,04811 | 9 | 0,005346 | 88,5 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,001209 | 20 | 0,00006 | | | |
| 27 | Bornyl acétate | Provenance | 0,009203 | 9 | 0,001023 | 66,1 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000309 | 20 | 0,000015 | | | |
| 28 | Thymol | Provenance | 0,000433 | 9 | 0,000048 | 0,38 | 0,933535 | NS |
| | | Erreur | 0,002563 | 20 | 0,000128 | | | |
| 29 | Carvacrol | Provenance | 0,007045 | 9 | 0,000783 | 12,4 | 0,000002 | *** |
| | | Erreur | 0,001265 | 20 | 0,000063 | | | |
| 30 | Eugenol | Provenance | 0,001592 | 9 | 0,000177 | 0,92 | 0,531962 | NS |
| | | Erreur | 0,003865 | 20 | 0,000193 | | | |
| 31 | β -Caryophyllène | Provenance | 0,022557 | 9 | 0,002506 | 57,9 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,000866 | 20 | 0,000043 | | | |
| 32 | α -Humulène | Provenance | 0,005137 | 9 | 0,000571 | 3,44 | 0,010179 | * |
| | | Erreur | 0,003314 | 20 | 0,000166 | | | |
| 33 | γ - Muurolène | Provenance | 0,008576 | 9 | 0,000953 | 13,9 | 0,000001 | *** |
| | | Erreur | 0,001374 | 20 | 0,000069 | | | |
| 34 | Caryophyllène oxyde | Provenance | 0,003568 | 9 | 0,000396 | 14,3 | 0,000001 | *** |
| | | Erreur | 0,000556 | 20 | 0,000028 | | | |
| 35 | α -Cadinol | Provenance | 0,006168 | 9 | 0,000685 | 3,02 | 0,018991 | * |
| | | Erreur | 0,004541 | 20 | 0,000227 | | | |
| 36 | Monoterpènes hydrocarbonés | Provenance | 0,039698 | 9 | 0,004411 | 4,94 | 0,001427 | ** |
| | | Erreur | 0,017859 | 20 | 0,000893 | | | |
| 37 | Monoterpènes oxygénés | Provenance | 0,02584 | 9 | 0,00287 | 4,15 | 0,003843 | ** |
| | | Erreur | 0,01383 | 20 | 0,00069 | | | |
| 38 | Sesquiterpènes hydrocarbonés | Provenance | 0,02565 | 9 | 0,00285 | 43,7 | 0,000000 | *** |
| | | Erreur | 0,001304 | 20 | 0,000065 | | | |
| 39 | Sesquiterpènes oxygénés | Provenance | 0,006618 | 9 | 0,000735 | 11,5 | 0,000004 | *** |
| | | Erreur | 0,001278 | 20 | 0,000064 | | | |

Tableau 3. Test de Duncan de la Composition chimique en fonction du stade végétatif

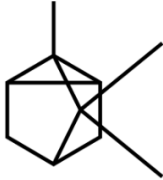
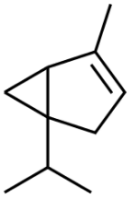
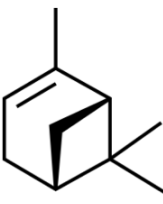
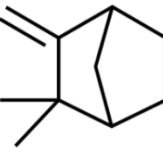
| | Composé | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|---|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Tricyclène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,399 | 0,955 | 0,021 | 0,047 | 0,547 | 0,837 | 0,08 | 0,03 | 0,538 | 0,569 | 0,706 |
| | | Oct | 0,399 | | 0,381 | 0,107 | 0,196 | 0,758 | 0,315 | 0,287 | 0,138 | 0,783 | 0,181 | 0,246 |
| | | Nov | 0,955 | 0,381 | | 0,02 | 0,045 | 0,535 | 0,871 | 0,076 | 0,028 | 0,518 | 0,596 | 0,736 |
| | | Dec | 0,021 | 0,107 | 0,02 | | 0,672 | 0,066 | 0,015 | 0,488 | 0,85 | 0,069 | 0,007 | 0,01 |
| | | Jan | 0,047 | 0,196 | 0,045 | 0,672 | | 0,132 | 0,034 | 0,754 | 0,793 | 0,135 | 0,016 | 0,024 |
| | | Fev | 0,547 | 0,758 | 0,535 | 0,066 | 0,132 | | 0,456 | 0,206 | 0,088 | 0,959 | 0,278 | 0,366 |
| | | Mar | 0,837 | 0,315 | 0,871 | 0,015 | 0,034 | 0,456 | | 0,059 | 0,021 | 0,438 | 0,692 | 0,844 |
| | | Avr | 0,08 | 0,287 | 0,076 | 0,488 | 0,754 | 0,206 | 0,059 | | 0,589 | 0,208 | 0,029 | 0,043 |
| | | Mai | 0,03 | 0,138 | 0,028 | 0,85 | 0,793 | 0,088 | 0,021 | 0,589 | | 0,092 | 0,009 | 0,015 |
| | | Jun | 0,538 | 0,783 | 0,518 | 0,069 | 0,135 | 0,959 | 0,438 | 0,208 | 0,092 | | 0,264 | 0,349 |
| | | Juil | 0,569 | 0,181 | 0,596 | 0,007 | 0,016 | 0,278 | 0,692 | 0,029 | 0,009 | 0,264 | | 0,822 |
| | | Aout | 0,706 | 0,246 | 0,736 | 0,01 | 0,024 | 0,366 | 0,844 | 0,043 | 0,015 | 0,349 | 0,822 | |
| 2 | α-Thujène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,744 | 0,494 | 0,549 | 0,211 | 9E-04 | 3E-05 | 7E-05 | 2E-04 | 7E-05 | 0,002 | 0,151 |
| | | Oct | 0,744 | | 0,339 | 0,385 | 0,132 | 5E-04 | 2E-05 | 4E-05 | 1E-04 | 4E-05 | 9E-04 | 0,091 |
| | | Nov | 0,494 | 0,339 | | 0,898 | 0,512 | 0,004 | 1E-04 | 3E-04 | 1E-03 | 3E-04 | 0,008 | 0,398 |
| | | Dec | 0,549 | 0,385 | 0,898 | | 0,461 | 0,003 | 9E-05 | 2E-04 | 8E-04 | 2E-04 | 0,007 | 0,351 |
| | | Jan | 0,211 | 0,132 | 0,512 | 0,461 | | 0,016 | 4E-04 | 0,001 | 0,004 | 0,001 | 0,028 | 0,807 |
| | | Fev | 9E-04 | 5E-04 | 0,004 | 0,003 | 0,016 | | 0,129 | 0,264 | 0,508 | 0,255 | 0,75 | 0,024 |
| | | Mar | 3E-05 | 2E-05 | 1E-04 | 9E-05 | 4E-04 | 0,129 | | 0,618 | 0,336 | 0,642 | 0,078 | 7E-04 |
| | | Avr | 7E-05 | 4E-05 | 3E-04 | 2E-04 | 0,001 | 0,264 | 0,618 | | 0,595 | 0,948 | 0,173 | 0,002 |
| | | Mai | 2E-04 | 1E-04 | 1E-03 | 8E-04 | 0,004 | 0,508 | 0,336 | 0,595 | | 0,574 | 0,358 | 0,006 |
| | | Jun | 7E-05 | 4E-05 | 3E-04 | 2E-04 | 0,001 | 0,255 | 0,642 | 0,948 | 0,574 | | 0,164 | 0,002 |
| | | Juil | 0,002 | 9E-04 | 0,008 | 0,007 | 0,028 | 0,75 | 0,078 | 0,173 | 0,358 | 0,164 | | 0,037 |
| | | Aout | 0,151 | 0,091 | 0,398 | 0,351 | 0,807 | 0,024 | 7E-04 | 0,002 | 0,006 | 0,002 | 0,037 | |
| 3 | α-Pinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,615 | 0,732 | 0,012 | 0,016 | 0,272 | 0,508 | 0,021 | 0,017 | 0,353 | 0,774 | 0,694 |
| | | Oct | 0,615 | | 0,847 | 0,034 | 0,042 | 0,51 | 0,845 | 0,053 | 0,044 | 0,63 | 0,456 | 0,398 |
| | | Nov | 0,732 | 0,847 | | 0,024 | 0,03 | 0,415 | 0,715 | 0,039 | 0,032 | 0,522 | 0,555 | 0,49 |
| | | Dec | 0,012 | 0,034 | 0,024 | | 0,892 | 0,111 | 0,047 | 0,774 | 0,86 | 0,081 | 0,007 | 0,005 |
| | | Jan | 0,016 | 0,042 | 0,03 | 0,892 | | 0,131 | 0,058 | 0,865 | 0,959 | 0,097 | 0,009 | 0,007 |
| | | Fev | 0,272 | 0,51 | 0,415 | 0,111 | 0,131 | | 0,618 | 0,142 | 0,131 | 0,831 | 0,184 | 0,153 |
| | | Mar | 0,508 | 0,845 | 0,715 | 0,047 | 0,058 | 0,618 | | 0,07 | 0,06 | 0,751 | 0,367 | 0,316 |
| | | Avr | 0,021 | 0,053 | 0,039 | 0,774 | 0,865 | 0,142 | 0,07 | | 0,897 | 0,113 | 0,012 | 0,01 |
| | | Mai | 0,017 | 0,044 | 0,032 | 0,86 | 0,959 | 0,131 | 0,06 | 0,897 | | 0,099 | 0,01 | 0,008 |
| | | Jun | 0,353 | 0,63 | 0,522 | 0,081 | 0,097 | 0,831 | 0,751 | 0,113 | 0,099 | | 0,245 | 0,207 |
| | | Juil | 0,774 | 0,456 | 0,555 | 0,007 | 0,009 | 0,184 | 0,367 | 0,012 | 0,01 | 0,245 | | 0,895 |
| | | Aout | 0,694 | 0,398 | 0,49 | 0,005 | 0,007 | 0,153 | 0,316 | 0,01 | 0,008 | 0,207 | 0,895 | |
| 4 | Camphène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,374 | 0,749 | 0,007 | 0,057 | 0,44 | 0,96 | 0,071 | 0,02 | 0,437 | 0,91 | 0,763 |
| | | Oct | 0,374 | | 0,54 | 0,044 | 0,244 | 0,884 | 0,356 | 0,272 | 0,106 | 0,881 | 0,329 | 0,525 |
| | | Nov | 0,749 | 0,54 | | 0,014 | 0,097 | 0,619 | 0,722 | 0,117 | 0,036 | 0,607 | 0,681 | 0,968 |
| | | Dec | 0,007 | 0,044 | 0,014 | | 0,319 | 0,036 | 0,007 | 0,276 | 0,61 | 0,037 | 0,006 | 0,013 |
| | | Jan | 0,057 | 0,244 | 0,097 | 0,319 | | 0,208 | 0,054 | 0,889 | 0,579 | 0,214 | 0,048 | 0,094 |
| | | Fev | 0,44 | 0,884 | 0,619 | 0,036 | 0,208 | | 0,42 | 0,241 | 0,088 | 0,99 | 0,391 | 0,606 |
| | | Mar | 0,96 | 0,356 | 0,722 | 0,007 | 0,054 | 0,42 | | 0,067 | 0,019 | 0,421 | 0,944 | 0,741 |
| | | Avr | 0,071 | 0,272 | 0,117 | 0,276 | 0,889 | 0,241 | 0,067 | | 0,514 | 0,252 | 0,061 | 0,115 |
| | | Mai | 0,02 | 0,106 | 0,036 | 0,61 | 0,579 | 0,088 | 0,019 | 0,514 | | 0,09 | 0,017 | 0,035 |
| | | Jun | 0,437 | 0,881 | 0,607 | 0,037 | 0,214 | 0,99 | 0,421 | 0,252 | 0,09 | | 0,393 | 0,602 |
| | | Juil | 0,91 | 0,329 | 0,681 | 0,006 | 0,048 | 0,391 | 0,944 | 0,061 | 0,017 | 0,393 | | 0,702 |
| | | Aout | 0,763 | 0,525 | 0,968 | 0,013 | 0,094 | 0,606 | 0,741 | 0,115 | 0,035 | 0,602 | 0,702 | |

Tableau 3 (suite)

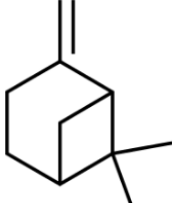
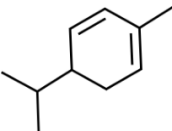
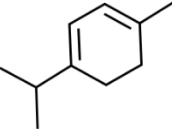
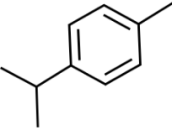
| | Composé | Period | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|----|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | β-Pinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,781 | 0,71 | 0,801 | 0,363 | 0,021 | 3E-04 | 0,002 | 0,012 | 0,004 | 0,02 | 0,273 |
| | | Oct | 0,781 | | 0,544 | 0,965 | 0,262 | 0,013 | 2E-04 | 9E-04 | 0,007 | 0,002 | 0,013 | 0,19 |
| | | Nov | 0,71 | 0,544 | | 0,558 | 0,55 | 0,041 | 6E-04 | 0,004 | 0,025 | 0,008 | 0,04 | 0,431 |
| | | Dec | 0,801 | 0,965 | 0,558 | | 0,269 | 0,013 | 2E-04 | 1E-03 | 0,007 | 0,002 | 0,013 | 0,197 |
| | | Jan | 0,363 | 0,262 | 0,55 | 0,269 | | 0,116 | 0,002 | 0,013 | 0,074 | 0,026 | 0,111 | 0,81 |
| | | Fev | 0,021 | 0,013 | 0,041 | 0,013 | 0,116 | | 0,082 | 0,269 | 0,771 | 0,415 | 0,976 | 0,16 |
| | | Mar | 3E-04 | 2E-04 | 6E-04 | 2E-04 | 0,002 | 0,082 | | 0,448 | 0,128 | 0,296 | 0,082 | 0,004 |
| | | Avr | 0,002 | 9E-04 | 0,004 | 1E-03 | 0,013 | 0,269 | 0,448 | | 0,382 | 0,723 | 0,267 | 0,02 |
| | | Mai | 0,012 | 0,007 | 0,025 | 0,007 | 0,074 | 0,771 | 0,128 | 0,382 | | 0,565 | 0,763 | 0,106 |
| | | Jun | 0,004 | 0,002 | 0,008 | 0,002 | 0,026 | 0,415 | 0,296 | 0,723 | 0,565 | | 0,415 | 0,039 |
| | | Juil | 0,02 | 0,013 | 0,04 | 0,013 | 0,111 | 0,976 | 0,082 | 0,267 | 0,763 | 0,415 | | 0,147 |
| | | Aout | 0,273 | 0,19 | 0,431 | 0,197 | 0,81 | 0,16 | 0,004 | 0,02 | 0,106 | 0,039 | 0,147 | |
| 8 | α-Phellandrène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,392 | 0,179 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 5E-04 | 0,033 | 0,404 | 0,936 | 0,93 |
| | | Oct | 0,392 | | 0,56 | 0,014 | 0,01 | 0,012 | 0,012 | 0,004 | 0,148 | 0,965 | 0,423 | 0,414 |
| | | Nov | 0,179 | 0,56 | | 0,041 | 0,033 | 0,037 | 0,036 | 0,013 | 0,333 | 0,556 | 0,196 | 0,19 |
| | | Dec | 0,002 | 0,014 | 0,041 | | 0,811 | 0,913 | 0,872 | 0,513 | 0,211 | 0,014 | 0,002 | 0,002 |
| | | Jan | 0,001 | 0,01 | 0,033 | 0,811 | | 0,885 | 0,926 | 0,637 | 0,177 | 0,01 | 0,002 | 0,002 |
| | | Fev | 0,002 | 0,012 | 0,037 | 0,913 | 0,885 | | 0,95 | 0,569 | 0,2 | 0,012 | 0,002 | 0,002 |
| | | Mar | 0,002 | 0,012 | 0,036 | 0,872 | 0,926 | 0,95 | | 0,595 | 0,194 | 0,011 | 0,002 | 0,002 |
| | | Avr | 5E-04 | 0,004 | 0,013 | 0,513 | 0,637 | 0,569 | 0,595 | | 0,084 | 0,004 | 6E-04 | 5E-04 |
| | | Mai | 0,033 | 0,148 | 0,333 | 0,211 | 0,177 | 0,2 | 0,194 | 0,084 | | 0,15 | 0,037 | 0,035 |
| | | Jun | 0,404 | 0,965 | 0,556 | 0,014 | 0,01 | 0,012 | 0,011 | 0,004 | 0,15 | | 0,431 | 0,411 |
| | | Juil | 0,936 | 0,423 | 0,196 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 6E-04 | 0,037 | 0,431 | | 0,99 |
| | | Aout | 0,93 | 0,414 | 0,19 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 5E-04 | 0,035 | 0,411 | 0,99 | |
| 9 | α-Terpinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,179 | 0,098 | 0,016 | 0,014 | 0,066 | 0,187 | 0,845 | 0,66 | 0,023 | 0,18 | 0,645 |
| | | Oct | 0,179 | | 0,678 | 0,204 | 0,188 | 0,527 | 0,983 | 0,218 | 0,094 | 0,001 | 0,013 | 0,089 |
| | | Nov | 0,098 | 0,678 | | 0,35 | 0,331 | 0,799 | 0,674 | 0,129 | 0,046 | 4E-04 | 0,006 | 0,045 |
| | | Dec | 0,016 | 0,204 | 0,35 | | 0,939 | 0,459 | 0,201 | 0,022 | 0,006 | 6E-05 | 6E-04 | 0,006 |
| | | Jan | 0,014 | 0,188 | 0,331 | 0,939 | | 0,442 | 0,188 | 0,02 | 0,006 | 4E-05 | 6E-04 | 0,006 |
| | | Fev | 0,066 | 0,527 | 0,799 | 0,459 | 0,442 | | 0,526 | 0,089 | 0,03 | 2E-04 | 0,003 | 0,029 |
| | | Mar | 0,187 | 0,983 | 0,674 | 0,201 | 0,188 | 0,526 | | 0,236 | 0,095 | 0,001 | 0,014 | 0,092 |
| | | Avr | 0,845 | 0,218 | 0,129 | 0,022 | 0,02 | 0,089 | 0,236 | | 0,547 | 0,017 | 0,139 | 0,538 |
| | | Mai | 0,66 | 0,094 | 0,046 | 0,006 | 0,006 | 0,03 | 0,095 | 0,547 | | 0,047 | 0,312 | 0,994 |
| | | Jun | 0,023 | 0,001 | 4E-04 | 6E-05 | 4E-05 | 2E-04 | 0,001 | 0,017 | 0,047 | | 0,256 | 0,053 |
| | | Juil | 0,18 | 0,013 | 0,006 | 6E-04 | 6E-04 | 0,003 | 0,014 | 0,139 | 0,312 | 0,256 | | 0,336 |
| | | Aout | 0,645 | 0,089 | 0,045 | 0,006 | 0,006 | 0,029 | 0,092 | 0,538 | 0,994 | 0,053 | 0,336 | |
| 10 | p-Cymène (C ₁₀ H ₁₄) 134,22 g/mol  | Sep | | 0,832 | 0,487 | 0,843 | 0,096 | 0,086 | 0,002 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,34 |
| | | Oct | 0,832 | | 0,59 | 0,978 | 0,073 | 0,069 | 0,002 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,283 |
| | | Nov | 0,487 | 0,59 | | 0,594 | 0,027 | 0,026 | 5E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 1E-05 | 6E-05 | 0,129 |
| | | Dec | 0,843 | 0,978 | 0,594 | | 0,072 | 0,067 | 0,002 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,279 |
| | | Jan | 0,096 | 0,073 | 0,027 | 0,072 | | 1 | 0,087 | 6E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 0,011 | 0,4 |
| | | Fev | 0,086 | 0,069 | 0,026 | 0,067 | 1 | | 0,103 | 4E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 0,013 | 0,372 |
| | | Mar | 0,002 | 0,002 | 5E-04 | 0,002 | 0,087 | 0,103 | | 6E-04 | 6E-05 | 3E-05 | 0,286 | 0,019 |
| | | Avr | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 6E-05 | 4E-05 | 6E-04 | | 0,028 | 0,023 | 0,006 | 3E-05 |
| | | Mai | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 6E-05 | 0,028 | | 0,842 | 9E-05 | 2E-05 |
| | | Jun | 2E-05 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 0,023 | 0,842 | | 7E-05 | 2E-05 |
| | | Juil | 2E-04 | 2E-04 | 6E-05 | 2E-04 | 0,011 | 0,013 | 0,286 | 0,006 | 9E-05 | 7E-05 | | 0,002 |
| | | Aout | 0,34 | 0,283 | 0,129 | 0,279 | 0,4 | 0,372 | 0,019 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 0,002 | |

Tableau 3 (suite)

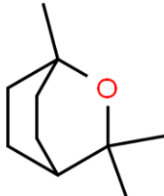
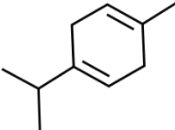
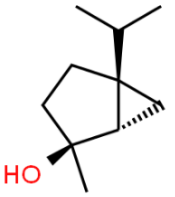
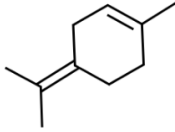
| | Composé | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|----|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 11 | 1,8-Cinéole (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | Sep | | 0,042 | 0,245 | 0,097 | 0,083 | 0,313 | 0,092 | 0,622 | 0,118 | 0,437 | 0,266 | 0,045 |
| | | Oct | 0,042 | | 0,003 | 9E-04 | 7E-04 | 0,005 | 8E-04 | 0,017 | 0,001 | 0,009 | 0,276 | 0,925 |
| | | Nov | 0,245 | 0,003 | | 0,555 | 0,504 | 0,841 | 0,539 | 0,456 | 0,623 | 0,647 | 0,037 | 0,004 |
| | | Dec | 0,097 | 9E-04 | 0,555 | | 0,908 | 0,453 | 0,961 | 0,207 | 0,892 | 0,323 | 0,011 | 0,001 |
| | | Jan | 0,083 | 7E-04 | 0,504 | 0,908 | | 0,405 | 0,941 | 0,18 | 0,814 | 0,285 | 0,01 | 9E-04 |
| | | Fev | 0,313 | 0,005 | 0,841 | 0,453 | 0,405 | | 0,436 | 0,559 | 0,516 | 0,774 | 0,051 | 0,006 |
| | | Mar | 0,092 | 8E-04 | 0,539 | 0,961 | 0,941 | 0,436 | | 0,197 | 0,862 | 0,309 | 0,011 | 1E-03 |
| | | Avr | 0,622 | 0,017 | 0,456 | 0,207 | 0,18 | 0,559 | 0,197 | | 0,245 | 0,737 | 0,134 | 0,018 |
| | | Mai | 0,118 | 0,001 | 0,623 | 0,892 | 0,814 | 0,516 | 0,862 | 0,245 | | 0,375 | 0,014 | 0,001 |
| | | Jun | 0,437 | 0,009 | 0,647 | 0,323 | 0,285 | 0,774 | 0,309 | 0,737 | 0,375 | | 0,081 | 0,01 |
| | | Juil | 0,266 | 0,276 | 0,037 | 0,011 | 0,01 | 0,051 | 0,011 | 0,134 | 0,014 | 0,081 | | 0,289 |
| | | Aout | 0,045 | 0,925 | 0,004 | 0,001 | 9E-04 | 0,006 | 1E-03 | 0,018 | 0,001 | 0,01 | 0,289 | |
| 14 | γ-Terpinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,462 | 0,384 | 0,933 | 0,864 | 0,112 | 0,142 | 3E-04 | 3E-04 | 6E-05 | 0,029 | 0,323 |
| | | Oct | 0,462 | | 0,86 | 0,486 | 0,387 | 0,029 | 0,039 | 7E-05 | 7E-05 | 3E-05 | 0,006 | 0,107 |
| | | Nov | 0,384 | 0,86 | | 0,412 | 0,316 | 0,021 | 0,029 | 5E-05 | 5E-05 | 2E-05 | 0,004 | 0,082 |
| | | Dec | 0,933 | 0,486 | 0,412 | | 0,81 | 0,102 | 0,131 | 3E-04 | 3E-04 | 5E-05 | 0,026 | 0,302 |
| | | Jan | 0,864 | 0,387 | 0,316 | 0,81 | | 0,141 | 0,174 | 5E-04 | 4E-04 | 8E-05 | 0,038 | 0,379 |
| | | Fev | 0,112 | 0,029 | 0,021 | 0,102 | 0,141 | | 0,86 | 0,016 | 0,014 | 0,003 | 0,454 | 0,48 |
| | | Mar | 0,142 | 0,039 | 0,029 | 0,131 | 0,174 | 0,86 | | 0,012 | 0,011 | 0,002 | 0,384 | 0,565 |
| | | Avr | 3E-04 | 7E-05 | 5E-05 | 3E-04 | 5E-04 | 0,016 | 0,012 | | 0,991 | 0,4 | 0,065 | 0,004 |
| | | Mai | 3E-04 | 7E-05 | 5E-05 | 3E-04 | 4E-04 | 0,014 | 0,011 | 0,991 | | 0,421 | 0,054 | 0,003 |
| | | Jun | 6E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 5E-05 | 8E-05 | 0,003 | 0,002 | 0,4 | 0,421 | | 0,013 | 5E-04 |
| | | Juil | 0,029 | 0,006 | 0,004 | 0,026 | 0,038 | 0,454 | 0,384 | 0,065 | 0,054 | 0,013 | | 0,176 |
| | | Aout | 0,323 | 0,107 | 0,082 | 0,302 | 0,379 | 0,48 | 0,565 | 0,004 | 0,003 | 5E-04 | 0,176 | |
| 15 | trans-Sabinène hydrate (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | Sep | | 0,753 | 0,297 | 0,004 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 0,667 | 1E-05 | 4E-05 | 3E-04 | 0,268 |
| | | Oct | 0,753 | | 0,431 | 0,007 | 4E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 0,885 | 2E-05 | 6E-05 | 6E-04 | 0,395 |
| | | Nov | 0,297 | 0,431 | | 0,033 | 1E-04 | 2E-05 | 8E-05 | 0,488 | 2E-05 | 3E-04 | 0,003 | 0,922 |
| | | Dec | 0,004 | 0,007 | 0,033 | | 0,024 | 0,001 | 0,013 | 0,008 | 3E-05 | 0,044 | 0,277 | 0,032 |
| | | Jan | 3E-05 | 4E-05 | 1E-04 | 0,024 | | 0,178 | 0,753 | 4E-05 | 9E-04 | 0,711 | 0,171 | 2E-04 |
| | | Fev | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 0,001 | 0,178 | | 0,262 | 2E-05 | 0,018 | 0,103 | 0,012 | 3E-05 |
| | | Mar | 2E-05 | 3E-05 | 8E-05 | 0,013 | 0,753 | 0,262 | | 3E-05 | 0,002 | 0,52 | 0,109 | 9E-05 |
| | | Avr | 0,667 | 0,885 | 0,488 | 0,008 | 4E-05 | 2E-05 | 3E-05 | | 2E-05 | 7E-05 | 7E-04 | 0,457 |
| | | Mai | 1E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 9E-04 | 0,018 | 0,002 | 2E-05 | | 5E-04 | 6E-05 | 2E-05 |
| | | Jun | 4E-05 | 6E-05 | 3E-04 | 0,044 | 0,711 | 0,103 | 0,52 | 7E-05 | 5E-04 | | 0,276 | 3E-04 |
| | | Juil | 3E-04 | 6E-04 | 0,003 | 0,277 | 0,171 | 0,012 | 0,109 | 7E-04 | 6E-05 | 0,276 | | 0,003 |
| | | Aout | 0,268 | 0,395 | 0,922 | 0,032 | 2E-04 | 3E-05 | 9E-05 | 0,457 | 2E-05 | 3E-04 | 0,003 | |
| 16 | Terpinolène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | Sep | | 0,022 | 0,202 | 0,236 | 0,621 | 0,081 | 0,793 | 0,002 | 3E-05 | 4E-05 | 0,475 | 0,601 |
| | | Oct | 0,022 | | 0,229 | 0,199 | 0,055 | 0,48 | 0,013 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 0,005 | 0,058 |
| | | Nov | 0,202 | 0,229 | | 0,894 | 0,389 | 0,561 | 0,139 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 0,061 | 0,405 |
| | | Dec | 0,236 | 0,199 | 0,894 | | 0,444 | 0,502 | 0,166 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 0,075 | 0,452 |
| | | Jan | 0,621 | 0,055 | 0,389 | 0,444 | | 0,177 | 0,477 | 6E-04 | 3E-05 | 3E-05 | 0,257 | 0,951 |
| | | Fev | 0,081 | 0,48 | 0,561 | 0,502 | 0,177 | | 0,052 | 4E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 0,021 | 0,185 |
| | | Mar | 0,793 | 0,013 | 0,139 | 0,166 | 0,477 | 0,052 | | 0,003 | 4E-05 | 7E-05 | 0,619 | 0,457 |
| | | Avr | 0,002 | 2E-05 | 1E-04 | 1E-04 | 6E-04 | 4E-05 | 0,003 | | 0,019 | 0,043 | 0,007 | 6E-04 |
| | | Mai | 3E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 4E-05 | 0,019 | | 0,629 | 7E-05 | 2E-05 |
| | | Jun | 4E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 7E-05 | 0,043 | 0,629 | | 1E-04 | 3E-05 |
| | | Juil | 0,475 | 0,005 | 0,061 | 0,075 | 0,257 | 0,021 | 0,619 | 0,007 | 7E-05 | 1E-04 | | 0,244 |
| | | Aout | 0,601 | 0,058 | 0,405 | 0,452 | 0,951 | 0,185 | 0,457 | 6E-04 | 2E-05 | 3E-05 | 0,244 | |

Tableau 3 (suite)

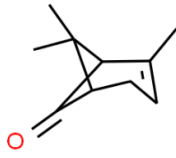
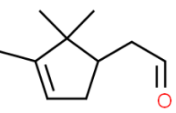
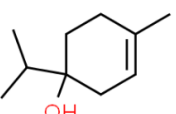
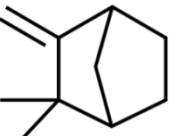
| Composé | | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|---------|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18 | Chrysanthénone (C ₁₀ H ₁₄ O) 150,22 g/mol  | Sep | | 0,386 | 0,129 | 0,002 | 5E-04 | 0,002 | 0,001 | 0,01 | 8E-05 | 0,001 | 0,567 | 0,943 |
| | | Oct | 0,386 | | 0,444 | 0,011 | 0,004 | 0,01 | 0,011 | 0,054 | 6E-04 | 0,008 | 0,725 | 0,367 |
| | | Nov | 0,129 | 0,444 | | 0,049 | 0,021 | 0,047 | 0,048 | 0,188 | 0,003 | 0,037 | 0,295 | 0,121 |
| | | Dec | 0,002 | 0,011 | 0,049 | | 0,633 | 0,966 | 0,956 | 0,41 | 0,216 | 0,835 | 0,005 | 0,001 |
| | | Jan | 5E-04 | 0,004 | 0,021 | 0,633 | | 0,613 | 0,658 | 0,221 | 0,384 | 0,761 | 0,002 | 5E-04 |
| | | Fev | 0,002 | 0,01 | 0,047 | 0,966 | 0,613 | | 0,927 | 0,406 | 0,209 | 0,811 | 0,005 | 0,001 |
| | | Mar | 0,001 | 0,011 | 0,048 | 0,956 | 0,658 | 0,927 | | 0,397 | 0,225 | 0,868 | 0,005 | 0,001 |
| | | Avr | 0,01 | 0,054 | 0,188 | 0,41 | 0,221 | 0,406 | 0,397 | | 0,053 | 0,329 | 0,03 | 0,009 |
| | | Mai | 8E-05 | 6E-04 | 0,003 | 0,216 | 0,384 | 0,209 | 0,225 | 0,053 | | 0,271 | 3E-04 | 7E-05 |
| | | Jun | 0,001 | 0,008 | 0,037 | 0,835 | 0,761 | 0,811 | 0,868 | 0,329 | 0,271 | | 0,004 | 1E-03 |
| | | Juil | 0,567 | 0,725 | 0,295 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,005 | 0,03 | 3E-04 | 0,004 | | 0,545 |
| Aout | 0,943 | 0,367 | 0,121 | 0,001 | 5E-04 | 0,001 | 0,001 | 0,009 | 7E-05 | 1E-03 | 0,545 | | | |
| 19 | Campholenal (C ₁₀ H ₁₆ O) 152,23 g/mol  | Sep | | 0,799 | 0,431 | 0,086 | 0,198 | 0,055 | 0,595 | 0,214 | 0,729 | 0,394 | 0,478 | 0,759 |
| | | Oct | 0,799 | | 0,564 | 0,127 | 0,278 | 0,084 | 0,756 | 0,297 | 0,571 | 0,289 | 0,358 | 0,597 |
| | | Nov | 0,431 | 0,564 | | 0,299 | 0,565 | 0,211 | 0,762 | 0,59 | 0,28 | 0,121 | 0,157 | 0,298 |
| | | Dec | 0,086 | 0,127 | 0,299 | | 0,592 | 0,79 | 0,2 | 0,567 | 0,047 | 0,016 | 0,022 | 0,051 |
| | | Jan | 0,198 | 0,278 | 0,565 | 0,592 | | 0,451 | 0,407 | 0,943 | 0,117 | 0,044 | 0,059 | 0,126 |
| | | Fev | 0,055 | 0,084 | 0,211 | 0,79 | 0,451 | | 0,137 | 0,427 | 0,029 | 0,009 | 0,013 | 0,032 |
| | | Mar | 0,595 | 0,756 | 0,762 | 0,2 | 0,407 | 0,137 | | 0,43 | 0,406 | 0,189 | 0,24 | 0,428 |
| | | Avr | 0,214 | 0,297 | 0,59 | 0,567 | 0,943 | 0,427 | 0,43 | | 0,128 | 0,049 | 0,065 | 0,137 |
| | | Mai | 0,729 | 0,571 | 0,28 | 0,047 | 0,117 | 0,029 | 0,406 | 0,128 | | 0,578 | 0,679 | 0,951 |
| | | Jun | 0,394 | 0,289 | 0,121 | 0,016 | 0,044 | 0,009 | 0,189 | 0,049 | 0,578 | | 0,858 | 0,553 |
| | | Juil | 0,478 | 0,358 | 0,157 | 0,022 | 0,059 | 0,013 | 0,24 | 0,065 | 0,679 | 0,858 | | 0,655 |
| Aout | 0,759 | 0,597 | 0,298 | 0,051 | 0,126 | 0,032 | 0,428 | 0,137 | 0,951 | 0,553 | 0,655 | | | |
| 22 | Terpinène-4-ol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | Sep | | 0,435 | 0,555 | 0,071 | 0,096 | 0,247 | 0,033 | 5E-05 | 0,003 | 0,009 | 0,826 | 0,77 |
| | | Oct | 0,435 | | 0,81 | 0,253 | 0,317 | 0,652 | 0,135 | 2E-04 | 0,016 | 0,044 | 0,341 | 0,312 |
| | | Nov | 0,555 | 0,81 | | 0,184 | 0,237 | 0,516 | 0,094 | 1E-04 | 0,01 | 0,029 | 0,447 | 0,414 |
| | | Dec | 0,071 | 0,253 | 0,184 | | 0,844 | 0,445 | 0,666 | 0,003 | 0,147 | 0,307 | 0,05 | 0,044 |
| | | Jan | 0,096 | 0,317 | 0,237 | 0,844 | | 0,537 | 0,555 | 0,002 | 0,112 | 0,244 | 0,068 | 0,061 |
| | | Fev | 0,247 | 0,652 | 0,516 | 0,445 | 0,537 | | 0,26 | 6E-04 | 0,038 | 0,095 | 0,185 | 0,167 |
| | | Mar | 0,033 | 0,135 | 0,094 | 0,666 | 0,555 | 0,26 | | 0,008 | 0,269 | 0,51 | 0,022 | 0,019 |
| | | Avr | 5E-05 | 2E-04 | 1E-04 | 0,003 | 0,002 | 6E-04 | 0,008 | | 0,067 | 0,028 | 4E-05 | 3E-05 |
| | | Mai | 0,003 | 0,016 | 0,01 | 0,147 | 0,112 | 0,038 | 0,269 | 0,067 | | 0,602 | 0,002 | 0,002 |
| | | Jun | 0,009 | 0,044 | 0,029 | 0,307 | 0,244 | 0,095 | 0,51 | 0,028 | 0,602 | | 0,006 | 0,005 |
| | | Juil | 0,826 | 0,341 | 0,447 | 0,05 | 0,068 | 0,185 | 0,022 | 4E-05 | 0,002 | 0,006 | | 0,928 |
| Aout | 0,77 | 0,312 | 0,414 | 0,044 | 0,061 | 0,167 | 0,019 | 3E-05 | 0,002 | 0,005 | 0,928 | | | |
| 23 | p-Cymen-8-ol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | Sep | | 0,481 | 0,871 | 0,193 | 0,911 | 0,33 | 0,098 | 2E-04 | 8E-05 | 1E-04 | 3E-04 | 0,044 |
| | | Oct | 0,481 | | 0,408 | 0,061 | 0,524 | 0,745 | 0,288 | 9E-04 | 4E-04 | 7E-04 | 0,001 | 0,149 |
| | | Nov | 0,871 | 0,408 | | 0,223 | 0,797 | 0,273 | 0,078 | 1E-04 | 6E-05 | 1E-04 | 2E-04 | 0,034 |
| | | Dec | 0,193 | 0,061 | 0,223 | | 0,174 | 0,035 | 0,007 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 0,002 |
| | | Jan | 0,911 | 0,524 | 0,797 | 0,174 | | 0,367 | 0,111 | 2E-04 | 9E-05 | 2E-04 | 3E-04 | 0,051 |
| | | Fev | 0,33 | 0,745 | 0,273 | 0,035 | 0,367 | | 0,419 | 0,002 | 7E-04 | 0,001 | 0,002 | 0,232 |
| | | Mar | 0,098 | 0,288 | 0,078 | 0,007 | 0,111 | 0,419 | | 0,01 | 0,005 | 0,008 | 0,013 | 0,64 |
| | | Avr | 2E-04 | 9E-04 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-04 | 0,002 | 0,01 | | 0,675 | 0,876 | 0,831 | 0,024 |
| | | Mai | 8E-05 | 4E-04 | 6E-05 | 1E-05 | 9E-05 | 7E-04 | 0,005 | 0,675 | | 0,772 | 0,55 | 0,012 |
| | | Jun | 1E-04 | 7E-04 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-04 | 0,001 | 0,008 | 0,876 | 0,772 | | 0,729 | 0,02 |
| | | Juil | 3E-04 | 0,001 | 2E-04 | 3E-05 | 3E-04 | 0,002 | 0,013 | 0,831 | 0,55 | 0,729 | | 0,03 |
| Aout | 0,044 | 0,149 | 0,034 | 0,002 | 0,051 | 0,232 | 0,64 | 0,024 | 0,012 | 0,02 | 0,03 | | | |

Tableau 3 (suite.)

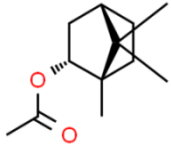
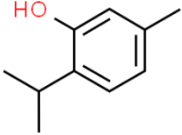
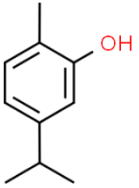
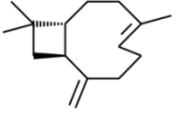
| | Composé | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|------|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 27 | Bornyl acetate (C ₁₂ H ₂₀ O ₂) 196,29 g/mol  | Sep | | 0,449 | 0,054 | 0,017 | 0,004 | 0,004 | 3E-05 | 2E-05 | 0,001 | 0,221 | 0,44 | 0,492 |
| | | Oct | 0,449 | | 0,013 | 0,003 | 7E-04 | 7E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,068 | 0,965 | 0,907 |
| | | Nov | 0,054 | 0,013 | | 0,54 | 0,212 | 0,216 | 8E-04 | 5E-04 | 0,086 | 0,392 | 0,013 | 0,015 |
| | | Dec | 0,017 | 0,003 | 0,54 | | 0,471 | 0,477 | 0,003 | 0,002 | 0,223 | 0,17 | 0,003 | 0,004 |
| | | Jan | 0,004 | 7E-04 | 0,212 | 0,471 | | 0,956 | 0,013 | 0,009 | 0,561 | 0,051 | 6E-04 | 8E-04 |
| | | Fev | 0,004 | 7E-04 | 0,216 | 0,477 | 0,956 | | 0,014 | 0,009 | 0,549 | 0,052 | 7E-04 | 8E-04 |
| | | Mar | 3E-05 | 2E-05 | 8E-04 | 0,003 | 0,013 | 0,014 | | 0,806 | 0,037 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Avr | 2E-05 | 2E-05 | 5E-04 | 0,002 | 0,009 | 0,009 | 0,806 | | 0,027 | 8E-05 | 1E-05 | 2E-05 |
| | | Mai | 0,001 | 2E-04 | 0,086 | 0,223 | 0,561 | 0,549 | 0,037 | 0,027 | | 0,017 | 2E-04 | 2E-04 |
| | | Jun | 0,221 | 0,068 | 0,392 | 0,17 | 0,051 | 0,052 | 1E-04 | 8E-05 | 0,017 | | 0,068 | 0,076 |
| | | Juil | 0,44 | 0,965 | 0,013 | 0,003 | 6E-04 | 7E-04 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-04 | 0,068 | | 0,879 |
| Aout | 0,492 | 0,907 | 0,015 | 0,004 | 8E-04 | 8E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,076 | 0,879 | | | |
| 28 | Thymol (C ₁₀ H ₁₄ O) 150,22 g/mol  | Sep | | 0,975 | 0,411 | 0,192 | 0,632 | 0,975 | 0,892 | 0,138 | 0,005 | 0,167 | 0,13 | 0,811 |
| | | Oct | 0,975 | | 0,404 | 0,189 | 0,623 | 0,954 | 0,91 | 0,139 | 0,005 | 0,167 | 0,133 | 0,827 |
| | | Nov | 0,411 | 0,404 | | 0,568 | 0,691 | 0,412 | 0,357 | 0,03 | 7E-04 | 0,038 | 0,028 | 0,311 |
| | | Dec | 0,192 | 0,189 | 0,568 | | 0,364 | 0,192 | 0,163 | 0,01 | 2E-04 | 0,013 | 0,009 | 0,139 |
| | | Jan | 0,632 | 0,623 | 0,691 | 0,364 | | 0,633 | 0,56 | 0,061 | 0,002 | 0,077 | 0,057 | 0,497 |
| | | Fev | 0,975 | 0,954 | 0,412 | 0,192 | 0,633 | | 0,874 | 0,135 | 0,005 | 0,165 | 0,127 | 0,794 |
| | | Mar | 0,892 | 0,91 | 0,357 | 0,163 | 0,56 | 0,874 | | 0,158 | 0,006 | 0,185 | 0,153 | 0,905 |
| | | Avr | 0,138 | 0,139 | 0,03 | 0,01 | 0,061 | 0,135 | 0,158 | | 0,106 | 0,884 | 0,957 | 0,177 |
| | | Mai | 0,005 | 0,005 | 7E-04 | 2E-04 | 0,002 | 0,005 | 0,006 | 0,106 | | 0,09 | 0,099 | 0,007 |
| | | Jun | 0,167 | 0,167 | 0,038 | 0,013 | 0,077 | 0,165 | 0,185 | 0,884 | 0,09 | | 0,851 | 0,199 |
| | | Juil | 0,13 | 0,133 | 0,028 | 0,009 | 0,057 | 0,127 | 0,153 | 0,957 | 0,099 | 0,851 | | 0,176 |
| Aout | 0,811 | 0,827 | 0,311 | 0,139 | 0,497 | 0,794 | 0,905 | 0,177 | 0,007 | 0,199 | 0,176 | | | |
| 29 | Carvacrol (C ₁₀ H ₁₈ O) 150,22 g/mol  | Sep | | 0,583 | 0,274 | 0,108 | 0,85 | 0,786 | 0,15 | 0,029 | 0,005 | 0,04 | 0,005 | 0,213 |
| | | Oct | 0,583 | | 0,123 | 0,042 | 0,692 | 0,437 | 0,324 | 0,079 | 0,017 | 0,103 | 0,017 | 0,428 |
| | | Nov | 0,274 | 0,123 | | 0,534 | 0,22 | 0,372 | 0,019 | 0,003 | 4E-04 | 0,004 | 4E-04 | 0,03 |
| | | Dec | 0,108 | 0,042 | 0,534 | | 0,083 | 0,157 | 0,005 | 6E-04 | 1E-04 | 9E-04 | 9E-05 | 0,008 |
| | | Jan | 0,85 | 0,692 | 0,22 | 0,083 | | 0,665 | 0,192 | 0,04 | 0,008 | 0,054 | 0,008 | 0,265 |
| | | Fev | 0,786 | 0,437 | 0,372 | 0,157 | 0,665 | | 0,099 | 0,018 | 0,003 | 0,025 | 0,003 | 0,146 |
| | | Mar | 0,15 | 0,324 | 0,019 | 0,005 | 0,192 | 0,099 | | 0,37 | 0,115 | 0,446 | 0,113 | 0,798 |
| | | Avr | 0,029 | 0,079 | 0,003 | 6E-04 | 0,04 | 0,018 | 0,37 | | 0,424 | 0,848 | 0,426 | 0,273 |
| | | Mai | 0,005 | 0,017 | 4E-04 | 1E-04 | 0,008 | 0,003 | 0,115 | 0,424 | | 0,351 | 0,964 | 0,078 |
| | | Jun | 0,04 | 0,103 | 0,004 | 9E-04 | 0,054 | 0,025 | 0,446 | 0,848 | 0,351 | | 0,346 | 0,339 |
| | | Juil | 0,005 | 0,017 | 4E-04 | 9E-05 | 0,008 | 0,003 | 0,113 | 0,426 | 0,964 | 0,346 | | 0,076 |
| Aout | 0,213 | 0,428 | 0,03 | 0,008 | 0,265 | 0,146 | 0,798 | 0,273 | 0,078 | 0,339 | 0,076 | | | |
| 31 | β-Caryophyllène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | Sep | | 0,622 | 0,008 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 7E-05 | 2E-04 | 4E-04 | 0,03 | 0,004 | 0,303 |
| | | Oct | 0,622 | | 0,003 | 5E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 6E-05 | 1E-04 | 0,012 | 0,001 | 0,154 |
| | | Nov | 0,008 | 0,003 | | 0,08 | 0,002 | 0,006 | 0,05 | 0,103 | 0,196 | 0,51 | 0,698 | 0,064 |
| | | Dec | 1E-04 | 5E-05 | 0,08 | | 0,101 | 0,207 | 0,779 | 0,855 | 0,562 | 0,024 | 0,146 | 0,001 |
| | | Jan | 2E-05 | 1E-05 | 0,002 | 0,101 | | 0,634 | 0,15 | 0,078 | 0,037 | 4E-04 | 0,005 | 3E-05 |
| | | Fev | 2E-05 | 2E-05 | 0,006 | 0,207 | 0,634 | | 0,287 | 0,166 | 0,084 | 0,001 | 0,012 | 6E-05 |
| | | Mar | 7E-05 | 3E-05 | 0,05 | 0,779 | 0,15 | 0,287 | | 0,663 | 0,416 | 0,014 | 0,097 | 7E-04 |
| | | Avr | 2E-04 | 6E-05 | 0,103 | 0,855 | 0,078 | 0,166 | 0,663 | | 0,665 | 0,032 | 0,182 | 0,002 |
| | | Mai | 4E-04 | 1E-04 | 0,196 | 0,562 | 0,037 | 0,084 | 0,416 | 0,665 | | 0,068 | 0,321 | 0,004 |
| | | Jun | 0,03 | 0,012 | 0,51 | 0,024 | 4E-04 | 0,001 | 0,014 | 0,032 | 0,068 | | 0,326 | 0,183 |
| | | Juil | 0,004 | 0,001 | 0,698 | 0,146 | 0,005 | 0,012 | 0,097 | 0,182 | 0,321 | 0,326 | | 0,034 |
| Aout | 0,303 | 0,154 | 0,064 | 0,001 | 3E-05 | 6E-05 | 7E-04 | 0,002 | 0,004 | 0,183 | 0,034 | | | |

Tableau 3 (suite)

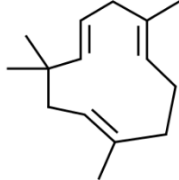
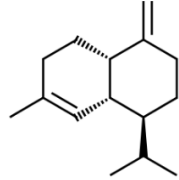
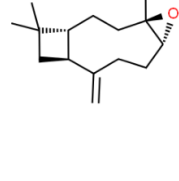
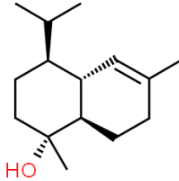
| | Composé | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|------|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 32 | α-Humulène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | Sep | | 0,041 | 0,434 | 0,229 | 0,05 | 0,131 | 0,005 | 0,164 | 0,206 | 0,502 | 0,238 | 0,549 |
| | | Oct | 0,041 | | 0,009 | 0,003 | 4E-04 | 0,001 | 4E-05 | 0,002 | 0,003 | 0,011 | 0,003 | 0,111 |
| | | Nov | 0,434 | 0,009 | | 0,618 | 0,192 | 0,408 | 0,026 | 0,484 | 0,574 | 0,871 | 0,638 | 0,196 |
| | | Dec | 0,229 | 0,003 | 0,618 | | 0,374 | 0,692 | 0,065 | 0,794 | 0,912 | 0,534 | 1 | 0,09 |
| | | Jan | 0,05 | 4E-04 | 0,192 | 0,374 | | 0,569 | 0,254 | 0,494 | 0,416 | 0,153 | 0,368 | 0,016 |
| | | Fev | 0,131 | 0,001 | 0,408 | 0,692 | 0,569 | | 0,111 | 0,875 | 0,759 | 0,338 | 0,686 | 0,048 |
| | | Mar | 0,005 | 4E-05 | 0,026 | 0,065 | 0,254 | 0,111 | | 0,092 | 0,073 | 0,02 | 0,062 | 0,001 |
| | | Avr | 0,164 | 0,002 | 0,484 | 0,794 | 0,494 | 0,875 | 0,092 | | 0,865 | 0,405 | 0,787 | 0,062 |
| | | Mai | 0,206 | 0,003 | 0,574 | 0,912 | 0,416 | 0,759 | 0,073 | 0,865 | | 0,488 | 0,906 | 0,08 |
| | | Jun | 0,502 | 0,011 | 0,871 | 0,534 | 0,153 | 0,338 | 0,02 | 0,405 | 0,488 | | 0,547 | 0,235 |
| | | Juil | 0,238 | 0,003 | 0,638 | 1 | 0,368 | 0,686 | 0,062 | 0,787 | 0,906 | 0,547 | | 0,095 |
| Aout | 0,549 | 0,111 | 0,196 | 0,09 | 0,016 | 0,048 | 0,001 | 0,062 | 0,08 | 0,235 | 0,095 | | | |
| 33 | γ- Muurolène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | Sep | | 0,68 | 0,026 | 0,009 | 2E-04 | 7E-05 | 0,01 | 0,047 | 0,046 | 0,007 | 0,039 | 0,071 |
| | | Oct | 0,68 | | 0,012 | 0,004 | 1E-04 | 3E-05 | 0,004 | 0,023 | 0,022 | 0,003 | 0,018 | 0,037 |
| | | Nov | 0,026 | 0,012 | | 0,6 | 0,057 | 0,02 | 0,637 | 0,685 | 0,726 | 0,527 | 0,805 | 0,505 |
| | | Dec | 0,009 | 0,004 | 0,6 | | 0,132 | 0,052 | 0,931 | 0,379 | 0,408 | 0,89 | 0,465 | 0,259 |
| | | Jan | 2E-04 | 1E-04 | 0,057 | 0,132 | | 0,573 | 0,124 | 0,028 | 0,031 | 0,145 | 0,038 | 0,016 |
| | | Fev | 7E-05 | 3E-05 | 0,02 | 0,052 | 0,573 | | 0,048 | 0,009 | 0,01 | 0,06 | 0,013 | 0,005 |
| | | Mar | 0,01 | 0,004 | 0,637 | 0,931 | 0,124 | 0,048 | | 0,414 | 0,443 | 0,833 | 0,5 | 0,286 |
| | | Avr | 0,047 | 0,023 | 0,685 | 0,379 | 0,028 | 0,009 | 0,414 | | 0,941 | 0,322 | 0,851 | 0,761 |
| | | Mai | 0,046 | 0,022 | 0,726 | 0,408 | 0,031 | 0,01 | 0,443 | 0,941 | | 0,349 | 0,899 | 0,723 |
| | | Jun | 0,007 | 0,003 | 0,527 | 0,89 | 0,145 | 0,06 | 0,833 | 0,322 | 0,349 | | 0,402 | 0,216 |
| | | Juil | 0,039 | 0,018 | 0,805 | 0,465 | 0,038 | 0,013 | 0,5 | 0,851 | 0,899 | 0,402 | | 0,647 |
| Aout | 0,071 | 0,037 | 0,505 | 0,259 | 0,016 | 0,005 | 0,286 | 0,761 | 0,723 | 0,216 | 0,647 | | | |
| 34 | Caryophyllène oxyde (C ₁₅ H ₂₄ O) 220,35 g/mol  | Sep | | 0,712 | 8E-04 | 3E-05 | 3E-05 | 7E-05 | 0,004 | 0,005 | 0,008 | 0,166 | 0,06 | 0,128 |
| | | Oct | 0,712 | | 4E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 4E-05 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,1 | 0,108 | 0,209 |
| | | Nov | 8E-04 | 4E-04 | | 0,111 | 0,119 | 0,246 | 0,467 | 0,419 | 0,302 | 0,019 | 2E-05 | 3E-05 |
| | | Dec | 3E-05 | 2E-05 | 0,111 | | 0,987 | 0,583 | 0,03 | 0,026 | 0,015 | 4E-04 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Jan | 3E-05 | 2E-05 | 0,119 | 0,987 | | 0,595 | 0,033 | 0,027 | 0,016 | 4E-04 | 1E-05 | 2E-05 |
| | | Fev | 7E-05 | 4E-05 | 0,246 | 0,583 | 0,595 | | 0,08 | 0,07 | 0,044 | 0,001 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Mar | 0,004 | 0,002 | 0,467 | 0,03 | 0,033 | 0,08 | | 0,895 | 0,699 | 0,074 | 5E-05 | 1E-04 |
| | | Avr | 0,005 | 0,002 | 0,419 | 0,026 | 0,027 | 0,07 | 0,895 | | 0,78 | 0,084 | 6E-05 | 1E-04 |
| | | Mai | 0,008 | 0,004 | 0,302 | 0,015 | 0,016 | 0,044 | 0,699 | 0,78 | | 0,12 | 9E-05 | 2E-04 |
| | | Jun | 0,166 | 0,1 | 0,019 | 4E-04 | 4E-04 | 0,001 | 0,074 | 0,084 | 0,12 | | 0,003 | 0,008 |
| | | Juil | 0,06 | 0,108 | 2E-05 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 5E-05 | 6E-05 | 9E-05 | 0,003 | | 0,641 |
| Aout | 0,128 | 0,209 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 1E-04 | 1E-04 | 2E-04 | 0,008 | 0,641 | | | |
| 35 | α-Cadinol (C ₁₅ H ₂₆ O) 222,37 g/mol  | Sep | | 0,124 | 0,001 | 0,003 | 0,021 | 0,462 | 0,045 | 0,003 | 0,014 | 0,119 | 7E-05 | 0,003 |
| | | Oct | 0,124 | | 5E-05 | 1E-04 | 6E-04 | 0,035 | 0,52 | 0,073 | 0,247 | 0,913 | 0,002 | 0,071 |
| | | Nov | 0,001 | 5E-05 | | 0,597 | 0,197 | 0,006 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 4E-05 | 1E-05 | 2E-05 |
| | | Dec | 0,003 | 1E-04 | 0,597 | | 0,395 | 0,016 | 4E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 9E-05 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Jan | 0,021 | 6E-04 | 0,197 | 0,395 | | 0,078 | 2E-04 | 3E-05 | 6E-05 | 6E-04 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Fev | 0,462 | 0,035 | 0,006 | 0,016 | 0,078 | | 0,011 | 5E-04 | 0,003 | 0,032 | 3E-05 | 5E-04 |
| | | Mar | 0,045 | 0,52 | 3E-05 | 4E-05 | 2E-04 | 0,011 | | 0,204 | 0,551 | 0,565 | 0,009 | 0,201 |
| | | Avr | 0,003 | 0,073 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 5E-04 | 0,204 | | 0,445 | 0,083 | 0,111 | 0,958 |
| | | Mai | 0,014 | 0,247 | 2E-05 | 3E-05 | 6E-05 | 0,003 | 0,551 | 0,445 | | 0,273 | 0,028 | 0,442 |
| | | Jun | 0,119 | 0,913 | 4E-05 | 9E-05 | 6E-04 | 0,032 | 0,565 | 0,083 | 0,273 | | 0,003 | 0,081 |
| | | Juil | 7E-05 | 0,002 | 1E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 0,009 | 0,111 | 0,028 | 0,003 | | 0,104 |
| Aout | 0,003 | 0,071 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 5E-04 | 0,201 | 0,958 | 0,442 | 0,081 | 0,104 | | | |

Tableau 3 (suite)

| | Composé | Période | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jui | Aout |
|----|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 38 | Sesquiterpènes hydrocarbonés (C₁₅H₂₄) | Sep | | 0,397 | 0,008 | 1E-04 | 2E-05 | 2E-05 | 4E-05 | 2E-04 | 4E-04 | 0,022 | 0,003 | 0,35 |
| | | Oct | 0,397 | | 0,001 | 3E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 4E-05 | 8E-05 | 0,004 | 5E-04 | 0,098 |
| | | Nov | 0,008 | 0,001 | | 0,094 | 0,002 | 0,005 | 0,021 | 0,121 | 0,218 | 0,602 | 0,653 | 0,053 |
| | | Dec | 1E-04 | 3E-05 | 0,094 | | 0,077 | 0,167 | 0,415 | 0,854 | 0,58 | 0,038 | 0,188 | 0,001 |
| | | Jan | 2E-05 | 1E-05 | 0,002 | 0,077 | | 0,624 | 0,279 | 0,06 | 0,029 | 5E-04 | 0,005 | 3E-05 |
| | | Fev | 2E-05 | 2E-05 | 0,005 | 0,167 | 0,624 | | 0,505 | 0,133 | 0,07 | 0,002 | 0,013 | 5E-05 |
| | | Mar | 4E-05 | 2E-05 | 0,021 | 0,415 | 0,279 | 0,505 | | 0,347 | 0,204 | 0,007 | 0,047 | 2E-04 |
| | | Avr | 2E-04 | 4E-05 | 0,121 | 0,854 | 0,06 | 0,133 | 0,347 | | 0,686 | 0,05 | 0,233 | 0,002 |
| | | Mai | 4E-04 | 8E-05 | 0,218 | 0,58 | 0,029 | 0,07 | 0,204 | 0,686 | | 0,099 | 0,386 | 0,004 |
| | | Jun | 0,022 | 0,004 | 0,602 | 0,038 | 5E-04 | 0,002 | 0,007 | 0,05 | 0,099 | | 0,363 | 0,12 |
| | | Juil | 0,003 | 5E-04 | 0,653 | 0,188 | 0,005 | 0,013 | 0,047 | 0,233 | 0,386 | 0,363 | | 0,024 |
| | | Aout | 0,35 | 0,098 | 0,053 | 0,001 | 3E-05 | 5E-05 | 2E-04 | 0,002 | 0,004 | 0,12 | 0,024 | |
| 39 | Sesquiterpènes oxygénés | Sep | | 0,4 | 7E-04 | 9E-05 | 2E-04 | 0,001 | 0,15 | 0,289 | 0,274 | 0,727 | 0,004 | 0,026 |
| | | Oct | 0,4 | | 1E-04 | 3E-05 | 4E-05 | 2E-04 | 0,034 | 0,078 | 0,072 | 0,264 | 0,024 | 0,115 |
| | | Nov | 7E-04 | 1E-04 | | 0,358 | 0,488 | 0,768 | 0,02 | 0,008 | 0,009 | 0,002 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Dec | 9E-05 | 3E-05 | 0,358 | | 0,776 | 0,249 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 2E-04 | 1E-05 | 2E-05 |
| | | Jan | 2E-04 | 4E-05 | 0,488 | 0,776 | | 0,353 | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 3E-04 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Fev | 0,001 | 2E-04 | 0,768 | 0,249 | 0,353 | | 0,03 | 0,014 | 0,016 | 0,003 | 2E-05 | 2E-05 |
| | | Mar | 0,15 | 0,034 | 0,02 | 0,003 | 0,005 | 0,03 | | 0,643 | 0,661 | 0,245 | 1E-04 | 1E-03 |
| | | Avr | 0,289 | 0,078 | 0,008 | 0,001 | 0,002 | 0,014 | 0,643 | | 0,999 | 0,44 | 4E-04 | 0,003 |
| | | Mai | 0,274 | 0,072 | 0,009 | 0,001 | 0,002 | 0,016 | 0,661 | 0,999 | | 0,414 | 3E-04 | 0,002 |
| | | Jun | 0,727 | 0,264 | 0,002 | 2E-04 | 3E-04 | 0,003 | 0,245 | 0,44 | 0,414 | | 0,002 | 0,014 |
| | | Juil | 0,004 | 0,024 | 2E-05 | 1E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 1E-04 | 4E-04 | 3E-04 | 0,002 | | 0,384 |
| | | Aout | 0,026 | 0,115 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 1E-03 | 0,003 | 0,002 | 0,014 | 0,384 | |

Tableau 4. Test de Duncan de la composition chimique en fonction de la provenance

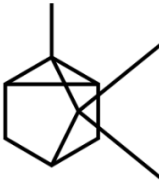
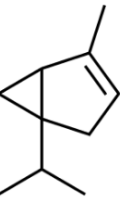
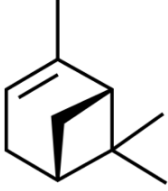
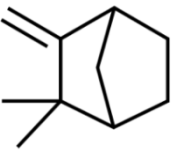
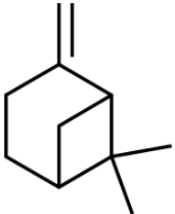
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|-----|--|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Tricyclène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,089 | 5E-04 | 0,996 | 0,346 | 0,425 | 0,317 | 0,169 | 0,431 | 0,749 |
| | | Gu | 0,089 | | 0,019 | 0,086 | 0,378 | 0,02 | 0,013 | 0,678 | 0,021 | 0,142 |
| | | Ea | 5E-04 | 0,019 | | 5E-04 | 0,004 | 1E-04 | 7E-05 | 0,01 | 1E-04 | 9E-04 |
| | | Da | 0,996 | 0,086 | 5E-04 | | 0,334 | 0,436 | 0,324 | 0,162 | 0,454 | 0,739 |
| | | Az | 0,346 | 0,378 | 0,004 | 0,334 | | 0,104 | 0,07 | 0,601 | 0,109 | 0,486 |
| | | Ta1 | 0,425 | 0,02 | 1E-04 | 0,436 | 0,104 | | 0,8 | 0,043 | 0,954 | 0,291 |
| | | Ef | 0,317 | 0,013 | 7E-05 | 0,324 | 0,07 | 0,8 | | 0,028 | 0,769 | 0,209 |
| | | Sl | 0,169 | 0,678 | 0,01 | 0,162 | 0,601 | 0,043 | 0,028 | | 0,045 | 0,254 |
| | | Je | 0,431 | 0,021 | 1E-04 | 0,454 | 0,109 | 0,954 | 0,769 | 0,045 | | 0,305 |
| | | Ta2 | 0,749 | 0,142 | 9E-04 | 0,739 | 0,486 | 0,291 | 0,209 | 0,254 | 0,305 | |
| | | 2 | α-Thujène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,159 | 0,03 | 0,003 | 0,25 | 3E-05 | 3E-05 | 0,934 |
| Gu | 0,159 | | | | 0,002 | 1E-04 | 0,739 | 2E-05 | 2E-05 | 0,169 | 2E-04 | 8E-05 |
| Ea | 0,03 | | | 0,002 | | 0,246 | 0,003 | 3E-05 | 1E-04 | 0,031 | 0,255 | 0,152 |
| Da | 0,003 | | | 1E-04 | 0,246 | | 3E-04 | 6E-05 | 0,001 | 0,003 | 0,93 | 0,723 |
| Az | 0,25 | | | 0,739 | 0,003 | 3E-04 | | 2E-05 | 2E-05 | 0,256 | 3E-04 | 1E-04 |
| Ta1 | 3E-05 | | | 2E-05 | 3E-05 | 6E-05 | 2E-05 | | 2E-04 | 2E-05 | 3E-05 | 7E-05 |
| Ef | 3E-05 | | | 2E-05 | 1E-04 | 0,001 | 2E-05 | 2E-04 | | 3E-05 | 0,001 | 0,002 |
| Sl | 0,934 | | | 0,169 | 0,031 | 0,003 | 0,256 | 2E-05 | 3E-05 | | 0,003 | 0,001 |
| Je | 0,003 | | | 2E-04 | 0,255 | 0,93 | 3E-04 | 3E-05 | 0,001 | 0,003 | | 0,677 |
| Ta2 | 0,002 | | | 8E-05 | 0,152 | 0,723 | 1E-04 | 7E-05 | 0,002 | 0,001 | 0,677 | |
| 3 | α-Pinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | | | De | | 0,035 | 0,091 | 0,932 | 0,479 | 0,706 | 0,048 | 0,128 |
| | | Gu | 0,035 | | 0,577 | 0,038 | 0,119 | 0,017 | 3E-04 | 0,455 | 0,017 | 0,017 |
| | | Ea | 0,091 | 0,577 | | 0,099 | 0,269 | 0,049 | 0,001 | 0,814 | 0,047 | 0,048 |
| | | Da | 0,932 | 0,038 | 0,099 | | 0,506 | 0,663 | 0,044 | 0,135 | 0,635 | 0,649 |
| | | Az | 0,479 | 0,119 | 0,269 | 0,506 | | 0,306 | 0,012 | 0,347 | 0,294 | 0,3 |
| | | Ta1 | 0,706 | 0,017 | 0,049 | 0,663 | 0,306 | | 0,089 | 0,071 | 0,95 | 0,97 |
| | | Ef | 0,048 | 3E-04 | 0,001 | 0,044 | 0,012 | 0,089 | | 0,002 | 0,076 | 0,086 |
| | | Sl | 0,128 | 0,455 | 0,814 | 0,135 | 0,347 | 0,071 | 0,002 | | 0,069 | 0,07 |
| | | Je | 0,685 | 0,017 | 0,047 | 0,635 | 0,294 | 0,95 | 0,076 | 0,069 | | 0,976 |
| | | Ta2 | 0,696 | 0,017 | 0,048 | 0,649 | 0,3 | 0,97 | 0,086 | 0,07 | 0,976 | |
| | | 4 | Camphène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,046 | 1E-04 | 0,38 | 0,24 | 0,537 | 0,792 | 0,052 |
| Gu | 0,046 | | | | 0,009 | 0,206 | 0,331 | 0,014 | 0,03 | 0,924 | 0,026 | 0,107 |
| Ea | 1E-04 | | | 0,009 | | 7E-04 | 0,001 | 4E-05 | 8E-05 | 0,009 | 7E-05 | 3E-04 |
| Da | 0,38 | | | 0,206 | 7E-04 | | 0,715 | 0,161 | 0,278 | 0,223 | 0,252 | 0,662 |
| Az | 0,24 | | | 0,331 | 0,001 | 0,715 | | 0,092 | 0,168 | 0,35 | 0,15 | 0,451 |
| Ta1 | 0,537 | | | 0,014 | 4E-05 | 0,161 | 0,092 | | 0,696 | 0,017 | 0,748 | 0,296 |
| Ef | 0,792 | | | 0,03 | 8E-05 | 0,278 | 0,168 | 0,696 | | 0,034 | 0,925 | 0,474 |
| Sl | 0,052 | | | 0,924 | 0,009 | 0,223 | 0,35 | 0,017 | 0,034 | | 0,03 | 0,119 |
| Je | 0,736 | | | 0,026 | 7E-05 | 0,252 | 0,15 | 0,748 | 0,925 | 0,03 | | 0,436 |
| Ta2 | 0,618 | | | 0,107 | 3E-04 | 0,662 | 0,451 | 0,296 | 0,474 | 0,119 | 0,436 | |
| 5 | β-Pinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | | | De | | 0,158 | 0,03 | 0,014 | 0,001 | 0,015 | 4E-05 | 0,341 |
| | | Gu | 0,158 | | 0,001 | 6E-04 | 0,023 | 7E-04 | 2E-05 | 0,574 | 1E-04 | 0,025 |
| | | Ea | 0,03 | 0,001 | | 0,668 | 3E-05 | 0,662 | 0,002 | 0,004 | 0,219 | 0,183 |
| | | Da | 0,014 | 6E-04 | 0,668 | | 3E-05 | 0,973 | 0,005 | 0,002 | 0,382 | 0,1 |
| | | Az | 0,001 | 0,023 | 3E-05 | 3E-05 | | 3E-05 | 2E-05 | 0,009 | 2E-05 | 2E-04 |
| | | Ta1 | 0,015 | 7E-04 | 0,662 | 0,973 | 3E-05 | | 0,005 | 0,002 | 0,372 | 0,104 |
| | | Ef | 4E-05 | 2E-05 | 0,002 | 0,005 | 2E-05 | 0,005 | | 2E-05 | 0,027 | 1E-04 |
| | | Sl | 0,341 | 0,574 | 0,004 | 0,002 | 0,009 | 0,002 | 2E-05 | | 3E-04 | 0,067 |
| | | Je | 0,002 | 1E-04 | 0,219 | 0,382 | 2E-05 | 0,372 | 0,027 | 3E-04 | | 0,02 |
| | | Ta2 | 0,301 | 0,025 | 0,183 | 0,1 | 2E-04 | 0,104 | 1E-04 | 0,067 | 0,02 | |

Tableau 4 (suite)

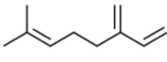
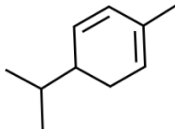
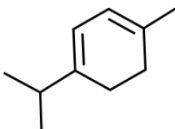
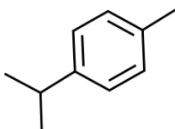
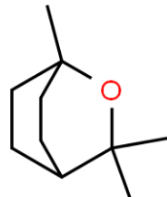
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|-----|---|------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | Myrcène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,072 | 0,073 | 0,375 | 0,074 | 0,05 | 1E-04 | 0,749 | 0,507 | 0,192 |
| | | Gu | 0,072 | | 0,001 | 0,014 | 0,915 | 1E-03 | 2E-05 | 0,044 | 0,023 | 0,005 |
| | | Ea | 0,073 | 0,001 | | 0,298 | 0,002 | 0,816 | 0,005 | 0,121 | 0,212 | 0,541 |
| | | Da | 0,375 | 0,014 | 0,298 | | 0,016 | 0,224 | 5E-04 | 0,536 | 0,786 | 0,617 |
| | | Az | 0,074 | 0,915 | 0,002 | 0,016 | | 0,001 | 2E-05 | 0,048 | 0,025 | 0,006 |
| | | Ta1 | 0,05 | 1E-03 | 0,816 | 0,224 | 0,001 | | 0,006 | 0,085 | 0,155 | 0,427 |
| | | Ef | 1E-04 | 2E-05 | 0,005 | 5E-04 | 2E-05 | 0,006 | | 2E-04 | 3E-04 | 0,001 |
| | | Sl | 0,749 | 0,044 | 0,121 | 0,536 | 0,048 | 0,085 | 2E-04 | | 0,699 | 0,294 |
| | | Je | 0,507 | 0,023 | 0,212 | 0,786 | 0,025 | 0,155 | 3E-04 | 0,699 | | 0,468 |
| | | Ta2 | 0,192 | 0,005 | 0,541 | 0,617 | 0,006 | 0,427 | 0,001 | 0,294 | 0,468 | |
| | | 8 | α-Phellandrène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,009 | 0,877 | 0,731 | 0,531 | 0,54 | 0,116 | 0,022 |
| Gu | 0,009 | | | | 0,011 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 2E-04 | 0,631 | 0,177 | 0,012 |
| Ea | 0,877 | | | 0,011 | | 0,638 | 0,455 | 0,46 | 0,093 | 0,027 | 0,148 | 0,919 |
| Da | 0,731 | | | 0,004 | 0,638 | | 0,748 | 0,757 | 0,191 | 0,012 | 0,073 | 0,584 |
| Az | 0,531 | | | 0,002 | 0,455 | 0,748 | | 0,995 | 0,291 | 0,006 | 0,043 | 0,411 |
| Ta1 | 0,54 | | | 0,003 | 0,46 | 0,757 | 0,995 | | 0,267 | 0,007 | 0,044 | 0,413 |
| Ef | 0,116 | | | 2E-04 | 0,093 | 0,191 | 0,291 | 0,267 | | 6E-04 | 0,005 | 0,081 |
| Sl | 0,022 | | | 0,631 | 0,027 | 0,012 | 0,006 | 0,007 | 6E-04 | | 0,335 | 0,028 |
| Je | 0,124 | | | 0,177 | 0,148 | 0,073 | 0,043 | 0,044 | 0,005 | 0,335 | | 0,153 |
| Ta2 | 0,809 | | | 0,012 | 0,919 | 0,584 | 0,411 | 0,413 | 0,081 | 0,028 | 0,153 | |
| 9 | α-Terpinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | | | De | | 0,556 | 0,438 | 0,281 | 0,393 | 0,028 | 0,161 | 0,22 |
| | | Gu | 0,556 | | 0,206 | 0,119 | 0,752 | 0,009 | 0,062 | 0,473 | 0,684 | 0,011 |
| | | Ea | 0,438 | 0,206 | | 0,708 | 0,131 | 0,109 | 0,463 | 0,064 | 0,35 | 7E-04 |
| | | Da | 0,281 | 0,119 | 0,708 | | 0,073 | 0,187 | 0,684 | 0,033 | 0,216 | 3E-04 |
| | | Az | 0,393 | 0,752 | 0,131 | 0,073 | | 0,005 | 0,036 | 0,654 | 0,497 | 0,018 |
| | | Ta1 | 0,028 | 0,009 | 0,109 | 0,187 | 0,005 | | 0,317 | 0,002 | 0,019 | 3E-05 |
| | | Ef | 0,161 | 0,062 | 0,463 | 0,684 | 0,036 | 0,317 | | 0,016 | 0,119 | 2E-04 |
| | | Sl | 0,22 | 0,473 | 0,064 | 0,033 | 0,654 | 0,002 | 0,016 | | 0,29 | 0,037 |
| | | Je | 0,826 | 0,684 | 0,35 | 0,216 | 0,497 | 0,019 | 0,119 | 0,29 | | 0,005 |
| | | Ta2 | 0,003 | 0,011 | 7E-04 | 3E-04 | 0,018 | 3E-05 | 2E-04 | 0,037 | 0,005 | |
| | | 10 | p-Cymène (C ₁₀ H ₁₄) 134,22 g/mol  | De | | 0,016 | 0,259 | 0,01 | 0,941 | 0,007 | 0,041 | 0,691 |
| Gu | 0,016 | | | | 0,134 | 0,783 | 0,017 | 0,664 | 0,6 | 0,007 | 0,609 | 0,007 |
| Ea | 0,259 | | | 0,134 | | 0,089 | 0,263 | 0,068 | 0,27 | 0,15 | 0,278 | 3E-04 |
| Da | 0,01 | | | 0,783 | 0,089 | | 0,011 | 0,853 | 0,449 | 0,004 | 0,46 | 0,011 |
| Az | 0,941 | | | 0,017 | 0,263 | 0,011 | | 0,008 | 0,041 | 0,657 | 0,043 | 4E-05 |
| Ta1 | 0,007 | | | 0,664 | 0,068 | 0,853 | 0,008 | | 0,365 | 0,003 | 0,377 | 0,013 |
| Ef | 0,041 | | | 0,6 | 0,27 | 0,449 | 0,041 | 0,365 | | 0,02 | 0,964 | 0,003 |
| Sl | 0,691 | | | 0,007 | 0,15 | 0,004 | 0,657 | 0,003 | 0,02 | | 0,02 | 3E-05 |
| Je | 0,041 | | | 0,609 | 0,278 | 0,46 | 0,043 | 0,377 | 0,964 | 0,02 | | 0,003 |
| Ta2 | 4E-05 | | | 0,007 | 3E-04 | 0,011 | 4E-05 | 0,013 | 0,003 | 3E-05 | 0,003 | |
| 11 | 1,8-Cinéole (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | | | De | | 0,025 | 1E-04 | 0,353 | 0,16 | 0,005 | 0,008 | 6E-05 |
| | | Gu | 0,025 | | 3E-05 | 0,133 | 0,3 | 0,44 | 7E-05 | 2E-05 | 0,204 | 0,793 |
| | | Ea | 1E-04 | 3E-05 | | 6E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 0,019 | 0,281 | 4E-05 | 2E-05 |
| | | Da | 0,353 | 0,133 | 6E-05 | | 0,554 | 0,034 | 0,001 | 3E-05 | 0,757 | 0,091 |
| | | Az | 0,16 | 0,3 | 3E-05 | 0,554 | | 0,096 | 5E-04 | 3E-05 | 0,749 | 0,223 |
| | | Ta1 | 0,005 | 0,44 | 2E-05 | 0,034 | 0,096 | | 3E-05 | 2E-05 | 0,058 | 0,576 |
| | | Ef | 0,008 | 7E-05 | 0,019 | 0,001 | 5E-04 | 3E-05 | | 0,002 | 8E-04 | 5E-05 |
| | | Sl | 6E-05 | 2E-05 | 0,281 | 3E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 0,002 | | 3E-05 | 2E-05 |
| | | Je | 0,246 | 0,204 | 4E-05 | 0,757 | 0,749 | 0,058 | 8E-04 | 3E-05 | | 0,144 |
| | | Ta2 | 0,016 | 0,793 | 2E-05 | 0,091 | 0,223 | 0,576 | 5E-05 | 2E-05 | 0,144 | |

Tableau 4 (suite)

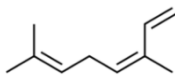
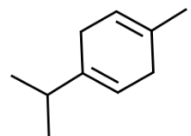
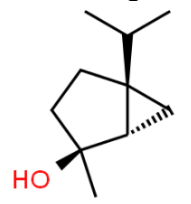
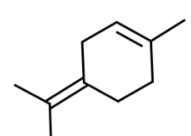
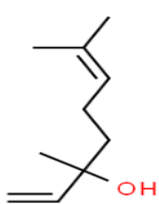
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|-----|--|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12 | (Z)-β-Ocimène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,035 | 0,211 | 0,031 | 0,967 | 0,037 | 0,033 | 9E-05 | 0,033 | 0,028 |
| | | Gu | 0,035 | | 0,298 | 1 | 0,036 | 1 | 1 | 2E-05 | 3E-04 | 1 |
| | | Ea | 0,211 | 0,298 | | 0,274 | 0,201 | 0,304 | 0,289 | 3E-05 | 0,003 | 0,249 |
| | | Da | 0,031 | 1 | 0,274 | | 0,03 | 1 | 1 | 3E-05 | 3E-04 | 1 |
| | | Az | 0,967 | 0,036 | 0,201 | 0,03 | | 0,038 | 0,034 | 8E-05 | 0,037 | 0,026 |
| | | Ta1 | 0,037 | 1 | 0,304 | 1 | 0,038 | | 1 | 2E-05 | 3E-04 | 1 |
| | | Ef | 0,033 | 1 | 0,289 | 1 | 0,034 | 1 | | 2E-05 | 3E-04 | 1 |
| | | Sl | 9E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 8E-05 | 2E-05 | 2E-05 | | 0,003 | 3E-05 |
| | | Je | 0,033 | 3E-04 | 0,003 | 3E-04 | 0,037 | 3E-04 | 3E-04 | 0,003 | | 2E-04 |
| | | Ta2 | 0,028 | 1 | 0,249 | 1 | 0,026 | 1 | 1 | 3E-05 | 2E-04 | |
| | | 14 | γ-Terpinène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,238 | 5E-04 | 4E-05 | 0,784 | 3E-05 | 2E-04 | 1E-04 |
| Gu | 0,238 | | | | 7E-05 | 3E-05 | 0,326 | 2E-05 | 4E-05 | 1E-03 | 0,009 | 0,832 |
| Ea | 5E-04 | | | 7E-05 | | 0,089 | 4E-04 | 0,018 | 0,559 | 3E-05 | 0,023 | 5E-05 |
| Da | 4E-05 | | | 3E-05 | 0,089 | | 3E-05 | 0,386 | 0,212 | 2E-05 | 6E-04 | 2E-05 |
| Az | 0,784 | | | 0,326 | 4E-04 | 3E-05 | | 3E-05 | 1E-04 | 2E-04 | 0,059 | 0,261 |
| Ta1 | 3E-05 | | | 2E-05 | 0,018 | 0,386 | 3E-05 | | 0,051 | 2E-05 | 1E-04 | 2E-05 |
| Ef | 2E-04 | | | 4E-05 | 0,559 | 0,212 | 1E-04 | 0,051 | | 2E-05 | 0,008 | 3E-05 |
| Sl | 1E-04 | | | 1E-03 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 2E-05 | 2E-05 | | 3E-05 | 0,001 |
| Je | 0,082 | | | 0,009 | 0,023 | 6E-04 | 0,059 | 1E-04 | 0,008 | 3E-05 | | 0,006 |
| Ta2 | 0,183 | | | 0,832 | 5E-05 | 2E-05 | 0,261 | 2E-05 | 3E-05 | 0,001 | 0,006 | |
| 15 | trans-Sabinène hydrate (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | | | De | | 1 | 1 | 1 | 0,079 | 1 | 0,022 | 1 |
| | | Gu | 1 | | 1 | 1 | 0,077 | 1 | 0,021 | 1 | 1 | 0,028 |
| | | Ea | 1 | 1 | | 1 | 0,074 | 1 | 0,02 | 1 | 1 | 0,026 |
| | | Da | 1 | 1 | 1 | | 0,07 | 1 | 0,019 | 1 | 1 | 0,025 |
| | | Az | 0,079 | 0,077 | 0,074 | 0,07 | | 0,058 | 0,489 | 0,047 | 0,065 | 0,563 |
| | | Ta1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,058 | | 0,017 | 1 | 1 | 0,021 |
| | | Ef | 0,022 | 0,021 | 0,02 | 0,019 | 0,489 | 0,017 | | 0,015 | 0,018 | 0,875 |
| | | Sl | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,047 | 1 | 0,015 | | 1 | 0,018 |
| | | Je | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,065 | 1 | 0,018 | 1 | | 0,023 |
| | | Ta2 | 0,029 | 0,028 | 0,026 | 0,025 | 0,563 | 0,021 | 0,875 | 0,018 | 0,023 | |
| | | 16 | Terpinolène (C ₁₀ H ₁₆) 136,23 g/mol  | De | | 0,238 | 5E-04 | 4E-05 | 0,784 | 3E-05 | 2E-04 | 1E-04 |
| Gu | 0,238 | | | | 7E-05 | 3E-05 | 0,326 | 2E-05 | 4E-05 | 1E-03 | 0,009 | 0,832 |
| Ea | 5E-04 | | | 7E-05 | | 0,089 | 4E-04 | 0,018 | 0,559 | 3E-05 | 0,023 | 5E-05 |
| Da | 4E-05 | | | 3E-05 | 0,089 | | 3E-05 | 0,386 | 0,212 | 2E-05 | 6E-04 | 2E-05 |
| Az | 0,784 | | | 0,326 | 4E-04 | 3E-05 | | 3E-05 | 1E-04 | 2E-04 | 0,059 | 0,261 |
| Ta1 | 3E-05 | | | 2E-05 | 0,018 | 0,386 | 3E-05 | | 0,051 | 2E-05 | 1E-04 | 2E-05 |
| Ef | 2E-04 | | | 4E-05 | 0,559 | 0,212 | 1E-04 | 0,051 | | 2E-05 | 0,008 | 3E-05 |
| Sl | 1E-04 | | | 1E-03 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 2E-05 | 2E-05 | | 3E-05 | 0,001 |
| Je | 0,082 | | | 0,009 | 0,023 | 6E-04 | 0,059 | 1E-04 | 0,008 | 3E-05 | | 0,006 |
| Ta2 | 0,183 | | | 0,832 | 5E-05 | 2E-05 | 0,261 | 2E-05 | 3E-05 | 0,001 | 0,006 | |
| 17 | Linalol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | | | De | | 2E-04 | 3E-05 | 0,433 | 0,212 | 0,1 | 0,005 | 3E-05 |
| | | Gu | 2E-04 | | 2E-05 | 7E-05 | 4E-05 | 0,007 | 0,13 | 2E-05 | 5E-05 | 2E-05 |
| | | Ea | 3E-05 | 2E-05 | | 5E-05 | 1E-04 | 3E-05 | 2E-05 | 0,04 | 7E-05 | 0,299 |
| | | Da | 0,433 | 7E-05 | 5E-05 | | 0,576 | 0,025 | 0,001 | 3E-05 | 0,88 | 2E-04 |
| | | Az | 0,212 | 4E-05 | 1E-04 | 0,576 | | 0,01 | 4E-04 | 6E-05 | 0,658 | 4E-04 |
| | | Ta1 | 0,1 | 0,007 | 3E-05 | 0,025 | 0,01 | | 0,143 | 2E-05 | 0,022 | 3E-05 |
| | | Ef | 0,005 | 0,13 | 2E-05 | 0,001 | 4E-04 | 0,143 | | 2E-05 | 9E-04 | 3E-05 |
| | | Sl | 3E-05 | 2E-05 | 0,04 | 3E-05 | 6E-05 | 2E-05 | 2E-05 | | 3E-05 | 0,005 |
| | | Je | 0,378 | 5E-05 | 7E-05 | 0,88 | 0,658 | 0,022 | 9E-04 | 3E-05 | | 2E-04 |
| | | Ta2 | 6E-05 | 2E-05 | 0,299 | 2E-04 | 4E-04 | 3E-05 | 3E-05 | 0,005 | 2E-04 | |

Tableau 4 (suite)

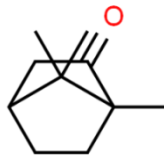
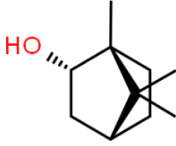
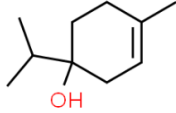
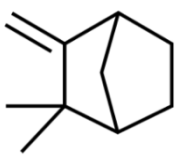
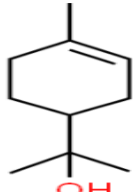
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|-----|---|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | Camphre (C ₁₀ H ₁₆ O) 152,23 g/mol  | De | | 7E-05 | 0,001 | 0,601 | 2E-04 | 3E-05 | 0,035 | 7E-05 | 0,59 | 3E-05 |
| | | Gu | 7E-05 | | 3E-05 | 2E-04 | 0,541 | 0,026 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 0,164 |
| | | Ea | 0,001 | 3E-05 | | 6E-04 | 3E-05 | 2E-05 | 0,132 | 0,032 | 6E-04 | 2E-05 |
| | | Da | 0,601 | 2E-04 | 6E-04 | | 4E-04 | 3E-05 | 0,016 | 3E-05 | 0,988 | 6E-05 |
| | | Az | 2E-04 | 0,541 | 3E-05 | 4E-04 | | 0,008 | 3E-05 | 3E-05 | 4E-04 | 0,063 |
| | | Ta1 | 3E-05 | 0,026 | 2E-05 | 3E-05 | 0,008 | | 2E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 0,297 |
| | | Ef | 0,035 | 3E-05 | 0,132 | 0,016 | 3E-05 | 2E-05 | | 0,001 | 0,014 | 3E-05 |
| | | Sl | 7E-05 | 2E-05 | 0,032 | 3E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 0,001 | | 4E-05 | 2E-05 |
| | | Je | 0,59 | 2E-04 | 6E-04 | 0,988 | 4E-04 | 3E-05 | 0,014 | 4E-05 | | 4E-05 |
| | | Ta2 | 3E-05 | 0,164 | 2E-05 | 6E-05 | 0,063 | 0,297 | 3E-05 | 2E-05 | 4E-05 | |
| | | 21 | Bornéol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | De | | 0,024 | 2E-05 | 3E-05 | 0,003 | 2E-05 | 2E-05 | 5E-05 |
| Gu | 0,024 | | | | 3E-05 | 3E-04 | 0,297 | 6E-05 | 2E-05 | 0,004 | 0,272 | 0,033 |
| Ea | 2E-05 | | | 3E-05 | | 0,131 | 1E-04 | 0,533 | 4E-04 | 0,014 | 1E-04 | 0,002 |
| Da | 3E-05 | | | 3E-04 | 0,131 | | 0,003 | 0,318 | 7E-05 | 0,236 | 0,003 | 0,043 |
| Az | 0,003 | | | 0,297 | 1E-04 | 0,003 | | 4E-04 | 3E-05 | 0,035 | 0,996 | 0,197 |
| Ta1 | 2E-05 | | | 6E-05 | 0,533 | 0,318 | 4E-04 | | 2E-04 | 0,045 | 4E-04 | 0,006 |
| Ef | 2E-05 | | | 2E-05 | 4E-04 | 7E-05 | 3E-05 | 2E-04 | | 3E-05 | 2E-05 | 3E-05 |
| Sl | 5E-05 | | | 0,004 | 0,014 | 0,236 | 0,035 | 0,045 | 3E-05 | | 0,039 | 0,31 |
| Je | 0,003 | | | 0,272 | 1E-04 | 0,003 | 0,996 | 4E-04 | 2E-05 | 0,039 | | 0,219 |
| Ta2 | 2E-04 | | | 0,033 | 0,002 | 0,043 | 0,197 | 0,006 | 3E-05 | 0,31 | 0,219 | |
| 22 | Terpinène-4-ol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | | | De | | 0,423 | 0,002 | 0,002 | 0,036 | 0,474 | 0,034 | 0,074 |
| | | Gu | 0,423 | | 0,01 | 0,011 | 0,139 | 0,878 | 0,009 | 0,248 | 0,965 | 0,009 |
| | | Ea | 0,002 | 0,01 | | 0,969 | 0,174 | 0,009 | 4E-05 | 0,095 | 0,011 | 3E-05 |
| | | Da | 0,002 | 0,011 | 0,969 | | 0,185 | 0,009 | 3E-05 | 0,098 | 0,011 | 3E-05 |
| | | Az | 0,036 | 0,139 | 0,174 | 0,185 | | 0,122 | 3E-04 | 0,669 | 0,141 | 3E-04 |
| | | Ta1 | 0,474 | 0,878 | 0,009 | 0,009 | 0,122 | | 0,009 | 0,228 | 0,905 | 0,011 |
| | | Ef | 0,034 | 0,009 | 4E-05 | 3E-05 | 3E-04 | 0,009 | | 7E-04 | 0,008 | 0,996 |
| | | Sl | 0,074 | 0,248 | 0,095 | 0,098 | 0,669 | 0,228 | 7E-04 | | 0,257 | 8E-04 |
| | | Je | 0,432 | 0,965 | 0,011 | 0,011 | 0,141 | 0,905 | 0,008 | 0,257 | | 0,009 |
| | | Ta2 | 0,041 | 0,009 | 3E-05 | 3E-05 | 3E-04 | 0,011 | 0,996 | 8E-04 | 0,009 | |
| | | 23 | p-Cymen-8-ol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | De | | 0,24 | 0,272 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,066 | 0,242 |
| Gu | 0,24 | | | | 0,035 | 0,035 | 0,947 | 0,028 | 0,006 | 0,914 | 0,172 | 0,012 |
| Ea | 0,272 | | | 0,035 | | 0,974 | 0,038 | 0,887 | 0,383 | 0,039 | 0,365 | 0,565 |
| Da | 0,27 | | | 0,035 | 0,974 | | 0,038 | 0,87 | 0,377 | 0,038 | 0,355 | 0,558 |
| Az | 0,25 | | | 0,947 | 0,038 | 0,038 | | 0,03 | 0,006 | 0,962 | 0,182 | 0,013 |
| Ta1 | 0,23 | | | 0,028 | 0,887 | 0,87 | 0,03 | | 0,442 | 0,032 | 0,316 | 0,639 |
| Ef | 0,066 | | | 0,006 | 0,383 | 0,377 | 0,006 | 0,442 | | 0,007 | 0,097 | 0,727 |
| Sl | 0,242 | | | 0,914 | 0,039 | 0,038 | 0,962 | 0,032 | 0,007 | | 0,183 | 0,013 |
| Je | 0,804 | | | 0,172 | 0,365 | 0,355 | 0,182 | 0,316 | 0,097 | 0,183 | | 0,165 |
| Ta2 | 0,115 | | | 0,012 | 0,565 | 0,558 | 0,013 | 0,639 | 0,727 | 0,013 | 0,165 | |
| 24 | α-Terpinéol (C ₁₀ H ₁₈ O) 154,25 g/mol  | | | De | | 0,109 | 0,05 | 0,115 | 0,2 | 0,111 | 0,562 | 0,138 |
| | | Gu | 0,109 | | 0,639 | 0,949 | 0,632 | 0,004 | 0,04 | 0,833 | 0,067 | 0,067 |
| | | Ea | 0,05 | 0,639 | | 0,615 | 0,375 | 0,001 | 0,017 | 0,528 | 0,029 | 0,029 |
| | | Da | 0,115 | 0,949 | 0,615 | | 0,664 | 0,004 | 0,044 | 0,874 | 0,072 | 0,071 |
| | | Az | 0,2 | 0,632 | 0,375 | 0,664 | | 0,01 | 0,09 | 0,763 | 0,142 | 0,136 |
| | | Ta1 | 0,111 | 0,004 | 0,001 | 0,004 | 0,01 | | 0,244 | 0,005 | 0,169 | 0,175 |
| | | Ef | 0,562 | 0,04 | 0,017 | 0,044 | 0,09 | 0,244 | | 0,056 | 0,763 | 0,758 |
| | | Sl | 0,138 | 0,833 | 0,528 | 0,874 | 0,763 | 0,005 | 0,056 | | 0,09 | 0,088 |
| | | Je | 0,752 | 0,067 | 0,029 | 0,072 | 0,142 | 0,169 | 0,763 | 0,09 | | 0,979 |
| | | Ta2 | 0,757 | 0,067 | 0,029 | 0,071 | 0,136 | 0,175 | 0,758 | 0,088 | 0,979 | |

Tableau 4 (suite)

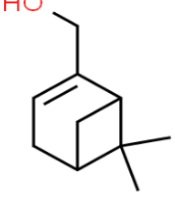
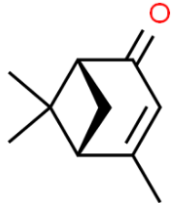
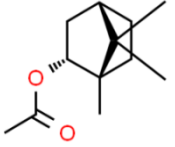
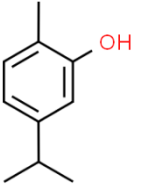
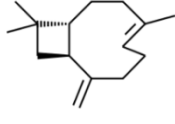
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|-----|---|------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25 | Myrtenol (C ₁₀ H ₁₆ O) 152,23 g/mol  | De | | 0,15 | 0,028 | 0,08 | 0,066 | 0,01 | 0,011 | 0,017 | 0,131 | 0,158 |
| | | Gu | 0,15 | | 0,32 | 0,662 | 0,571 | 4E-04 | 5E-04 | 0,223 | 0,008 | 0,01 |
| | | Ea | 0,028 | 0,32 | | 0,535 | 0,621 | 7E-05 | 7E-05 | 0,777 | 1E-03 | 0,001 |
| | | Da | 0,08 | 0,662 | 0,535 | | 0,87 | 2E-04 | 2E-04 | 0,392 | 0,003 | 0,005 |
| | | Az | 0,066 | 0,571 | 0,621 | 0,87 | | 2E-04 | 2E-04 | 0,465 | 0,003 | 0,004 |
| | | Ta1 | 0,01 | 4E-04 | 7E-05 | 2E-04 | 2E-04 | | 1 | 5E-05 | 0,182 | 0,151 |
| | | Ef | 0,011 | 5E-04 | 7E-05 | 2E-04 | 2E-04 | 1 | | 5E-05 | 0,205 | 0,163 |
| | | Sl | 0,017 | 0,223 | 0,777 | 0,392 | 0,465 | 5E-05 | 5E-05 | | 6E-04 | 8E-04 |
| | | Je | 0,131 | 0,008 | 1E-03 | 0,003 | 0,003 | 0,182 | 0,205 | 6E-04 | | 0,85 |
| | | Ta2 | 0,158 | 0,01 | 0,001 | 0,005 | 0,004 | 0,151 | 0,163 | 8E-04 | 0,85 | |
| | | 26 | Verbenone (C ₁₀ H ₁₄ O) 150,22 g/mol  | De | | 0,003 | 3E-05 | 8E-05 | 3E-05 | 0,002 | 0,002 | 6E-05 |
| Gu | 0,003 | | | | 2E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 1 | 1 | 2E-05 | 9E-05 | 0,206 |
| Ea | 3E-05 | | | 2E-05 | | 2E-04 | 0,006 | 3E-05 | 2E-05 | 0,014 | 6E-05 | 3E-05 |
| Da | 8E-05 | | | 3E-05 | 2E-04 | | 6E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 0,038 | 4E-04 | 6E-05 |
| Az | 3E-05 | | | 2E-05 | 0,006 | 6E-05 | | 2E-05 | 2E-05 | 8E-05 | 3E-05 | 3E-05 |
| Ta1 | 0,002 | | | 1 | 3E-05 | 3E-05 | 2E-05 | | 1 | 3E-05 | 1E-04 | 0,17 |
| Ef | 0,002 | | | 1 | 2E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 1 | | 3E-05 | 8E-05 | 0,192 |
| Sl | 6E-05 | | | 2E-05 | 0,014 | 0,038 | 8E-05 | 3E-05 | 3E-05 | | 7E-05 | 3E-05 |
| Je | 0,107 | | | 9E-05 | 6E-05 | 4E-04 | 3E-05 | 1E-04 | 8E-05 | 7E-05 | | 0,001 |
| Ta2 | 0,031 | | | 0,206 | 3E-05 | 6E-05 | 3E-05 | 0,17 | 0,192 | 3E-05 | 0,001 | |
| 27 | Bornyl acetate (C ₁₂ H ₂₀ O ₂) 196,29 g/mol  | | | De | | 0,144 | 3E-05 | 3E-05 | 0,161 | 0,929 | 3E-05 | 2E-05 |
| | | Gu | 0,144 | | 2E-05 | 3E-05 | 0,884 | 0,135 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-04 | 0,068 |
| | | Ea | 3E-05 | 2E-05 | | 0,005 | 3E-05 | 3E-05 | 0,619 | 0,094 | 7E-05 | 6E-05 |
| | | Da | 3E-05 | 3E-05 | 0,005 | | 3E-05 | 6E-05 | 0,002 | 2E-04 | 3E-04 | 7E-05 |
| | | Az | 0,161 | 0,884 | 3E-05 | 3E-05 | | 0,158 | 2E-05 | 2E-05 | 3E-04 | 0,083 |
| | | Ta1 | 0,929 | 0,135 | 3E-05 | 6E-05 | 0,158 | | 3E-05 | 3E-05 | 0,007 | 0,669 |
| | | Ef | 3E-05 | 2E-05 | 0,619 | 0,002 | 2E-05 | 3E-05 | | 0,194 | 6E-05 | 3E-05 |
| | | Sl | 2E-05 | 2E-05 | 0,094 | 2E-04 | 2E-05 | 3E-05 | 0,194 | | 3E-05 | 3E-05 |
| | | Je | 0,007 | 3E-04 | 7E-05 | 3E-04 | 3E-04 | 0,007 | 6E-05 | 3E-05 | | 0,015 |
| | | Ta2 | 0,626 | 0,068 | 6E-05 | 7E-05 | 0,083 | 0,669 | 3E-05 | 3E-05 | 0,015 | |
| | | 29 | Carvacrol (C ₁₀ H ₁₈ O) 150,22 g/mol  | De | | 0,004 | 0,016 | 0,015 | 0,065 | 0,095 | 0,013 | 0,029 |
| Gu | 0,004 | | | | 3E-05 | 3E-05 | 0,172 | 1E-04 | 3E-05 | 0,334 | 3E-05 | 0,002 |
| Ea | 0,016 | | | 3E-05 | | 1 | 3E-04 | 0,338 | 1 | 1E-04 | 1 | 0,034 |
| Da | 0,015 | | | 3E-05 | 1 | | 2E-04 | 0,323 | 1 | 1E-04 | 1 | 0,031 |
| Az | 0,065 | | | 0,172 | 3E-04 | 2E-04 | | 0,002 | 2E-04 | 0,619 | 3E-04 | 0,036 |
| Ta1 | 0,095 | | | 1E-04 | 0,338 | 0,323 | 0,002 | | 0,297 | 7E-04 | 0,347 | 0,166 |
| Ef | 0,013 | | | 3E-05 | 1 | 1 | 2E-04 | 0,297 | | 1E-04 | 1 | 0,026 |
| Sl | 0,029 | | | 0,334 | 1E-04 | 1E-04 | 0,619 | 7E-04 | 1E-04 | | 1E-04 | 0,015 |
| Je | 0,017 | | | 3E-05 | 1 | 1 | 3E-04 | 0,347 | 1 | 1E-04 | | 0,036 |
| Ta2 | 0,69 | | | 0,002 | 0,034 | 0,031 | 0,036 | 0,166 | 0,026 | 0,015 | 0,036 | |
| 31 | β-Caryophyllène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | | | De | | 3E-05 | 0,031 | 3E-05 | 0,064 | 6E-05 | 0,035 | 0,628 |
| | | Gu | 3E-05 | | 3E-05 | 2E-04 | 3E-05 | 6E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 7E-05 | 2E-05 |
| | | Ea | 0,031 | 3E-05 | | 8E-05 | 0,644 | 2E-04 | 2E-04 | 0,013 | 2E-04 | 0,001 |
| | | Da | 3E-05 | 2E-04 | 8E-05 | | 4E-05 | 0,401 | 2E-05 | 3E-05 | 0,383 | 2E-05 |
| | | Az | 0,064 | 3E-05 | 0,644 | 4E-05 | | 1E-04 | 6E-04 | 0,03 | 1E-04 | 0,003 |
| | | Ta1 | 6E-05 | 6E-05 | 2E-04 | 0,401 | 1E-04 | | 3E-05 | 3E-05 | 0,986 | 3E-05 |
| | | Ef | 0,035 | 2E-05 | 2E-04 | 2E-05 | 6E-04 | 3E-05 | | 0,079 | 2E-05 | 0,484 |
| | | Sl | 0,628 | 2E-05 | 0,013 | 3E-05 | 0,03 | 3E-05 | 0,079 | | 3E-05 | 0,233 |
| | | Je | 3E-05 | 7E-05 | 2E-04 | 0,383 | 1E-04 | 0,986 | 2E-05 | 3E-05 | | 3E-05 |
| | | Ta2 | 0,118 | 2E-05 | 0,001 | 2E-05 | 0,003 | 3E-05 | 0,484 | 0,233 | 3E-05 | |

Tableau 4 (suite)

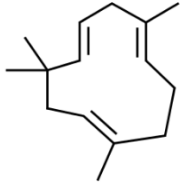
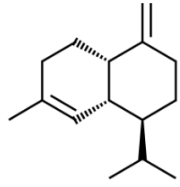
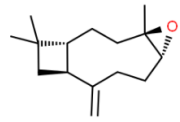
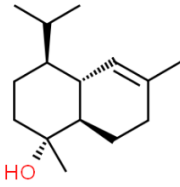
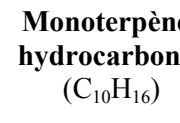
| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|----|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 32 | α-Humulène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | De | | 0,052 | 0,016 | 0,341 | 0,101 | 0,603 | 0,551 | 0,172 | 0,015 | 0,863 |
| | | Gu | 0,052 | | 0,528 | 0,252 | 0,685 | 0,122 | 0,017 | 0,472 | 0,509 | 0,039 |
| | | Ea | 0,016 | 0,528 | | 0,095 | 0,329 | 0,041 | 0,005 | 0,205 | 0,994 | 0,012 |
| | | Da | 0,341 | 0,252 | 0,095 | | 0,418 | 0,621 | 0,147 | 0,616 | 0,092 | 0,282 |
| | | Az | 0,101 | 0,685 | 0,329 | 0,418 | | 0,221 | 0,035 | 0,719 | 0,317 | 0,078 |
| | | Ta1 | 0,603 | 0,122 | 0,041 | 0,621 | 0,221 | | 0,296 | 0,35 | 0,039 | 0,514 |
| | | Ef | 0,551 | 0,017 | 0,005 | 0,147 | 0,035 | 0,296 | | 0,066 | 0,004 | 0,645 |
| | | Sl | 0,172 | 0,472 | 0,205 | 0,616 | 0,719 | 0,35 | 0,066 | | 0,198 | 0,138 |
| | | Je | 0,015 | 0,509 | 0,994 | 0,092 | 0,317 | 0,039 | 0,004 | 0,198 | | 0,011 |
| | | Ta2 | 0,863 | 0,039 | 0,012 | 0,282 | 0,078 | 0,514 | 0,645 | 0,138 | 0,011 | |
| 33 | γ- Muurolène (C ₁₅ H ₂₄) 204,35 g/mol  | De | | 0,003 | 0,036 | 0,004 | 0,01 | 0,008 | 0,87 | 0,059 | 0,21 | 0,032 |
| | | Gu | 0,003 | | 0,211 | 0,784 | 2E-05 | 2E-05 | 0,002 | 0,136 | 0,034 | 4E-05 |
| | | Ea | 0,036 | 0,211 | | 0,29 | 8E-05 | 8E-05 | 0,028 | 0,749 | 0,296 | 3E-04 |
| | | Da | 0,004 | 0,784 | 0,29 | | 3E-05 | 3E-05 | 0,003 | 0,196 | 0,053 | 5E-05 |
| | | Az | 0,01 | 2E-05 | 8E-05 | 3E-05 | | 1 | 0,012 | 1E-04 | 6E-04 | 0,514 |
| | | Ta1 | 0,008 | 2E-05 | 8E-05 | 3E-05 | 1 | | 0,01 | 1E-04 | 6E-04 | 0,49 |
| | | Ef | 0,87 | 0,002 | 0,028 | 0,003 | 0,012 | 0,01 | | 0,048 | 0,182 | 0,035 |
| | | Sl | 0,059 | 0,136 | 0,749 | 0,196 | 1E-04 | 1E-04 | 0,048 | | 0,427 | 5E-04 |
| | | Je | 0,21 | 0,034 | 0,296 | 0,053 | 6E-04 | 6E-04 | 0,182 | 0,427 | | 0,002 |
| | | Ta2 | 0,032 | 4E-05 | 3E-04 | 5E-05 | 0,514 | 0,49 | 0,035 | 5E-04 | 0,002 | |
| 34 | Caryophyllène oxyde (C ₁₅ H ₂₄ O) 220,35 g/mol  | De | | 0,004 | 0,002 | 0,659 | 0,024 | 7E-04 | 4E-05 | 0,121 | 0,118 | 0,003 |
| | | Gu | 0,004 | | 2E-05 | 0,002 | 5E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-04 | 2E-04 | 3E-05 |
| | | Ea | 0,002 | 2E-05 | | 0,005 | 0,263 | 0,561 | 0,042 | 0,061 | 0,064 | 0,851 |
| | | Da | 0,659 | 0,002 | 0,005 | | 0,052 | 0,002 | 6E-05 | 0,223 | 0,224 | 0,007 |
| | | Az | 0,024 | 5E-05 | 0,263 | 0,052 | | 0,111 | 0,004 | 0,369 | 0,376 | 0,316 |
| | | Ta1 | 7E-04 | 2E-05 | 0,561 | 0,002 | 0,111 | | 0,108 | 0,021 | 0,022 | 0,47 |
| | | Ef | 4E-05 | 2E-05 | 0,042 | 6E-05 | 0,004 | 0,108 | | 6E-04 | 7E-04 | 0,033 |
| | | Sl | 0,121 | 2E-04 | 0,061 | 0,223 | 0,369 | 0,021 | 6E-04 | | 0,948 | 0,08 |
| | | Je | 0,118 | 2E-04 | 0,064 | 0,224 | 0,376 | 0,022 | 7E-04 | 0,948 | | 0,081 |
| | | Ta2 | 0,003 | 3E-05 | 0,851 | 0,007 | 0,316 | 0,47 | 0,033 | 0,08 | 0,081 | |
| 35 | α-Cadinol (C ₁₅ H ₂₆ O) 222,37 g/mol  | De | | 0,336 | 0,75 | 0,374 | 0,358 | 0,034 | 0,166 | 0,709 | 0,854 | 0,247 |
| | | Gu | 0,336 | | 0,221 | 0,913 | 0,95 | 0,005 | 0,03 | 0,524 | 0,416 | 0,051 |
| | | Ea | 0,75 | 0,221 | | 0,25 | 0,238 | 0,057 | 0,255 | 0,515 | 0,635 | 0,36 |
| | | Da | 0,374 | 0,913 | 0,25 | | 0,957 | 0,006 | 0,035 | 0,561 | 0,455 | 0,058 |
| | | Az | 0,358 | 0,95 | 0,238 | 0,957 | | 0,005 | 0,033 | 0,549 | 0,44 | 0,055 |
| | | Ta1 | 0,034 | 0,005 | 0,057 | 0,006 | 0,005 | | 0,357 | 0,018 | 0,025 | 0,253 |
| | | Ef | 0,166 | 0,03 | 0,255 | 0,035 | 0,033 | 0,357 | | 0,095 | 0,13 | 0,766 |
| | | Sl | 0,709 | 0,524 | 0,515 | 0,561 | 0,549 | 0,018 | 0,095 | | 0,832 | 0,15 |
| | | Je | 0,854 | 0,416 | 0,635 | 0,455 | 0,44 | 0,025 | 0,13 | 0,832 | | 0,199 |
| | | Ta2 | 0,247 | 0,051 | 0,36 | 0,058 | 0,055 | 0,253 | 0,766 | 0,15 | 0,199 | |
| 36 | Monoterpènes hydrocarbures (C ₁₀ H ₁₆)  | De | | 0,042 | 0,275 | 0,694 | 0,193 | 0,288 | 0,018 | 0,202 | 0,331 | 0,919 |
| | | Gu | 0,042 | | 0,27 | 0,021 | 0,364 | 0,005 | 1E-04 | 0,362 | 0,006 | 0,048 |
| | | Ea | 0,275 | 0,27 | | 0,16 | 0,773 | 0,046 | 0,002 | 0,804 | 0,056 | 0,291 |
| | | Da | 0,694 | 0,021 | 0,16 | | 0,107 | 0,463 | 0,035 | 0,113 | 0,521 | 0,64 |
| | | Az | 0,193 | 0,364 | 0,773 | 0,107 | | 0,028 | 1E-03 | 0,954 | 0,035 | 0,216 |
| | | Ta1 | 0,288 | 0,005 | 0,046 | 0,463 | 0,028 | | 0,116 | 0,03 | 0,891 | 0,258 |
| | | Ef | 0,018 | 1E-04 | 0,002 | 0,035 | 1E-03 | 0,116 | | 0,001 | 0,106 | 0,015 |
| | | Sl | 0,202 | 0,362 | 0,804 | 0,113 | 0,954 | 0,03 | 0,001 | | 0,037 | 0,221 |
| | | Je | 0,331 | 0,006 | 0,056 | 0,521 | 0,035 | 0,891 | 0,106 | 0,037 | | 0,302 |
| | | Ta2 | 0,919 | 0,048 | 0,291 | 0,64 | 0,216 | 0,258 | 0,015 | 0,221 | 0,302 | |

Tableau 4 (suite)

| N° | Composé | Prov | De | Gu | Ea | Da | Az | Ta1 | Ef | Sl | Je | Ta2 |
|----|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 37 | Monoterpènes oxygénés | De | | 0,612 | 0,441 | 0,14 | 0,175 | 0,259 | 0,017 | 0,312 | 0,167 | 0,938 |
| | | Gu | 0,612 | | 0,754 | 0,061 | 0,35 | 0,124 | 0,006 | 0,568 | 0,075 | 0,581 |
| | | Ea | 0,441 | 0,754 | | 0,036 | 0,5 | 0,077 | 0,004 | 0,768 | 0,045 | 0,414 |
| | | Da | 0,14 | 0,061 | 0,036 | | 0,009 | 0,657 | 0,254 | 0,021 | 0,886 | 0,15 |
| | | Az | 0,175 | 0,35 | 0,5 | 0,009 | | 0,022 | 8E-04 | 0,672 | 0,012 | 0,16 |
| | | Ta1 | 0,259 | 0,124 | 0,077 | 0,657 | 0,022 | | 0,144 | 0,048 | 0,742 | 0,264 |
| | | Ef | 0,017 | 0,006 | 0,004 | 0,254 | 8E-04 | 0,144 | | 0,002 | 0,226 | 0,019 |
| | | Sl | 0,312 | 0,568 | 0,768 | 0,021 | 0,672 | 0,048 | 0,002 | | 0,027 | 0,29 |
| | | Je | 0,167 | 0,075 | 0,045 | 0,886 | 0,012 | 0,742 | 0,226 | 0,027 | | 0,175 |
| | | Ta2 | 0,938 | 0,581 | 0,414 | 0,15 | 0,16 | 0,264 | 0,019 | 0,29 | 0,175 | |
| 38 | Sesquiterpènes hydrocarbones (C₁₅H₂₄) | De | | 2E-05 | 0,003 | 3E-05 | 0,124 | 8E-05 | 0,064 | 0,543 | 3E-05 | 0,063 |
| | | Gu | 2E-05 | | 3E-05 | 2E-04 | 3E-05 | 6E-05 | 2E-05 | 3E-05 | 9E-05 | 2E-05 |
| | | Ea | 0,003 | 3E-05 | | 0,002 | 0,062 | 0,084 | 6E-05 | 0,008 | 0,006 | 7E-05 |
| | | Da | 3E-05 | 2E-04 | 0,002 | | 5E-05 | 0,067 | 2E-05 | 3E-05 | 0,534 | 2E-05 |
| | | Az | 0,124 | 3E-05 | 0,062 | 5E-05 | | 0,002 | 0,003 | 0,297 | 1E-04 | 0,003 |
| | | Ta1 | 8E-05 | 6E-05 | 0,084 | 0,067 | 0,002 | | 3E-05 | 2E-04 | 0,176 | 3E-05 |
| | | Ef | 0,064 | 2E-05 | 6E-05 | 2E-05 | 0,003 | 3E-05 | | 0,022 | 2E-05 | 0,927 |
| | | Sl | 0,543 | 3E-05 | 0,008 | 3E-05 | 0,297 | 2E-04 | 0,022 | | 4E-05 | 0,023 |
| | | Je | 3E-05 | 9E-05 | 0,006 | 0,534 | 1E-04 | 0,176 | 2E-05 | 4E-05 | | 3E-05 |
| | | Ta2 | 0,063 | 2E-05 | 7E-05 | 2E-05 | 0,003 | 3E-05 | 0,927 | 0,023 | 3E-05 | |
| 39 | Sesquiterpènes oxygénés | De | | 0,045 | 0,009 | 0,91 | 0,347 | 3E-04 | 1E-04 | 0,264 | 0,19 | 0,004 |
| | | Gu | 0,045 | | 1E-04 | 0,046 | 0,007 | 2E-05 | 2E-05 | 0,005 | 0,003 | 5E-05 |
| | | Ea | 0,009 | 1E-04 | | 0,007 | 0,054 | 0,123 | 0,056 | 0,076 | 0,104 | 0,678 |
| | | Da | 0,91 | 0,046 | 0,007 | | 0,32 | 2E-04 | 9E-05 | 0,237 | 0,167 | 0,003 |
| | | Az | 0,347 | 0,007 | 0,054 | 0,32 | | 0,002 | 7E-04 | 0,805 | 0,633 | 0,026 |
| | | Ta1 | 3E-04 | 2E-05 | 0,123 | 2E-04 | 0,002 | | 0,626 | 0,003 | 0,005 | 0,216 |
| | | Ef | 1E-04 | 2E-05 | 0,056 | 9E-05 | 7E-04 | 0,626 | | 0,001 | 0,002 | 0,108 |
| | | Sl | 0,264 | 0,005 | 0,076 | 0,237 | 0,805 | 0,003 | 0,001 | | 0,794 | 0,039 |
| | | Je | 0,19 | 0,003 | 0,104 | 0,167 | 0,633 | 0,005 | 0,002 | 0,794 | | 0,057 |
| | | Ta2 | 0,004 | 5E-05 | 0,678 | 0,003 | 0,026 | 0,216 | 0,108 | 0,039 | 0,057 | |

Résumé

Au Maroc, les faciès de romarin sont menacés par les pratiques actuelles qui compromettent leur durabilité. Les expérimentations menées dans cette étude ont montré que l'exploitation du romarin pendant l'été a un impact négatif sur sa régénération, une période de mise en repos de juillet à aout est nécessaire. En revanche, la coupe rase pendant l'hiver permet le rajeunissement des touffes lignifiées et améliore leur productivité. Comme technique de bonne pratique de récolte, nous recommandons la coupe de la moitié de la touffe au ras du sol pour ses avantages en termes de productivité et de conciliation avec les autres usages (apiculture). La partie non exploitée de la plante peut produire des fleurs et les semences nécessaires à la régénération naturelle. Aussi, nos investigations ont montré que le romarin de la région de l'Oriental est pourvu d'huiles essentielles (1,73 à 3,13%) et riche en 1,8-cinéole et en camphre. Les analyses statistiques ont révélé que ces huiles sont influencées par le bioclimat, l'orographie et la géographie de la région. Au niveau rucher, les huiles du romarin ont manifesté une bioactivité importante contre Varroa destructor. Cette ressource abondante dans la nature constitue un potentiel intéressant pour le développement de biopesticides.

Mots-clefs (5) : *Rosmarinus officinalis* ; Huile essentielle ; *Varroa destructor* ; Biopesticide ; Gestion des ressources naturelles

Abstract

In Morocco, the sustainability of rosemary stands is threatened by current practices. Experiments carried out in this study have shown that harvesting operations must be avoided in summer regarding their negative effect on the vegetative growth. So, we recommend a rest period from July to August. However, Clear-cutting during winter allows a good rejuvenation of the lignified rosemary clumps and improves their productivity. The half cutting of the clumps close to the ground is then recommended as suitable practice due to its benefits in terms of productivity and reconciliation with other uses (beekeeping), since the preserved part is to come into bloom and ensure the production of seeds for natural regeneration. Also, our investigations have shown that all rosemary wild populations investigated in the Eastern Region of Morocco contained high levels of essential oils (1.73 to 3.13%) and are rich in 1,8-cineole and camphor. Production and chemical composition of these oils are influenced by bioclimatic factors and by the orography and geography of this region. In the beehive assays, rosemary oils showed significant bioactivity against Varroa destructor mite. The use of these oils is an interesting prospect for the development of biopesticides.

Key Words (5) : *Rosmarinus officinalis*; Essential oil; *Varroa destructor*; Biopesticide; natural resource management