

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

L'âme de mon père

Mon père qui a été toujours fier de moi et le pourrait s'il était encore entre nous. Mon père qui a été toujours aspiré à me voir réaliser mes rêves sous ses yeux. Il a été mon soutien moral et matériel, mais la volonté de Dieu a arrêté le tous sans qu'il puisse voir tous ses efforts dans ce modeste travail. Que ton âme repose en paix cher père.

Ma mère

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices et ses conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçoit à travers ce modeste travail, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

*Mon frère Hamid et mes sœurs Fatima et Fatima
Qui n'ont cessé d'être pour moi toujours le soutien moral et matériel après mon père. Ils ont toujours été mon premier recours dans chaque échec. Je me permets aujourd'hui de vous présenter ma grande reconnaissance.*

Toute Ma famille

A mes tantes et à mes oncles.

A chaque cousins et cousines.

*Respect, amour, reconnaissance sont les moindres sentiments que je
peux vous adresser*

Mes Amis

*A tous ceux qui m'ont encouragé, ne m'ont jamais oublié, qu'ils
trouvent ici des signes de grandes amitiés*

Mes Encadrants

*Tous mes enseignants tout au long de mes études
Tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail*

Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur **Nabil HMINA**, Président de l'Université Sultan Moulay Slimane, Monsieur **Said EL MALIANI**, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal, Monsieur **Abderrafia HAFID**, Vice doyen de la recherche scientifique et Monsieur **Mohamed Najimi**, Directeur de centre d'études doctorales, pour l'importance qu'ils ont donné à la recherche scientifique. Qu'ils trouvent ici ma reconnaissance et mon grand respect.*

*Je tiens à remercier en tout premier lieu le professeur **Nadya WAHID**, qui a dirigé cette thèse. Tout au long de ces années, et qui m'a permis de relever le défi du Doctorat en achevant ce travail dans de bonnes conditions. Ses conseils, sa gentillesse et ses grandes connaissances scientifiques m'ont aidée à réaliser ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à mes co-directeurs de thèse Monsieur **Abdelali BOULLI**, et Monsieur **Aziz HASIB**, Professeurs à la FST de Béni Mellal qui m'ont accueilli dans leurs équipes. Leurs expériences et leurs profondes connaissances, les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de ce travail, m'ont permis de mener à bien cette étude.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse. Merci à Mr **Abderrafia HAFID**, professeur à la FST de Béni Mellal, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je remercie Mrs les professeurs **Abderrahim JAOUAD** et **Abdelaziz ABBAD** de la Faculté des Sciences de Semlalia et Mme. la professeure **Soumaya HAMMADA** de la FST de Béni Mellal d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce manuscrit. Merci également à Mr. le professeur **Younes ABBAS** de la FP de Béni Mellal pour avoir accepté d'examiner mon mémoire et de faire partie de mon jury de thèse.*

Je n'oublierai à adresser mes remerciements également aux collègues dans les deux équipes « Ecologie et Développement Durable » et « Procédés Agro-Industriels et environnementaux » pour leur amitié et leur gratitude.

*Je tiens à remercier mes amis pour leur soutien, leur aide et leur bonne humeur : **Ismail, Ayoub N, Abderrazak, Rahima, Youssef, Mohamed M, Nora, Hasnaa, Abdessalam, Ikram, Abdelkarim, Aicha, F. Ezzahra, Iman, Halima, Soukaina, Safae, Ayoub El, ...***

Enfin, j'adresse un grand merci à toute ma famille qui a toujours été présente lorsque j'en ai eu besoin.

Avant-propos

- **Nom et prénom de l'auteur** : Jamal AABDOUSSE
- **Intitulé de la thèse** : Etude ethnobotanique, écologique, morphologique et chimique des populations naturelles du myrte (*Myrtus communis* L.) au Maroc.
- **Directeur de la thèse** : Pr. Nadya WAHID, (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Co-Encadrant** : Pr. Abdelali BOULLI (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Co-Encadrant** : Pr. Aziz HASIB (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Formation doctorale** : Ressources Naturelles, Santé et Environnement.
- **Directeur du CED** : Pr. Mohamed Najimi
- **Responsable de Formation** : Pr. ZYAD Abdelmajid
- **Institution** : Université Sultan Moulay Slimane - Faculté des Sciences et Technique Béni Mellal.
- **Equipe** : Ecologie et Développement Durable de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal Université Sultan Moulay Slimane.
- **Période de réalisation des travaux** : 2017-2021

Principales publications et communications

➤ **Articles**

✓ **Articles publiés**

- **Jamal Aabdousse**, Wahid Nadya, Rahima Faïda, Abdelali Boulli, Aziz Hasib, 2021. Determination of the effect of biogeographic variability on myrtle ecology in Morocco using a combination of GIS and bioclimatic indices. *Journal of Materials and Environmental Science*, 12 (9) : 1209-1225.
- **Jamal Aabdousse**, Wahid Nadya, Rahima Faïda, Abdelali Boulli, Aziz Hasib, 2021. Effect of provenance on morphological variability within and between natural populations of Moroccan *Myrtus communis* L. *Phytomorphology*, 71(1&2): 1-14.
- **Jamal Aabdousse**, Rahima Faïda, Abdelali Boulli, Aziz Hasib, Nadya Wahid, 2020. Ethnobotanical study of commercialized medicinal plants in the Beni Mellal-Khenifra region (Morocco), with special reference to *Myrtus communis* L. *Ethnobotany Research & Applications*, 19 (27): 1-13.

- Rahima Faïda, Wahid Nadya, **Jamal Aabdousse**, Abdelali Boulli, BOUDA Said. 2021. Variation of Morphological Traits in Natural Populations of *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) in Morocco. *Phytomorphology* 71(1&2): 27-40.
- Rahima Faïda, **Jamal Aabdousse**, Wahid Nadya, Abdelali Boulli, BOUDA Said. 2020. Ethnobotanical uses and distribution status of *Arbutus unedo* in Morocco. *Ethnobotany Research & Applications*, 18 (30): 1-13.
- Nadya Wahid, **Jamal Aabdousse**, Aïssa Chkhichekh, Ahmed EL Aboudi. 2018. Prospection et modalités d'échantillonnage pour capturer la diversité génétique des populations naturelles : cas du *Myrtus communis* L. au Maroc. *Ecologia mediterranea* Vol. 44 (1) ; pp 85-96.

➤ **Communications :**

- **Aabdousse J.**, Boulli A., Wahid N. 2017. *Le potentiel ethnobotanique du myrte commun (Myrtus communis L.) au Maroc*. La deuxième journée du doctorant en biologie de l'USMBA : Pharmacologie et Biotechnologie, le 10 Mai 2017.
- **Aabdousse J.**, Boulli A., Wahid N. 2017. *Le myrte commun (Myrtus communis L.) dans la région Béni Mellal-Khénifra : Quel usage !* Le 2^{ème} congrès international : Biotechnologies au service de la société « Biotech2017 ». FST Fès, le 22-25 Novembre.
- **Aabdousse J.**, Faïda R., Boulli A., Wahid N. 2018. *Aspect ethnobotanique de myrte commun (Myrtus communis L.) dans la région Béni Mellal Khénifra*. Le congrès International des sciences pharmaceutiques (CISPHARM 2018), le 16-17 Février 2018.
- **Aabdousse J.**, Faïda R., Boulli A., Wahid N. 2018. *Distribution of a plant of agronomic interest in Morocco: case of common myrtle*. The American Moroccan Agricultural Sciences Conference IV (AMAS Conference IV), Agropolis Meknès, le 9-11 Mai 2018.
- **Aabdousse J.**, Faïda R., Boulli A., Wahid N. 2018. *Morphological characterisation of certain natural populations of Moroccan myrtle (Myrtus communis L.)*. Symposium International d'Ecologie 2018 à l'Université de Kastamonu, Turquie, le 19-23 juin 2018
- **Aabdousse J.**, Faïda R., Boulli A., Wahid N. 2018. *Caractérisation morpho-pomologique de certaines populations naturelles de myrte commun (Myrtus communis L.) du Maroc*. 1^{er} congrès international de biotechnologie verte, Faculté polydisciplinaire de Taroudant, le 1-3 Novembre 2018.
- R. Faïda, N. Wahid, **J. Aabdousse**, A. Boulli et S. Bouda. *Variabilité des traits morphologique des populations naturelles au Maroc : cas d'Arbutus unedo L.*^{1st} International Congress sous thème : Sustainable Agriculture : Tools And Innovations « AgriNov2021 », 27-30 Octobre 2021, Béni Mellal, Maroc.
- R. Faïda, **J. Aabdousse**, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. *Les populations naturelles d'Arbousier (Arbutus unedo L.) au Maroc : Situation d'usage et perspectives de domestication durable*. 1^{er} Congrès International de Biotechnologie Verte sous thème « La biotechnologie au service d'une agriculture durable », 01-03 Novembre 2018, Université Ibn Zohr, Faculté Polydisciplinaire, Taroudant, Maroc.
- Faïda R., **Aabdousse J.**, Boulli A., Bouda S., Wahid N. 2018. *Natural populations of Arbutus unedo L.: Range and settlement conditions in Morocco*. Second Edition

International Symposium science and Technology at the service of the Environment, Faculté des sciences de Tétouan. Le 23 et 24 Juin 2018;

- Faïda R., **Aabdousse J.**, Boulli A., Bouda S., Wahid N. 2018. ***Ethnobotanical uses of Arbutus (Arbutus unedo L.) in Morocco.*** The American Moroccan Agricultural Sciences Conference IV (AMAS Conference IV), Agropolis Meknès, le 9-11 Mai 2018;
- Faïda R., **Aabdousse J.**, Boulli A., Bouda S., Wahid N. 2018. ***Importance thérapeutique d'Arbousier (Arbutus unedo L.) au Maroc.*** 6^{ème} Edition de l'Ecole Internationale de Recherche, Faculté des sciences d'Agadir. Le 19-21 Avril 2018 ;
- Faïda R., **Aabdousse J.**, Boulli A., Bouda S., Wahid N. 2017. ***Caractérisation préliminaire morphologique et physico-chimique de fruit de l'arbousier de la région de Béni Mellal.*** Le 2^{ème} congrès international : Biotechnologies au service de la société « Biotech2017 ». FST Fès, le 22-25 Novembre.

Résumé

Le myrte commun (*Myrtus communis* L.) est un arbuste typique du bassin méditerranéen d'une grande importance écologique, économique et sociale. Il est réparti d'une manière spontanée sur le pourtour méditerranéen jusqu'au Moyen orient et en Asie. C'est une plante médicinale et aromatique d'une grande réputation entre les générations en raison de ses divers usages. La pression exercée sur ses ressources en biomasse dans l'extraction des huiles essentielles, a abouti au déséquilibre entre son équation offre-demande et devenu parmi les plantes aromatiques et médicinales vulnérables.

L'objectif de ce travail est de déterminer le potentiel d'usage ethnobotanique de cette espèce dans une zone en dehors de son milieu naturel, de définir les conditions écologiques de ses populations naturelles, d'évaluer l'effet écologique sur ses caractéristiques morphologiques et chimiques. Les résultats de la variabilité d'usage, de l'étude phénotypique et chimique en relation aux conditions environnementales de milieu, vont permettre de constituer une base nécessaire pour la domestication et la sélection génétique de cette espèce.

Les résultats obtenus de l'inventaire ethnobotanique ont montré que les feuilles du myrte sont la partie la plus utilisée auprès la population locale de la région Béni Mellal-Khénifra surtout par la catégorie féminine âgée de 40-50 ans dans les usages traditionnels liés aux soins thérapeutiques et cosmétiques. Ce potentiel d'usage de l'espèce est similaire aux autres régions biogéographiques du Maroc. Toutefois, l'étude des conditions écologiques de distribution naturelle du myrte montre qu'il est réparti spontanément dans trois zones biogéographiques (Plateau Central, Pré-Rif et le Rif Occidental). L'étude de la variabilité morphologique et chimique a montré l'existence de l'effet provenance. Ainsi, une variabilité inter et intra-population est démontrée pour les caractères morphologiques, pour le rendement et pour la composition chimique des huiles essentielles. D'autre part, une corrélation significative entre les conditions écologiques et les caractères morphologiques et chimiques des HE a été observée. Ceci révèle la présence d'un potentiel de variation morpho-chimique à exploiter en faveur des tests de domestication et de la sélection génétique durable.

Mots-clés : *Myrtus communis* L., écologie, usage ethnobotanique, variabilité morphologique, huile essentielle, composition chimique.

Abstract

The common myrtle (*Myrtus communis* L.) is a typical Mediterranean shrub of great ecological, economic and social importance. It is distributed spontaneously all over the Mediterranean basin and into the Middle East and Asia. It is an aromatic and medicinal plant with a high reputation across generations due to its various uses. The pressure on its biomass resources for the extraction of essential oils has led to an imbalance in its supply-demand equation and it has become one of the most vulnerable aromatic and medicinal plants.

The purpose of this work is to determine the ethnobotanical use potential of this species in an area outside of its natural environment, to define the ecological conditions of its natural populations, to evaluate the ecological effect on its morphological and chemical characteristics. The results of the variability of use, of the phenotypic and chemical studies in relation to the environmental conditions, can be used as a database for domestication and genetic selection of this species.

The results obtained from the ethnobotanical inventory showed that the leaves of the myrtle are the part most used by the local population of the Beni Mellal-Khénifra region, especially by women aged between 40 and 50, in traditional uses related to therapeutic and cosmetic care. This potential use of the species is similar to other biogeographical regions of Morocco. However, the study of the ecological conditions of natural distribution of myrtle shows that it is spontaneously distributed in three biogeographical zones (Central Plateau, Pre-Rif and the Western Rif). The study of morphological and chemical variability showed the existence of the provenance effect. Thus, inter- and intra-population variability was demonstrated for morphological characteristics, for yield and for the chemical composition of essential oils. On the other hand, a significant correlation between the ecological conditions and the morphological and chemical characteristics of the EOs was observed. This reveals the presence of a potential morpho-chemical variation to be exploited in favor of domestication tests and sustainable genetic selection.

Keywords: *Myrtus communis* L., ecology, ethnobotanical use, morphological variability, essential oil, chemical composition.

تلخيص

الريحان او الأس (*Myrtus communis* L) هو شجيرة نموذجية للبحر الأبيض المتوسط ذات أهمية بيئية واقتصادية واجتماعية كبيرة. تتوزع تلقائيًا على طول محيط البحر الأبيض المتوسط إلى الشرق الأوسط وآسيا. إنه نبات طبي وعطري ذائع الصيت عبر الأجيال بسبب استعمالاته المختلفة. أدى الضغط على موارده من أجل استخراج الزيوت العطرية إلى خلل في معادلة العرض والطلب وأصبح أحد أكثر النباتات العطرية والطبية المهددة.

الهدف من هذا العمل هو تحديد استعمالات هذا النوع في منطقة خارج بيئته الطبيعية، وتحديد الظروف البيئية لساكناته الطبيعية، وتقييم التأثير البيئي على خصائصه المورفولوجية والكيميائية. تسمح نتائج تنوع استعمالاته، وخصائصه المظهرية والكيميائية وارتباطها بالظروف البيئية، بتشكيل قاعدة ضرورية للتدجين والاختيار الجيني لهذا النوع .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الأوراق هي الجزء الأكثر استخدامًا من الريحان من قبل السكان المحليين في جهة بني ملال-خنيفرة، وخاصة من قبل النساء التي تتراوح أعمارهن بين 40-50 سنة، في الاستعمالات التقليدية المتعلقة بالرعاية العلاجية والتجميلية. هذا الاستخدام المحتمل لهذا النوع مشابه لمناطق جغرافية حيوية أخرى. تظهر دراسة الظروف البيئية للتوزيع الطبيعي للريحان أنه يتوزع تلقائيًا في ثلاث مناطق جغرافية حيوية (الهضبة الوسطى، والريف، والريف الغربي). أظهرت دراسة التباين المورفولوجيا والكيميائي وجود تأثير الظروف البيئية على هذه الأخيرة. وايضا، تم إثبات التباين بين الساكنات الطبيعية وداخلها فيما يتعلق بالخصائص المورفولوجية والمحصول والتركيب الكيميائي للزيوت العطرية. من ناحية أخرى، لوحظ وجود ارتباط كبير بين الظروف البيئية والخصائص المورفولوجية والكيميائية للزيوت العطرية. وهذا يكشف عن وجود تباين مورفو-كيميائي محتمل الذي يمكن استغلاله من أجل اختبارات التدجين والاختيار الجيني المستدام.

كلمات البحث:

Myrtus communis L، علم البيئة ، الاستعمال التقليدي، التباين المورفولوجيا ، الزيت العطري ، التركيب الكيميائي.

Liste des abréviations

PAM	: Plantes Aromatiques et Médicinales.
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé.
HE	: Huile essentielle.
SIG	: Système d'Information Géographique.
APGIII	: Angiosperm Plant Group (2009).
T/an	: Tonne/an.
MAD	: Marocain Dirham.
MC	: myrtucommulone.
S-MC	: semimyrtucommulone.
CPG	: Chromatographie en phase gazeuse.
CPG-MS	: Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.
GPS	: Global Positioning System.
CGIAR-CSI:	Consultative Group for International Agricultural Research-Consortium for Spatial Information.
ETP	: Evapotranspiration potentielle.
IA	: Indice d'Aridité.
UNEP	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
Q2	: Quotients pluviothermique d'Emberger.
I_m	: Indice d'aridité de De Martonne.
I_u	: indice d'aridité d'UNEP.
CV	: Coefficient de Variation.
ANOVA	: Analyse Of Variance (Analyse de la Variance)
ACP	: Analyse en Composantes Principales.

Liste des figures

Figure 1 : Dessin analytique de <i>Myrtus communis</i> : (a) Un spécimen, (b) capitule avec fleur, (c) fruit mur, (d) coupe longitudinale de fruit, (e) coupe transversale de fruit.	8
Figure 2 : différentes parties biologiques du myrte : (A) rameux avec fleurs, (B) rameux avec fruits, (C) feuilles, (D) fleurs, (E) fruit, (F) graines.	8
Figure 3 : Montage d'extraction des HE par entraînement à la vapeur d'eau (El haib, 2011).	16
Figure 4 : Montage d'extraction par hydrodistillation (Ochoa Hernandez, 2005).	16
Figure 5 : Répartition des sites prospectés	29
Figure 6 : Distribution des précipitations moyennes annuelles.	34
Figure 7 : Distribution des températures moyennes annuelles.	37
Figure 8 : Distribution des populations naturelles du myrte selon les étages bioclimatiques.	38
Figure 9 : Diagramme pluviothermique d'Emberger.	39
Figure 10 : Distribution des populations naturelles du myrte selon l'indice d'aridité de De Martonne.	40
Figure 11 : Distribution des populations naturelles du myrte selon l'indice d'aridité d'UNEP.	41
Figure 12 : Aire de répartition naturelle de Myrte au Maroc.	48
Figure 13 : Situation géographique de la région d'étude, de découpage administratif et des strates de collecte des données.	49
Figure 14 : Répartition des taux d'utilisation ethnobotanique des PAM commercialisés en fonction des pathologies traitées dans la zone d'étude.	54
Figure 15 : Taux d'utilisation des différentes parties biologiques des PAM par les populations de la zone d'étude.	55
Figure 16 : Pourcentage d'usage ethnobotanique du Myrte commun par rapport aux PAMs locales commercialisées de la zone d'étude.	57
Figure 17 : Usage traditionnel du myrte dans la zone d'étude selon différents traitements thérapeutique et cosmétique.	58
Figure 18 : Usage traditionnel du Myrte dans la zone d'étude selon l'origine de la diffusion de l'information.	59
Figure 19 : Sites d'échantillonnage des populations naturelles de myrte étudiées.	65
Figure 20 : Différentes formes de : (A) feuille, (B) fruit, (C) graines ; (D) outil de mesure de différents traits (pied à coulisse).	69
Figure 21 : Analyse en composantes principales des traits morphologiques mesurés pour 12 populations naturelles de myrte au Maroc.	77
Figure 22 : Classification hiérarchiques des populations naturelles de myrte en utilisant la distance euclidienne basée sur les traits quantitatifs mesurés.	79
Figure 23 : Montage d'hydrodistillation utilisé.	86
Figure 24 : Appareil de chromatographie en phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse.	87
Figure 25 : Rendement en huiles essentielles des provenance étudiées.	89
Figure 26 : Structures chimiques de certains composants des huiles essentielles du myrte.	90
Figure 27 : Analyse en composantes de la variabilité chimique des HE des populations naturelles de myrte étudiée.	99
Figure 28 : Classification hiérarchiques des populations naturelles de myrte en utilisant la distance euclidienne basée sur la composition chimique des HE.	100

Liste des tableaux

Tableau 1: caractéristiques phytochimiques de myrte	12
Tableau 2: Caractéristiques géographiques des zones prospectées du myrte au Maroc.	30
Tableau 3: Conditions bioclimatiques et biogéographiques des sites prospectés	35
Tableau 4: Répartition des climats selon l'indice de De Martonne (I_m) (Mokhtari et al., 2013).	40
Tableau 5 : Présentation du nombre des enquêtés par strate choisi dans la région d'étude	51
Tableau 6 : Les groupes systématiques recensés dans la région d'étude	52
Tableau 7 : Effectif et fréquence des familles de plantes utilisées dans la zone d'étude.	53
Tableau 8 : Potentiel d'usage du Myrte selon les éléments socio-culturels de la zone d'étude.....	56
Tableau 9 : Usages thérapeutique et cosmétique de Myrte dans la zone d'étude.	60
Tableau 10 : Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'échantillonnage et le nombre d'échantillons par population (N).....	66
Tableau 11: Traits morphologiques et pomologiques mesurés pour les populations de myrte du Maroc.	68
Tableau 12 : Caractères quantitatifs mesurés pour l'arbuste et les feuilles. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; coefficient de variation (CV) (%) et la signification de la variation (***, $p < 0,001$).....	71
Tableau 13 : Caractères quantitatifs mesurés pour le fruit et les graines. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; coefficient de variation (CV) (%) et la signification de la variation (***, $p < 0,001$).....	72
Tableau 14 : Fréquences des traits qualitatifs catégorisés en 3-7 classes.....	74
Tableau 15 : Corrélation entre les traits quantitatifs mesurés pour l'arbuste, feuille, fruit et graines. *, significative à $p < 0,05$; **, significative à $p < 0,01$	76
Tableau 16 : Variance totale des traits morphologiques mesurés expliquée par les composantes principales.	78
Tableau 17 : Charges des traits morphologiques sur les trois premiers PC (les plus élevés ($>0,5$ seuil) sont en gras).....	79
Tableau 18 : coefficient de corrélation non paramétrique de Spearman entre les traits morphologiques et les composantes principales et les facteurs environnementaux (longitude, latitude, altitude, précipitations, et température. Les valeurs significatives sont représentées par $P < 0,05$: * ; $P < 0,01$: **	80
Tableau 19 : Statistiques descriptives du rendement des huiles essentielles du myrte.	88
Tableau 20 : Composition chimiques des HE des populations étudiées.	91
Tableau 21 : Statistiques descriptives des composés majoritaires des huiles essentielles du myrte. ...	93
Tableau 22 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur le rendement en huiles essentielles.....	94
Tableau 23 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur la composition chimique des HEs du myrte.....	95
Tableau 24 : Corrélation entre les rendements en HE, composition chimique et les facteurs écologiques.....	97

Sommaire

Avant-propos	III
Résumé	VI
Abstract	VII
تلخيص.....	VIII
Liste des abréviations	IX
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux	XI
Sommaire	XII
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur le <i>Myrtus communis</i> L.	6
1. Description géographique et botanique	6
1.1. Origine géographique et historique	6
1.2. Classification et description botanique.....	6
1.3. Différentes dénominations de myrte	8
2. Usages ethnobotanique et économique de myrte	9
2.1. Activité antibactérienne.....	10
2.2. Activité antifongique.....	11
2.3. Activité anti-inflammatoire	11
2.4. Activité antioxydante	11
3. Caractéristiques phytochimiques de myrte commun.....	11
4. Domestication de myrte.....	12
II. Les huiles essentielles et les facteurs de leur variation quantitative et qualitative	13
1. Définition et généralités	13
2. Répartition et localisation des huiles essentielles.....	13
3. Voies de synthèse des huiles essentielles	14
3.1. Voie des Terpenoïdes	14
3.2. Voie des Phenylpropanoïdes	14
4. Rôles des huiles essentielles chez les plantes.....	14
5. Techniques d'extraction des huiles essentielles	15
5.1. Distillation par entraînement à la vapeur d'eau.....	15
5.1. Hydrodistillation.....	16
5.2. L'expression à froid.....	17
5.3. L'enfleurage	17
5.4. Extraction par des solvants organiques	17

5.5.	Extraction par le CO ₂ supercritique	17
6.	Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles.....	18
7.	Critères de qualité des huiles essentielles.....	18
7.1.	Dénomination botanique	19
7.2.	Conditions de production de la plante	19
7.3.	Partie de la plante utilisée.....	19
7.4.	Précision du chimiotype (ou chémotype)	19
7.5.	Mode d'obtention de l'huile essentielle.....	20
7.6.	Identification et analyses chromatographiques.....	20
8.	Techniques d'analyses des huiles essentielles.....	20
8.1.	Chromatographie en phase gazeuse (CPG)	20
8.2.	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GPC/SM)	21
9.	Les facteurs de variation de la composition et du rendement des huiles essentielles.....	21
9.1.	Facteurs intrinsèques	21
9.2.	Facteurs extrinsèques	22
III.	Les aspects de l'étude de la variabilité génétique.....	22
1.	Notion de la variabilité génétique.....	22
2.	Importance de l'étude de la variabilité génétique.....	23
3.	Les marqueurs utilisés pour l'étude de la variabilité génétique	24
CHAPITRE II : CARACTERISATION ECOLOGIQUE DU MYRTE AU MAROC		
Introduction		27
1. Matériel et méthodes		28
1.1. Aire de répartition biogéographique de l'espèce		28
1.2. Détermination des caractéristiques écologiques.....		31
1.3. Calcul des indices bioclimatiques		31
2. Résultats		33
3. Discussion		42
Conclusion.....		44
CHAPITRE III : ETUDE ETHNOBOTANIQUE DU MYRTE DANS LA REGION BENI MELLAL-KHENIFRA		
Introduction		47
1. Matériel et méthodes		48
1.1. Distribution géographique du myrte commun au Maroc		48
1.2. Zone d'étude		49
1.3. Elaboration d'une fiche questionnaire		50
1.4. Méthodologie d'enquête et d'échantillonnage		50
2. Résultats et discussion.....		51

Conclusion.....	62
CHAPITRE IV : CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES POPULATIONS NATURELLES DU MYRTE	
Introduction	64
1. Matériel et méthodes	65
1.1. <i>Matériel végétal</i>	65
1.2. <i>Étude morphologique</i>	66
1.3. <i>Analyse des données</i>	69
2. Résultat.....	70
3. Discussion	81
Conclusion.....	82
CHAPITRE V : CARACTERISATION CHIMIQUE DES POPULATIONS NATURELLES DU MYRTE	
Introduction	85
1. Matériel et Méthodes.....	85
1.1. <i>Matériel végétal</i>	85
1.2. <i>Extraction des huiles essentielles</i>	85
1.3. <i>Analyse des huiles essentielles par CG/MS</i>	86
1.4. <i>Identification des composés des huiles essentielles</i>	87
1.5. <i>Analyse des données</i>	87
2. Résultats	88
3. Discussion	100
Conclusion.....	105
Conclusion générale	106
Références bibliographiques	109
Annexes.....	126

Introduction générale

Depuis des années, le règne végétal est considéré comme une précieuse source des produits et des substances naturelles de valeur économique et sociale importantes. L'Homme, dès son apparition jusqu'aux civilisations actuelles, a découvert les vertus merveilleuses des plantes et utilisé les plantes pour son bien-être. Il a profité de poison des plantes pour guérir de nombreuses maladies, de leurs arômes pour aromatiser son alimentation, de leurs pigments pour colorer ses habits, etc. Au fil des siècles et même des millénaires, l'Homme a pu faire la distinction entre des plantes toxiques et celles comestibles pour un usage potentiel. En plus de ces usages par l'être humaine, la diversité végétale présente des impacts importants sur les services écosystémiques tels que : le maintien et le fonctionnement des écosystèmes, l'adaptation aux changements climatiques, etc.

Grâce à leurs vertus et leur richesse en molécules bioactives, les plantes médicinales et aromatiques (PAM) occupent une place primordiale dans le quotidien de l'Homme. Elles sont utilisées pour leurs vertus thérapeutiques dans le soin de plusieurs maladies (pharmacopée traditionnelle) (Clement, 2005 ; Gonzalez-Tejero et al., 2008 ; Lahsissene et Kahouadji, 2010 ; Benkhniqne et al., 2011 ; Hachi et al., 2015 ; Daoudi et al., 2015). L'organisation mondiale de la santé (OMS) estime que 80 % de la population des pays en voie de développement ont recours à la médecine traditionnelle pour remédier certains problèmes de la santé (Viens, 2004 ; Salhi et al., 2010). Malgré le progrès au niveau de la recherche pharmacologique et le développement des médicaments de synthèse, les PAM sont considérées comme premier recours thérapeutique dans les traditions médicales chez la population de Maghreb. Mais, l'absence d'un cadre réglementaire qui tient en compte les exigences thérapeutiques sécurisées ne peuvent pas faire de la thérapie traditionnelle un concurrent de la thérapie moderne (Bellakhdar, 2006 ; EL Meskaoui et al., 2008). Ainsi, les PAM sont utilisées en parfumerie industrielle grâce à leur essence odorante et également dans l'agro-alimentaire, c'est le cas de liquoristerie et aromatisation des aliments. En plus de ces usages, les PAM sont utilisées également dans le domaine esthétique et cosmétique (Lardry et Haberkorn, 2007 ; Bouzabata, 2015 ; slimani et al., 2016).

Les produits les plus utilisés dans les PAM, sont les huiles essentielles (HE) qui sont destinées à la phytothérapie et à la recherche de nouvelles molécules dans l'industrie pharmaceutique (Greche, 2007 ; El Meskaoui et al., 2008 ; Benayad, 2013). L'introduction des HE dans le marché international devient de plus en plus un défi pour les opérateurs

économiques en faveur de la recherche et le développement de nouvelles molécules qui peuvent aboutir aux meilleurs valeurs (Greche, 2007 ; El Meskaoui et al., 2008).

Le Maroc, en plus de sa position biogéographique, ses conditions climatiques et édaphiques et sa diversité orographique, dispose d'une richesse et d'une diversité floristique intéressante avec un taux d'endémisme très important notamment en termes de PAM (Rejdali, 1995 ; Aafi et al., 2002 ; Tahri et al., 2011 ; Hachi et al. 2015). Ces caractéristiques offrent à la biodiversité du Maroc une originalité et une valeur patrimoniale mondiale (Dakki, 2004 ; Tahri et al. 2011), ce qui le classe au second rang parmi les pays méditerranéens après la Turquie (Saidi et al., 2007 ; Ghanmi et al., 2011). La population marocaine développe des relations étroites avec les ressources phytogénétiques et un savoir-faire important dans l'utilisation des PAM (Bellakhdar, 1997 ; Scherrer et al., 2005 ; Ennabili et al., 2006 ; Salhi, 2010 ; Bachar et al., 2016). Par ailleurs la production annuelle en PAM au Maroc avoisine les 33.000 tonnes, pour des recettes à l'export estimées à plus de 100 millions d'Euros, ce qui le positionne en 12^{ème} exportateur mondial de ces plantes (Meskaoui et al., 2008 ; Arhinful, 2017). Les PAM jouent un rôle primordial dans l'économie de subsistance des zones rurales et/ou à tendances urbanistiques (Ennabili et al., 2006). L'importance de la demande manifestée vers les années 80 du siècle dernier par certaines industries de transformation nationales ou étrangères a encouragé l'intensification et l'exploitation des PAM spontanées, faisant ainsi du Maroc l'un des grands producteurs des huiles essentielles de certaines PAM (Meskaoui et al., 2008 ; Wahid, 2013 ; Benayad, 2013). Cependant, la très forte pression exercée par la population sur les ressources phytogénétiques est considérée comme une véritable menace d'appauvrissement génétique ou d'extinction de certaines espèces (Hamilton, 2004). Par ailleurs, la comparaison entre la tendance de l'offre des écosystèmes et de la demande socio-économique, montre qu'il y a un déséquilibre dans l'équation offre-demande. Ceci se traduit par la dégradation des écosystèmes suite à la surexploitation des ressources phytogénétiques. Cette dégradation est accentuée par le changement climatique, la dégradation du milieu naturel, l'absence d'accord réglementaire de l'accès, le partage et le transfert des ressources génétiques, l'absence de développement d'une culture à caractère intensif en mesure de satisfaire la demande (Fechtal, 2000 ; Wahid, 2013 ; Wahid et al., 2018). Toutefois, l'établissement des programmes de conservation et d'amélioration des ressources génétique, ne peut que contribuer à la satisfaction des besoins du couple socio-économique (exploitation des ressources phytogénétiques) et écologique (conservation de la diversité génétique). C'est le cas du Myrte commun (*Myrtus communis* L.). En effet, l'écologie et la paramétrisation précise des différentes populations sont

de plus en plus considérées pour les stratégies du programme de la conservation et la valorisation de la diversité génétique. Ceci principalement en raison de l'importance de l'apport écologique malgré la difficulté de rassembler les informations nécessaires sur la répartition biogéographique des populations naturelles. Aussi, les résultats issus de ce contexte sont une base de données essentielle pour évaluer dans quelle mesure une espèce ou une population est menacée. L'étude portée sur l'analyse de l'équation demande et offre du *Myrtus communis* L., a montré qu'il y a une surexploitation à l'état naturel de la biomasse pour l'extraction des Huiles Essentielles (HE) (Wahid, 2013). Cette étude, a révélé que cette espèce contribue le plus à la valeur totale annuelle d'exportation (45 %) des HE extraites des plantes aromatiques et médicinales. Bien que le potentiel de production des HE des populations spontanées du myrte soit important, la production est souvent liée aux aléas climatiques et certaines populations sont menacées de disparition (érosion diversité génétique) sous l'effet conjugué de la pression anthropique et des changements climatiques (Wahid, 2013). Il est donc crucial de s'orienter vers des nouveaux projets inclusifs et des programmes de domestication et de sélection génétique de l'espèce, en vue de répondre aux demandes accrues du marché sans nuire aux besoins des générations futures.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail de recherche qui vise à évaluer le potentiel d'usage de cette espèce en tant que plante médicinale commercialisée en dehors de son milieu naturel, comme ce qui est observé dans la région Béni Mellal-Khénifra. Également, le travail s'articulera sur la détermination de l'aire de répartition naturelle et l'écologie du myrte. En fin, on explorera la variabilité génétique, morphologique et chimique des HE de l'espèce en relation avec ses conditions écologiques où elle prospère.

Pour cela nous avons définie quatre objectifs spécifiques suivants :

- Evaluer le potentiel d'usage du myrte comme plante médicinale commercialisée dans la région Béni Mellal-Khénifra par une enquête ethnobotanique auprès la population locale en faisant une comparaison entre cette plante et les autres PAM commercialisées.
- Définir les conditions biogéographiques de la répartition spontanée du myrte dans le territoire marocain moyennant les indices bioclimatiques en utilisant les outils d'analyse spatiales de SIG.
- Explorer la variabilité génétique du myrte en se basant sur des traits morphologiques en relation avec l'effet de provenance des échantillons étudiés, en vue d'un programme de sélection et de conservation.

- Définir la variation quantitative et qualitative des HE du myrte et la corrélation entre les conditions environnementales et cette variation afin d'évaluer l'effet de provenance sur le rendement et la composition chimique des HE de ladite espèce.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur le *Myrtus communis* L.

1. Description géographique et botanique

1.1. Origine géographique et historique

Le myrte commun (*Myrtus communis* L.) est une plante médicinale originaire généralement d'Europe du Sud-Ouest et du Sud-Est, d'Asie occidentale, d'Afrique du Nord et de Macaronésie. Il est distribué spontanément dans toutes les régions circum-méditerranéennes, puisqu'elle s'étend de Macaronésie (Açores et Madère) à la zone iranotouranienne (montagnes de l'Alborz, du Zagros et région de Kerman en Iran), et même, peut-être, en Asie (en Afghanistan voire au Pakistan) (Prada et Arizpe, 2008 ; Migliore, 2012 ; Wahid, 2013). Il appartient à la famille des Myrtacées qui compte environ 5600 espèces classées en 144 genres et 17 tribus (Migliore, 2011). Le myrte commun est le seul type botanique des myrtacées indigène de pourtour méditerranéen (Migliore, 2011). Le myrte a été mentionné pour la première fois dans la Bible dans Néhémie 8 :15 en ce qui concerne la célébration de la fête des Tabernacles. En 1597, le myrte commun a été introduit à la Grande-Bretagne et il a été décrit par Linnaeus en 1753. Le myrte occupe une place importante dans les écrits de Hippocrate, de Pline, de Dioscoride, de Galien et des écrivains arabes (Stuart, 1994, Sabiha et al., 2011). La grande réputation de myrte dans le bassin méditerranéen est tenue à la mythologie antique, en raison, notamment, de sa consécration à la déesse de l'amour et de la vie (Stuart, 1994, Wahid, 2013).

Depuis la haute antiquité, le myrte occupe une place importante dans toutes les cérémonies de la vie privée que ce soit mariages, funérailles ou toute sorte de festivité. Il a traversé les âges et les civilisations, il est utilisé dans les jardins comme symbole de douceur et d'équilibre, à savoir les jardins arabo-andalous d'Alhambra à Grenade (Patio de los Arrayanes) (Migliore, 2012). Par croyance à ces vertus, le myrte a été utilisé par les civilisations anciennes comme antiseptique, désinfectant, astringent, balsamique, sédatif, expectorant et hémostatique, ainsi qu'il est doté d'un pouvoir de protéger des esprits malin les vivants et les morts en raison de sa réputation comme tonique (Belaiche, 1982 ; Valnet, 1992 ; Wahid, 2013).

1.2. Classification et description botanique

Le *Myrtus communis* est un arbuste typique de bassin méditerranéen appartenant à la huitième plus grande famille de plante à fleurs. Il est classé selon APGIII (2009) et les travaux de Soltis et al. (2011) au sein des clades suivants :

Règne	:	Plantae
Sous-règne	:	Tracheobionta
Embranchement	:	Magnoliophyta
Sous-embranchement	:	Magnoliophytina
Classe	:	Dicotyledonae
Sous-classe	:	Rosidae
Ordre	:	Myrtales
Famille	:	Myrtaceae
Genre	:	<i>Myrtus</i>
Espèce	:	<i>Myrtus communis</i> L.

Le myrte est un phanérophte à feuilles persistantes, arbuste diploïde typique de la flore méditerranéenne ($2n = 2x = 22$) (Messaoud et al., 2011). Il mesure 1 à 3 m de hauteur à rameaux dressés et denses. Il a une tige assez régulière, toujours vert, à écorce rousse, exhalant par toutes ses parties un parfum très frais, fort agréable et des plus estimés. Ces rameaux sont quadrangulaires à légère pubescence les deux premières années (Sabiha et al., 2011 ; Bouzabata, 2015). Il est caractérisé par ses fleurs blanches axillaires sur des pédoncules minces qui apparaissent au début de l'été, de taille moyenne d'environ 2 cm de diamètre, avec ses nombreuses étamines en touffe ébouriffées calice à tube soudé à l'ovaire (Aafi et al., 2002), Les pétales sont d'un blanc pur avec des glandes et le bord un peu tomenteux. Ils dégagent une douce odeur parfumée (Sabiha et al., 2011) (Fig.1 et 2). Les feuilles sont vertes foncées et brillantes, glabres, coriaces, opposées, paires ou verticillées, ovales à lancéolées avec une structure rigide, aromatiques, entières, acuminées et de 2,5-3,8 cm de longueur avec des glandes absentes dans le limbe (Sabiha et al., 2011 ; Messaoud et al., 2011) (Fig. 2). La plante renferme de nombreuses poches sécrétrices surtout au niveau des feuilles, ce qui leurs donne une fragrance lancéolée. Les fruits sortent à l'automne, sous forme de baies à taille d'un pois, orbiculaires ou ovoïdes-ellipsoïdes, bleu-noir ou blanches avec des graines dures en forme de rein. Elles sont de tailles (0,7-1,2 cm) et de formes variables. La baie glabre a une forme arrondie avec une partie centrale gonflée et des restes de calice persistant de 4-5 partitions à la partie externe. Le fruit développé est d'abord vert pâle, puis devient rouge foncé et finalement devient indigo foncé à pleine maturité (Fig. 2). Elles sont amères lorsqu'elles ne sont pas mûres et sucrées lorsqu'elles sont mûres (Sabiha et al., 2011).

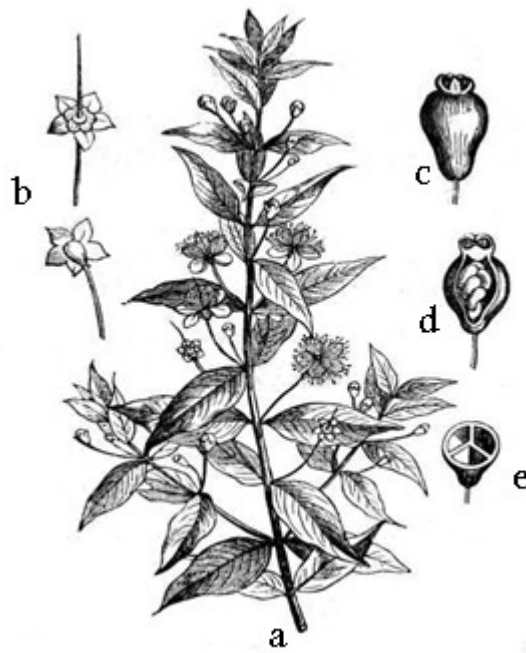


Figure 1 : Dessin analytique de *Myrtus communis* : (a) Un spécimen, (b) capitule avec fleur, (c) fruit mur, (d) coupe longitudinale de fruit, (e) coupe transversale de fruit.



Figure 2 : différentes parties biologiques du myrte : (A) rameux avec fleurs, (B) rameux avec fruits, (C) feuilles, (D) fleurs, (E) fruit, (F) graines.

1.3. Différentes dénominations de myrte

Le myrte commun est connu sous différentes dénominations internationales (Goetz & Ghedira, 2012) :

Français : herbe du lagui, myrte commun.
Anglais : common myrtle, Greek myrtle, myrtle, sweet myrtle.
Allemand : Braut-Myrte, Brautmyrte, Gewöhnliche Myrte.
Néerlandais : Mirt.
Espagnol : arrayán, mirto, murta, murt.
Italien : mirtella, mirto, mortella, mortin.
Arabe : arrayhan الريحان, A'as آس.
Berbère ; Rihan, ريحان

2. Usages ethnobotanique et économique de myrte

En se basant sur différentes études ethnobotaniques du myrte, nous avons répertorié que les différentes parties de la plante (les feuilles, les fruits, les fleurs et les racines) sont utilisées en cosmétologie, en médecine traditionnelle comme remède contre plusieurs maladies ([Sabiha et al., 2011](#) ; [Wahid, 2013](#)).

Par exemple, dans l'ouest de la Turquie, les feuilles sont utilisées en décoction pour traiter les affections de la prostate. Les feuilles et les fruits sont utilisés en décoction pour traiter l'incontinence et les infections de la vessie ([Leto et al., 2013](#)). En Italie, des utilisations traditionnelles du myrte commun sont également rapportées par la préparation de collyre décongestionnant utilisé comme anti-inflammatoire urinaire sous forme de décoction ([De Feo, 1993](#)). En Algérie, les feuilles de *Myrtus communis* L. sont utilisées comme remède contre les affections des voies respiratoires, les otites, les diarrhées et les hémorroïdes. Les fruits constituent un remède contre la dysenterie, l'entérite et les hémorragies. En Tunisie, les fruits du myrte sont utilisés, à l'état frais ou bien en décoction, pour soulager l'ulcère et les douleurs gastriques et pour traiter les gingivites ([Bouzabata, 2015](#)). Au Maroc, parmi l'ensemble de ces usages en médecine traditionnelle, les soins des difficultés gastro-intestinaux et de cheveux comme antichute et démêleur sont les plus fréquents et pratiqués par la plupart des populations des régions du Maroc ([Wahid, 2013](#) ; [Benlamdini et al., 2014](#)). Les feuilles du myrte en décoction, sont indiquées contre les affections des voies urinaires ([Azzouzi et Zidane, 2015](#)). Dans les régions du Nord du Maroc des enquêtes ethnobotaniques réalisées sur le terrain ont signalé que le myrte est utilisé pour le traitement du diabète ([Orch et al., 2015](#)). Dans la région du rif occidental du Maroc, une étude ethnobotanique notait que les habitants utilisent le myrte commun dans différentes préparations sous forme d'infusion, de macération et des cuits pour le traitement des affections oculaires, le soin des cheveux, et contre les affections digestives et

neurologiques (Rhattas *et al.*, 2016). Dans la région du Zaër, les feuilles, en décoction, sont indiquées contre les maux d'estomac, les affections respiratoires, les maladies cardiaques et hépatiques et comme purgatif (Lahsissene *et al.*, 2009). En inhalation, elles sont employées contre la fièvre (Tahri *et al.*, 2012). Le décocté de la plante, mélangé au henné est très utilisé pour noircir et assouplir les cheveux (Bellakhdar, 1997).

Le myrte est considéré parmi les plantes médicinales et aromatiques ayant une valeur économique et écologique très importante aussi bien à l'échelle nationale qu'internationale. Dans les régions méditerranéennes, les vertus médicinales, notamment utilisés comme antiseptique et désinfectant mais également comme balsamiques, les qualités aromatiques et médicinales du myrte, sont exploitées et valorisées en sous-produits finis pour la commercialisation par les industries pharmaceutiques, aromatiques et cosmétiques. En plus, il est exploité par les industries agroalimentaires par la fermentation et la macération des baies pour obtenir de la liqueur et du vin (Barboni, 2010).

Au Maroc, cette espèce est exploitée à l'état naturel pour l'extraction des huiles essentielles et des extraits végétaux (Wahid, 2013). La valeur moyenne des exportations de l'huile essentielle du myrte est de 1,18 Millions de Dirhams pour 12 Tonnes des huiles essentielles, avec une production de 1 à 3 tonnes par an de la plante et une exportation de 1,2 T/an (Wahid, 2013). Les feuilles séchées du myrte sont exportées avec une valeur de 10,57 Milliers de MAD (Aafi, 2012). Actuellement, l'huile essentielle du myrte marocain est lancée sur le marché international et national sous l'appellation myrte à cinéole qui rentre dans l'aromatisation des produits cosmétiques (Satrani *et al.*, 2006).

Le myrte commun, en plus de son utilisation dans l'ornementation grâce à son l'aspect attrayant (Wahid *et al.*, 2016), dans la médecine traditionnelle grâce à ses vertus thérapeutiques et dans l'aromatisant des produits alimentaires, il est prouvé ses usages pharmacologiques et son potentiel biologique à savoir :

2.1. Activité antibactérienne

Les huiles essentielles (HE) de myrte et ces divers extraits ont montré un potentiel antibactérien contre une multitude de souches bactériennes pathogènes à savoir : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas vulgaris*, *Pseudomonas mirabilis*, *Klebsiella aerogenes*, *Salmonella typhi* et *Salmonella Sshigiella* (Sabiha *et al.*, 2011). Les extraits méthanoliques ont montré un effet antibactérien vis-à-vis des souches Gram positive (*Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus agalactiae* et *Listeria monocytogenes*) et des souches

Gram négative (*Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* et *Pseudomonas aeruginosa*) (Mansouri et al., 2001). Les concentrations minimales d'inhibition sont d'environ 2.5 % et 0.01 % (v/v) avec une zone d'inhibition d'environ 14 mm (Deriu et al., 2007).

2.2.Activité antifongique

Les huiles essentielles de myrte montrent un effet antifongique vis-à-vis de certaines souches de champignons tels que *Candida albicans*, *Aspergillus* et *Rhizocotonia Solani*, soit d'une façon isolée ou par synergie en combinaison avec d'autres composés actifs comme l'amphotéricine B avec une dose de 1600 ppm (Sabiha et al., 2011).

2.3.Activité anti-inflammatoire

Le myrte commun est considéré comme un anti-inflammatoire important grâce à la richesse de ses feuilles par La myrtucommulone (MC), la semimyrtucommulone (S-MC) et les acylphloroglucinols non-prénylés qui sont responsables sur la suppression d'eicosanoïdes en inhibant directement la cyclooxygénase et de la 5-lipoxygénase *in vitro* et *in vivo*. La capacité de ces composés dans la suppression de pro-inflammatoires cellulaires leur attribue un rôle thérapeutique dans et ils sont utilisés dans le traitement des maladies liées à l'inflammation et l'allergie (Feisst et al., 2005 ; Sabiha et al., 2011).

2.4.Activité antioxydante

Les extraits méthanolique, éthanolique et aqueux des feuilles et du fruit de myrte ont montré une activité antioxydante significative grâce à un niveau élevé de piégeage des radicaux libres. La richesse de fruit de myrte en flavonoïdes et en anthocyanines a abouti à une capacité de piégeage des radicaux libres très intéressante. Ainsi que les huiles essentielles issues de feuilles ont montré également un niveau de l'activité anti-radicalaires élevé (Hayder et al., 2004 ; Serce et al., 2010 ; Sabiha et al., 2011)

3. Caractéristiques phytochimiques de myrte commun

De point de vue chimique, les différentes parties de la plante de myrte sont riches en huiles essentielles et d'autres composés de composition très variable et complexe. Le tableau suivant (Tableau 1) présent les principaux composés des extraits de myrte :

Tableau 1: caractéristiques phytochimiques de myrte

Familles de composés chimiques	Composés chimiques	Références
Huiles essentielles	α -pinène, 1,8-cinéole), myrténol, linalol, α -terpinéol, limonène, acétate de myrtényl, acétate de bornyl, acétate de linalyl, acétate de géranyl, Methyleugenol, Geraniol	(Bouzabataa et al., 2013), (Berka-Zougali et al., 2012), (Pereira et al., 2009), (Tuberoso et al., 2006), (Aidi Wannas et al., 2009), (Deriu et al., 2007)
Flavonoïdes	Myricétine, myricétine-3-O-arabinoside, myricétine-3-O-galactoside, quercétine 3-O-galactoside, quercétine 3-O-rhamnoside, myricétine-3-O-rhamnoside ou myricitrine, hespérétine-7-O-rhamnoglucoside ou hespéridine, hespérétine-2'-O-méthylchalcone-4'-O-rhamnoglucoside et esculetine-6-O-glucoside ou esculine	(Martín et al., 1999 ; Romani et al., 1999 ; Montoro al., 2006a ; Barboni et al., 2010)
Acides phénols	Acides caféique, quinique, ellagique et gallique ; acide 3,5-di-O-gallate quinique	(Romani et al., 1999 ; Tuberoso et al., 2007 ; Yoshimura et al., 2008 ; Barboni et al., 2010)
Tanins	-Tanins hydrolysables : oenothéine B, eugeniflorine D, tellimagrandines I et II, - Épigallocatechine, épigallocatechine 3-O-gallate, épicatechine 3-O-gallate	(Romani et al., 1999 ; Yoshimura et al., 2008)
Acides gras dans fruit	Acides oléique, palmitique, stéarique, linoléique, palmitique.	(Cakir, 2004 ; Serce, et al., 2010)

4. Domestication de myrte

A cause de la forte demande exercée sur les ressources de myrte et surtout dans l'industrie pharmaceutique et agroalimentaire, de nombreux pays de bassin méditerranéen, d'Amérique du sud, du Nord-Ouest de l'Himalaya, de l'Australie et du Nord-Ouest de l'Inde ont procédé à la culture de myrte commun en exploitant la variabilité génétique des populations afin de produire de nouvelles variétés plus performantes, productives et rentables (Wahid, 2013 ; Sabiha et al., 2011 ; Mulas et al., 2002). Ruffoni et al. (2003) ont conduit des essais de multiplication *in vitro* et d'acclimatation de myrte commun de l'Italie afin de répondre aux besoins ornementaux et de produire des arbustes avec des caractéristiques morphologiques demandés dans la décoration intérieure et dans le jardinage. D'autre part, et dans le but de répondre aux besoins industriels dans la production de liqueur à base de myrte tout en protégeant des ressources naturelles de cette espèce de la surexploitation, la promotion de culture de myrte comme nouvelle plante médicinale et aromatique cultivée en Italie a été mise œuvre dans le but de la sélection des cultivars les plus rentables et adaptatifs et pour une exploitation durable de cette espèce (Mulas

et al., 2002). Par contre, au Maroc aucun programme de domestication ou de cultivation de cette espèce n'a été développé (Wahid, 2013).

II. Les huiles essentielles et les facteurs de leur variation quantitative et qualitative

1. Définition et généralités

Les huiles essentielles sont définies comme étant des substances hydrophobes, volatiles, très complexes et d'une fragrance très forte (Möller, 2008). Ils sont extraits à partir des différentes parties de certaines plantes aromatiques (fleur, feuille, bois, racine, écorce ou fruit), par les méthodes de distillation, enfleurage, expression, solvant ou par d'autres méthodes (Belaiche, 1979 ; Valnet, 1984 ; Wichtl & Anton, 2003). Bruneton (1999), a défini les huiles essentielles (= essences = huiles volatiles) comme « des produits de compositions généralement assez complexes renfermant des principes volatiles contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation ».

L'association française de normalisation (AFNOR, 2000) a défini les HE comme « des produits obtenus à partir de matières naturelles végétales soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des *Citrus*, soit par distillation sèche.

2. Répartition et localisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des produits spécifiques qui n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, les plantes capables d'élaborer les constituants qui composent ces huiles essentielles sont connues sous le nom de plantes aromatiques (Bruneton, 2009). Ces plantes sont réparties dans un nombre limité de familles, telles que : Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Lamiacées, Astéracées, Apiacées, Cupressacées, Poacées, Zingibéracées, Pipéracées, etc. Elles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : les fleurs ou sommités fleuries (oranger, rose, lavande, thym), le bouton floral (girofle), les feuilles (eucalyptus, menthe, laurier, sauge, aiguilles de pin et sapin), les racines (vétiver), rhizomes (gingembre, acore), les fruits (anis, fenouil, badiane), le bois et les écorces (cannelle, santal, bois de rose.) et les graines (noix de muscade, coriandre) (Werker et al., 1993 ; Bruneton, 2009 ; Teuscheur et al., 2005).

Les huiles essentielles sont produites par diverses structures spécialement différenciées dont le nombre et les caractéristiques sont très variables : poches sécrétrices schizogènes (Myrtacées) ou poches sécrétrices schizolyziques (Aurantiacées), des canaux sécréteurs (Conifères et Apiacées), poils sécréteurs (Lamiacées et Astéracées), et cellules sécrétrices

isolées (Lauracées, Magnoliacées et Pipéracées) (Belaiche, 1979; Bruneton, 1999; Ghestem, 2001; Paris & Hurabielle, 1981).

3. Voies de synthèse des huiles essentielles

La biosynthèse des huiles essentielles se fait suivant deux principales voies (Mann, 1987).

3.1. Voie des Terpenoïdes

Le matériau de base est l'IPP (isopentylpyrophosphate), molécule à cinq atomes de carbones. Il dérive de l'Acétyl CoA, lui-même issu du PEP (phosphoenolpyruvate) provenant directement du fructose. La construction des squelettes hydrocarbonés a lieu de la même manière par la juxtaposition "tête à queue" d'unités isopréniques, unités pentacarbonés ramifiées assemblées enzymatiquement. Ainsi on trouve des squelettes hydrocarbonés à dix carbones (monoterpènes), puis à quinze carbones (sesquiterpènes) et plus rarement, à vingt carbones (diterpènes). Le processus peut se poursuivre mais dans d'autres buts que la synthèse des essences (Mann, 1987).

3.2. Voie des Phenylpropanoïdes

La synthèse des huiles essentielles par la voie des phenylpropanoïdes commence par un métabolite du fructose, le PEP (phosphoenolpyruvate). Elle aboutit à un très grand nombre de substances aromatiques, via une série d'acides, dont l'acide shikimique et l'acide cinnamique. Les métabolites terminaux, importants en thérapeutique, sont les acides aromatiques suivants : acides salicylique, cinnamique et benzoïque et leurs esters dont le salicylate de méthyle, les cinnamates, les benzoates, certains phénols (eugénol) ainsi que les coumarines, etc (Wright, 1961).

4. Rôles des huiles essentielles chez les plantes

Les huiles essentielles occupent une place très importante au sein du règne végétale. Elaborées à partir du métabolisme primaire des végétaux, elles appartiennent aux composés du métabolisme dit secondaire (Couic-Marinier, 2013 ; Millet, 2015 ; Roulier, 1990). Ceux-ci possèdent plusieurs champs d'action chez les végétaux à savoir :

- Communication intra-végétale : molécules jouant le rôle de signal d'alerte envoyé vers les différentes parties de l'organisme végétal, ou molécule ayant un effet sur la régulation de la croissance végétale ;

- Communication inter-végétale : signaux d'avertissement des espèces environnantes en cas de menace ;
- Composés de défense vis-à-vis des prédateurs animaux ou microscopiques (fongiques, viraux, bactériens) : c'est le principal rôle des phénols ;
- Composés permettant d'attirer les insectes pollinisateurs, etc.

5. Techniques d'extraction des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes pour extraire les huiles essentielles. Les principales sont basées sur l'entraînement à la vapeur, l'expression, la solubilité et la volatilité. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, de l'usage de l'extrait et l'arôme du départ au cours de l'extraction ([Samate, 2002](#)). Parmi ces méthodes on distingue :

5.1. Distillation par entraînement à la vapeur d'eau

La distillation par entraînement à la vapeur est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles. Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est placé dans l'alambic sur une plaque perforée située à une certaine distance au-dessus du fond rempli d'eau (Fig. 3). Le végétal est en contact avec la vapeur d'eau saturée mais pas avec l'eau bouillante. La vapeur provoque la rupture d'un grand nombre de glandes qui libèrent leurs composés aromatiques. Les huiles essentielles diffusent donc à travers le végétal pour entrer en contact avec la vapeur d'eau circulant à l'extérieur. Les vapeurs chargées en composés volatiles sont ensuite condensées avant d'être décantées. Du fait de leur différence de densité, les HE et l'eau sont séparées en deux phases et les HE sont ensuite récupérées. Cette technique permet d'éviter des réactions lors du contact des constituants des huiles essentielles avec l'eau conduisant à des changements dans la composition finale de l'extrait. En outre, elle agit mieux avec les huiles essentielles contenues dans les glandes situées à la surface du végétal. La distillation à la vapeur des huiles essentielles non superficielles est plus longue et exige plus de vapeur que celle des HE superficielles ([Mnayer, 2014](#)).

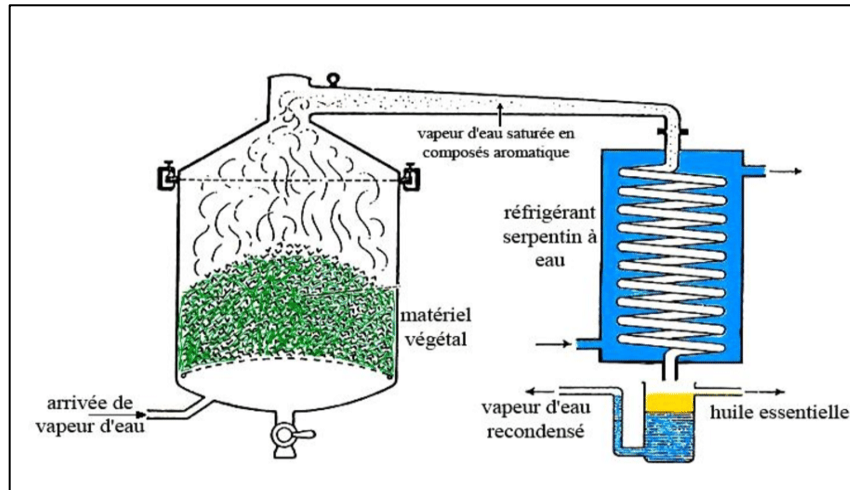


Figure 3 : Montage d'extraction des HE par entraînement à la vapeur d'eau (El haib, 2011).

5.1. Hydrodistillation

Il s'agit de la méthode la plus simple et de ce fait la plus anciennement utilisée. Le procédé consiste à immerger la matière végétale directement dans un ballon lors d'une extraction au laboratoire ou dans un alambic industriel rempli d'eau placé sur une source de chaleur, le tout est ensuite porté à l'ébullition (Fig. 4). Les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et l'HE se sépare de l'hydrolat par simple différence de densité. L'HE étant plus légère que l'eau, elle surnage au-dessus de l'hydrolat. Cependant, l'hydrodistillation possède des limites. En effet, un chauffage prolongé et trop puissant engendre la dégradation de certaines molécules aromatiques (Lucchesi, 2005).

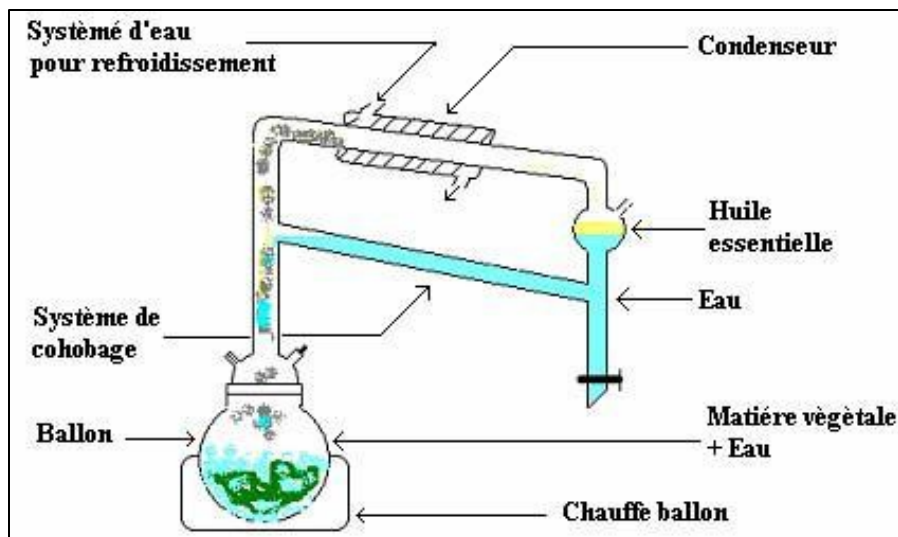


Figure 4 : Montage d'extraction par hydrodistillation (Ochoa Hernandez, 2005).

5.2. L'expression à froid

L'expression à froid est une extraction sans chauffage réservée aux agrumes dont l'écorce des fruits comporte des poches sécrétrices d'essences. Ce procédé consiste à broyer, à l'aide de presses, les zestes frais pour détruire les poches afin de libérer l'essence. Le produit ainsi obtenu porte le nom d'essence, car il n'a subi aucune modification chimique (Abbes, 2014).

5.3. L'enfleurage

Le procédé met à profit la liposolubilité des composantes odorantes des végétaux dans les corps gras. Il consiste à déposer des pétales de fleurs fraîches sur des plaques de verre recouvertes de minces couches de graisse, ces dernières ayant une forte affinité avec les composés odorants. Les pétales sont éliminés et remplacés par des pétales fraîches jusqu'à saturation du corps gras. On épuise ce corps gras par un solvant que l'on évapore ensuite sous vide. Cette méthode peut être réalisée à froid ou à chaud, et on obtient ainsi des absolues de pommade (Labioud, 2016 ; Lamamra, 2008).

5.4. Extraction par des solvants organiques

Cette méthode est utilisée pour les organes végétaux présentant une concentration en essence relativement faible ou pour les essences que l'on ne peut extraire par distillation. Etant de nature huileuse, les essences sont solubles dans les solvants organiques. Un épuisement des plantes est effectué à l'aide d'un solvant volatil dont l'évaporation laisse un résidu cireux, très coloré et très aromatique appelé « concrète ». Le traitement de cette concrète par l'alcool absolu conduit à « l'absolue » (Belaiche, 1979 ; Duraffourd & Lapraz, 1990). On utilise comme solvant organique volatile l'hexane, qui est le plus utilisé actuellement ; le benzène très utilisé dans le passé mais interdit pour des raisons de toxicité ; le propane ; le toluène, etc. (Lakhdar, 2015).

5.5. Extraction par le CO₂ supercritique

L'originalité de cette technique d'extraction réside dans le type de solvant employé : le CO₂ supercritique. Au-delà du point critique (P = 73,8 bars et T = 31,1 °C), le CO₂ possède des propriétés intermédiaires entre celles des liquides et celles des gaz ce qui lui confère un bon pouvoir d'extraction, qui est plus facilement modulable en jouant sur les conditions de température et de pression. Cette technique présente énormément d'avantages. Tout d'abord, le CO₂ supercritique est un solvant idéal puisqu'il est naturel, inerte chimiquement, ininflammable, non toxique, sélectif, aisément disponible et peu coûteux. De plus, il s'élimine facilement de l'extrait sans laisser de résidus. Outre ces avantages, le principal point fort est la qualité irréprochable de l'extrait puisqu'aucun réarrangement ne s'opère lors du processus. Son

unique point faible est le coût très élevé de son installation ([Reverchon et De Marco, 2006](#) ; [Gomes et al., 2007](#))

6. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont douées des propriétés physiques qui leur permettent d'être liquides à température ambiante mais aussi volatiles. Ces caractéristiques les rendent plus différentes aux huiles dites fixes. Elles sont liposolubles et solubles dans les solvants organiques usuels ainsi que dans l'alcool, entraînaient à la vapeur d'eau mais très peu solubles dans l'eau ([AFSSAPS, 2008](#) ; [Lakhdar, 2015](#)). Elles présentent une densité en général inférieure à celle de l'eau et un indice de réfraction élevé. Elles sont pour la plupart colorées : ex : rougeâtre pour les huiles de cannelle et une variété de thym, jaune pâle pour les huiles de sauge sclérée et de romarin officinal. Elles sont photosensibles, altérables et sensibles à l'oxydation. Par conséquent, leur conservation nécessite de l'obscurité et de l'humidité, ce qui exige l'utilisation de flacons en verre opaque ([Couic-Marinier et Lobstein, 2013](#)).

Sur le plan chimique, les HE sont des mélanges de structure extrêmement complexes appartenant à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés de phénylpropane, pouvant contenir plus de 300 composés différents. Ces substances sont des molécules très volatiles appartenant pour la grande majorité à la famille des terpènes comme les monoterpènes (myrcène, β -pinène, γ -terpinène) et les sesquiterpènes (β -caryophyllène, α -humulène, β -bisabolène) ([Croteau et al, 2000](#)).

7. Critères de qualité des huiles essentielles

L'importance des HE dans le marché (industrie pharmaceutique, parfumerie, cosmétique, etc.) exige une qualité depuis la production jusqu'à la consommation. Cette exigence impose l'établissement des normes de qualité des HE comme tous produits destinés à la consommation. Ces normes doivent être élaborées en considérant la santé et la sécurité des produits à base de ces huiles, ainsi pour se prémunir à toute falsification. Dans cet objectif, l'AFNOR a mis en place certains critères de qualité des HE en prenant en considération des caractéristiques physico-chimiques et la composition chimique ([AFNOR, 2000](#)) dont on peut ajouter les caractéristiques organoleptiques telles que l'aspect, la couleur et l'odeur. Il existe un grand nombre d'étapes, menant de la plante jusqu'à l'utilisation de l'huile essentielle, susceptibles

d'être à l'origine d'une modification de sa qualité. Produire une huile essentielle de qualité n'est donc pas une chose aisée.

Parmi les critères de qualité des huiles essentielles nous citons :

7.1. Dénomination botanique

L'origine végétale du produit doit être définie avec précision par la dénomination scientifique botanique selon les règles. Il s'agit du nom latin complet de la plante à l'origine de l'huile essentielle, il y a plusieurs espèces dont on extrait des huiles essentielles différentes. Le nom complet sera composé par le genre et l'épithète scientifique (Bego, 2003 ; Couic-Marinier et Lobstein, 2013)

7.2. Conditions de production de la plante

Les matières premières végétales sont obtenues à partir de plantes d'origine spontanée ou de plantes cultivées, ces dernières pouvant être issues de semis ou de bouturage. Ainsi les conditions de culture, de récolte, de séchage, de fragmentation, de stockage ont une action déterminante sur la qualité des végétaux. Les matières premières végétales sont, dans la mesure du possible, exemptes d'impuretés telles que la terre, la poussière, les souillures, ainsi que les infections fongiques ou une contamination animale. Elles ne présentent pas de signe de pourriture ou d'endommagement (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

7.3. Partie de la plante utilisée

Les HE peuvent être accumulées dans tous les types d'organes végétaux les fleurs, les feuilles, bien que cela soit moins habituel, dans les écorces, les bois, les racines, les rhizomes, les fruits secs, ou les graines. Par conséquent, la partie distillée de la plante peut agir sur la qualité physico-chimique de l'huile essentielle et par la suite, elle aboutit à des propriétés et usages différents (Bego, 2003).

7.4. Précision du chimiotype (ou chémotype)

Pour une même espèce botanique, il peut exister plusieurs races chimiques ou chimiotypes qui trouvent leur origine dans de légères différences des voies de biosynthèse, aboutissant à l'accumulation de métabolites secondaires différents. Il s'agit de composant biochimique majoritaire et distinctif présent dans l'huile essentielle. Il permet ainsi de différencier entre les huiles essentielles extraites d'une même espèce botanique mais de composition biochimique différente et par conséquent aux propriétés différentes (Marinier et Lobstein, 2013 ; Lakhdar, 2015)

7.5. Mode d'obtention de l'huile essentielle

Le choix de la technique dépend principalement de la matière première : son état originel et ses caractéristiques, sa nature proprement dite.

7.6. Identification et analyses chromatographiques

L'analyse des HE, l'identification des constituants, la recherche d'éventuelles falsifications peuvent se faire à l'aide de techniques telles que la chromatographie en phase gazeuse sur phases stationnaires polaires, apolaires, couplée avec une détection par spectrométrie de masse.

8. Techniques d'analyses des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont considérées comme une matière première destinée à divers secteurs d'activités tels que la parfumerie, la cosmétique, l'industrie pharmaceutique et de l'agroalimentaire, d'où la connaissance de la composition chimique reste une étape importante et nécessaire.

L'analyse quantitative et qualitative des huiles essentielles fait appel à plusieurs techniques et méthodes. Parmi ces méthodes nous parlons sur les méthodes micro-analytiques qui permettent l'identification et le dosage des produits même à l'état de traces. Ces méthodes consistent en l'utilisation des techniques de séparation et d'analyse des structures chimiques.

8.1. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Elle s'applique à des échantillons gazeux ou susceptibles d'être vaporisés sans décomposition dans l'injecteur. C'est de loin la technique la plus utilisée pour les huiles essentielles. La phase mobile est un gaz (hélium, azote, argon ou hydrogène), appelé gaz vecteur. Le principe de la chromatographie en phase gazeuse basé sur la séparation des différents solutés gazeux par migration différentielle le long de la phase stationnaire. Si la phase stationnaire est un liquide non ou peu volatile, possédant des propriétés de solvant vis-à-vis des composés à séparer, on parle de chromatographie gaz-liquide ou chromatographie de partage. Si la phase stationnaire est un solide absorbant (silice, alumine...), on parle de chromatographie gaz-solide ou chromatographie d'adsorption (Audigié et al., 1998).

Cette méthode ne peut suffire à une bonne identification, sans l'apport du couplage entre la CPG et une technique d'identification spectroscopique, en général la spectrométrie de masse (CPG-SM). La combinaison en ligne de la chromatographie en phase gazeuse à la

spectrométrie de masse ou CPG-SM permet la détermination de la nature des constituants des mélanges (Herzi, 2013).

8.2. Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GPC/SM)

Si la chromatographie permet à elle seule de séparer correctement les différents constituants d'un mélange, il est néanmoins délicat de se livrer à une interprétation structurale permettant une identification certaine, car les paramètres déduits de la rétention sélective des solutés au travers de la colonne sont souvent lourds à manier et, dans la plupart des cas, peu reliés aux édifices moléculaires organiques. L'idée de coupler une autre méthode physique d'investigation après séparation chromatographique, dans le but d'ajouter à la chromatographie une deuxième dimension analytique, s'est concrétisée dès 1960 dans la combinaison entre la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse CPG-SM (Maack & Sablier, 1994; Desjobert et al., 1997; Paolini, 2005).

Le principe de cette méthode consiste à transférer par le gaz vecteur (phase mobile) les composés séparés par chromatographie en phase gazeuse dans le spectromètre de masse au niveau duquel, ils vont être fragmentés en ions de masse variables dont la séparation sera en fonction de leur masse. La comparaison informatique du spectre d'un pic inconnu avec une ou plusieurs bibliothèques de référence permet son identification à condition que la similitude des spectres, inconnus et références, soit suffisante et que les indices de rétention soient identiques, dans des conditions opératoires comparables (Desjobert et al, 1997).

9. Les facteurs de variation de la composition et du rendement des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent une très grande variabilité, tant au niveau de leur composition, qu'au plan du rendement des plantes d'origine. Cette variabilité est fondamentale car les activités biologiques qui découlent des HE peuvent être très différentes (Bruneton, 1999; Lamamra, 2018). Cette variabilité peut s'expliquer aussi par différents facteurs d'origine intrinsèque ou extrinsèque.

9.1. Facteurs intrinsèques

Une huile essentielle doit avant toute autre chose être rapportée au matériel botanique d'où elle est issue pour éviter toutes dénominations trompeuses du matériel végétal (Bruneton, 2009). L'influence du stade végétatif, l'organe de la plante, les hybridations, les facteurs de mutation, la polyploïdie et le polymorphisme chimique « chimiotypes ou formes

physiologiques » sont les principaux facteurs intrinsèques qui influencent la composition et le rendement des huiles essentielles (Bruneton, 2009; Teuscheur et al., 2005; Garnero, 1996; Stefanini et al., 2006).

9.2. Facteurs extrinsèques

Les conditions environnementales influencent aussi la composition et le rendement des huiles essentielles. La température, la quantité de lumière, la pluviométrie et les conditions édaphiques représentent autant de causes potentielles de variations de la composition chimique d'une plante aromatique donnée (Abu-Darwish & Abu-Dieyh, 2009; Bruneton, 2009).

Il n'y a pas eu mal des travaux ayant mis en évidence l'influence de l'origine géographique de la matière première ou bien la provenance, les conditions culturelles telles que la date de semis, la date de récolte, les traitements phytosanitaires, l'emploi d'engrais, ainsi que les techniques de récolte influencent aussi la composition et le rendement des huiles essentielles (Ghanmi et al, 2010; Khia et al., 2014; Lahlou, 2004; Mohammedi, 2006; Stefanini et al., 2006).

La méthode d'extraction influe aussi sur la composition et le rendement des huiles essentielles. Il faut aussi signaler que le stockage et le séchage des matières premières avant l'extraction peut également influencer la composition et le rendement des huiles essentielles (Bouguerra, 2011; Goudjil et al., 2015).

III. Les aspects de l'étude de la variabilité génétique

1. Notion de la variabilité génétique

La diversité génétique est la base fondamentale de toute diversité biologique. Quand on parle de la biodiversité, on pense principalement à la diversité des espèces, mais il existe également une importante variabilité génétique au sein de chacune des espèces, entre différentes populations, et entre les individus d'une même population (Lefèvre, 1997 ; Lefèvre et al., 2013a). Des travaux antérieurs ont révélé que les traits héréditaires d'une seule essence peuvent également influencer la structure communautaire, ainsi que les processus écosystémiques forestiers (Whitham et al., 2006). Cette variabilité génétique ce n'est que l'expression de la diversité génétique des gènes en différenciation morphologique ou biochimiques des métabolismes secondaires. En effet, la variabilité génétique est liée au polymorphisme phénotypique d'une espèce suite aux variations continues où de nombreux gènes peuvent y être impliqués. Cette diversité des gènes qui s'implique dans l'expression phénotypique est dite par contre diversité génétique.

Ainsi, la diversité génétique est définie par le niveau de similarité ou de différence dans la composition génétique et morpho-chimique des individus, des populations et des espèces. Elle peut donc se mesurer à différents niveaux : de l'individu à la communauté. Cette diversité génétique est la résultante de la sélection, la mutation, la migration, la dérive génétique et la recombinaison. Tous ces phénomènes provoquent des changements dans les fréquences de gènes et d'allèles, conduisant à l'évolution des populations. En plus, elle est liée aux facteurs environnementaux tels que les variations géographiques. Cette variation est la résultante d'un équilibre entre des forces tendant à créer une divergence entre populations et celles tendant à produire une homogénéité génétique. Les forces créant une divergence génétique sont la mutation, la dérive, due à des tailles de populations finies, et la sélection naturelle en favorisant une adaptation locale. Les forces créant une homogénéisation sont les mouvements de gamètes ou d'individus (dispersion), qui contribuent aux flux de gènes entre populations, et la sélection qui favorise une plus forte diversité intra-population (cas de la sélection balancée). De nombreux indices et estimateurs de la diversité génétique ont été développés pour la quantifier. Certains de ces indices permettent d'obtenir une mesure de la structure géographique d'une espèce (Lefèvre, 2004).

2. Importance de l'étude de la variabilité génétique

La variabilité génétique est extrêmement importante car elle représente le matériel de base sur lequel peut agir la sélection. Elle peut représenter un avantage direct pour l'amélioration génétique d'une population d'une espèce. La valeur adaptative d'un caractère étant généralement supérieure pour un gène présentant plusieurs états alléliques (hétérozygotie) ou pour une population formée d'individus différents et complémentaires. Elle peut de plus se concevoir comme une assurance permettant l'adaptation aux nouvelles conditions environnementales. Plus une population ou une espèce est diversifiée génétiquement, plus certains de ses membres arriveront à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement (Duminil, 2006). La variabilité génétique des populations naturelles est la matière de base à exploiter pour faire face aux changements climatiques imprévisibles, établir un programme d'amélioration génétique et/ ou la conservation des ressources génétiques. Le choix des caractères considérés, tel que les caractères morphologiques, les huiles essentielles ou les principes actifs (composés secondaires), implique une réflexion approfondie du sélectionneur sur la structure de la variabilité génétique présente et futur, et par la suite le choix de nouvelles populations améliorées (Lefort-Buson & Damerval, 1998 ; Aitken et al., 2008 ; Wahid, 2013 ; Lefèvre et al., 2014). Alors que la sauvegarde et la gestion des populations dans

leurs milieux naturels impliquent une connaissance approfondie des processus évolutifs associés à la structure et la diversité génétique des populations.

La diversité génétique peut se mesurer de différentes manières. Au sein des essences d'arbres et de leurs populations, la variation phénotypique possède une composante génétique et une composante environnementale. S'il est facile d'observer la variation phénotypique, il est plus difficile de quantifier ces deux composantes. En gestion forestière, les tests de provenance sont employés depuis longtemps pour distinguer la composante génétique de la composante environnementale, ainsi que pour analyser la variation génétique des traits quantitatifs liés à la croissance (l'augmentation du diamètre, par exemple), à la physiologie (l'efficacité de l'utilisation des nutriments ou de l'eau, entre autres) et à la phénologie (le bourgeonnement, par exemple). La variation de ces traits reflète le résultat des processus adaptatifs, tandis que les analyses en laboratoire, effectuées à l'aide de différents marqueurs moléculaires, révèlent principalement des processus historiques et démographiques. Toutefois, les évolutions récentes en génomique des essences forestières fournissent des outils permettant de relier la diversité génétique au niveau moléculaire, ou même des gènes individuels, aux traits adaptatifs (Neale & Kremer, 2011).

Les tests de provenance ont également révélé que la plupart des essences forestières présentent une forte plasticité phénotypique, c'est-à-dire qu'une espèce peut présenter une grande variation de son phénotype dans des environnements différents (Koskela & Lefèvre, 2013). La plasticité phénotypique est le moteur du processus d'acclimatation, qui peut altérer aussi bien les caractéristiques physiologiques que morphologiques des arbres (Wagner et al., 1996). Tandis que la variation génétique permet à une essence d'exister au sein d'un vaste spectre de conditions environnementales, la plasticité phénotypique détermine l'éventail d'environnements où les provenances ou les génotypes sélectionnés peuvent pousser. La plasticité phénotypique, qui varie également parmi les populations d'arbres, fait partie de la réponse au changement climatique et peut interférer avec les processus d'évolution (Nicotra et al., 2010).

3. Les marqueurs utilisés pour l'étude de la variabilité génétique

La variabilité génétique ou phénotypique est mesurée généralement à l'aide des caractères biométriques, écophysologiques, et biochimiques. Ce type de mesures sont connus depuis les années 1920 et ils ont été largement utilisés en amélioration des plantes (Chambel et al., 2005).

Le choix de ces caractères, leur nombre et leur nature pose un certain nombre de question auxquelles seul le sélectionneur, confronté à des objectifs précis, peut répondre. Ce choix, quoique délicat, conditionne assez souvent la signification de la variation génétique révélée.

[Ferrahi \(1990\)](#) révélait que parmi les principaux caractères biométriques qui peuvent renseigner sur le niveau de variabilité génétique on peut citer :

- les mesures morphologiques : longueur, largeur ou épaisseur concernant les graines, aiguilles, les feuilles, les fruits, etc. ;

- les mesures biochimiques : huiles essentielles, protéines, iso-enzymes, polyphénols, flavonoïdes, etc.

- les mesures portant sur le semis : nombre de cotylédons, longueur de la tige, phénologie et organisation des bourgeons, etc. ;

- le pourcentage de germination ;

- les marqueurs moléculaires

Toutefois, ces marqueurs présentent de nombreuses limitations dans leurs applications, surtout au niveau de l'appréciation de la diversité génétiques dans le cadre des schémas de la sélection, en particulier, les effets environnementaux qui atténuent l'efficacité de cette dernière (épigénétique), ainsi qu'ils sont de nombre limité. En revanche, il y a des approches de la génétique quantitative qui permettent d'estimer la variabilité génétique et leur stabilité génétique à savoir : les essais en champ de comparaison de provenances et de descendances, et les tests sur les familles améliorées génétiquement ([Chevallier et Borgel, 2001](#)).

CHAPITRE II :
CARACTERISATION ECOLOGIQUE DU
MYRTE AU MAROC

Introduction

L'identification des limites biogéographiques d'une espèce est essentielle en matière de conservation mais aussi pour toutes les études biologiques quel que soit leur but (Serra-varela et al., 2017). Des frontières d'espèces erronées peuvent conduire à une élaboration incorrecte des stratégies à des fins de conservation. La répartition biogéographique de la végétation dans le globe terrestre est sans doute corrélée à l'écologie ; en particulier au climat et ces caractéristiques (Mokhtari et al., 2013 ; Morecroft et Keith, 2016). Ainsi, la variabilité biogéographique et écologique permet d'étudier les mécanismes d'adaptation développés par les végétaux aux différentes combinaisons des facteurs écologiques (Hull et al., 2018).

Dans les dernières décennies, plusieurs changements ont été observés sur le degré d'adaptation physiologique des plantes qui sont due à l'augmentation des températures (Serra-varela et al., 2017 ; Morecroft et Keith, 2016). Les changements ont été enregistrés également au niveau des événements saisonniers, tels que le feuillage et la floraison qui se produisent parfois plus tôt au printemps. Les changements dans les régimes de précipitations sont plus difficiles à attribuer aux changements climatiques et plus difficiles à prévoir dans l'avenir, mais ils pourraient entraîner des changements écologiques majeurs (Morecroft et Keith, 2016). Par conséquent, la composition des peuplements et la diversité intraspécifique iraient également changer pour s'adapter aux changements climatiques (Serra-varela et al., 2017). Autrement les facteurs écologiques et génétiques qui déterminent l'adaptation des plantes aux conditions environnementales revêtent un intérêt fondamental pour la biologie de l'évolution, mais aussi pour la sélection et la conservation des plantes et pour la prédiction de la réponse aux changements environnementaux. Par ailleurs, connaître les conditions écologiques d'une espèce est une base de données en faveur des stratégies de conservation dynamiques qui favorisent leur capacité à évoluer en même temps que les modifications des conditions environnementales (Levin, 1992 ; 1996).

En raison de son climat et sa géologie, le Maroc peut être considérée comme une importante zone d'intérêt biogéographique et écologique remarquable (Mokhtari et al., 2013 ; Aafi et al., 2002). Il est caractérisé par une grande diversité phytogénétique chez des plantes aromatiques et médicinales (PAM) (Aafi et al., 2002). Parmi ces ressources, on compte le myrte (*Myrtus communis* L.) (Sabiha et al., 2011).

Au Maroc, l'écologie et la paramétrisation précise des différentes populations sont de plus en plus considérées pour les stratégies du programme de la conservation et la valorisation

de la diversité génétique. Ceci principalement en raison de l'importance de l'apport écologique malgré la difficulté de rassembler les informations nécessaires sur la répartition biogéographique des populations naturelles. Aussi, les résultats issus de ce contexte sont une base de données essentielle pour évaluer dans quelle mesure une espèce ou une population est menacée.

Le présent travail a pour objectif de déterminer l'aire biogéographique, les conditions bioclimatiques où prospèrent les populations du myrte au Maroc ainsi que leurs positions dans le climagramme d'Emberger et vis-à-vis certains indices bioclimatiques.

1. Matériel et méthodes

1.1. Aire de répartition biogéographique de l'espèce

La prospection et la détermination de l'aire de distribution du *Myrtus communis* L. dans les différentes régions biogéographiques au Maroc a été effectué on se basant sur les travaux menés par Wahid et al. (2018) qui ont répertorié treize populations. Dans le but d'élargir la zone d'étude pour couvrir toutes les zones biogéographiques au Maroc, nous avons organisé une série de missions de prospection sur le terrain durant l'année de 2018 en se basant sur les informations obtenues à partir des registres de présence inclus dans le « Global Biodiversity Information Facility » (<http://www.gbif.org>) avec une résolution de 30 arc seconde, la recherche bibliographique, les population riveraines et les services compétents (services des Eaux et forêts et la lutte contre la désertification). Ainsi, nous avons localisé au total, 17 populations naturelles répartis sur 3 zones biogéographiques distinctes (Fig. 12, Tableau 7). L'altitude des sites de ces 17 populations naturelles du myrte est mesurée sur le lieu à l'aide d'un GPS (Garmin GPSMAP 62S).

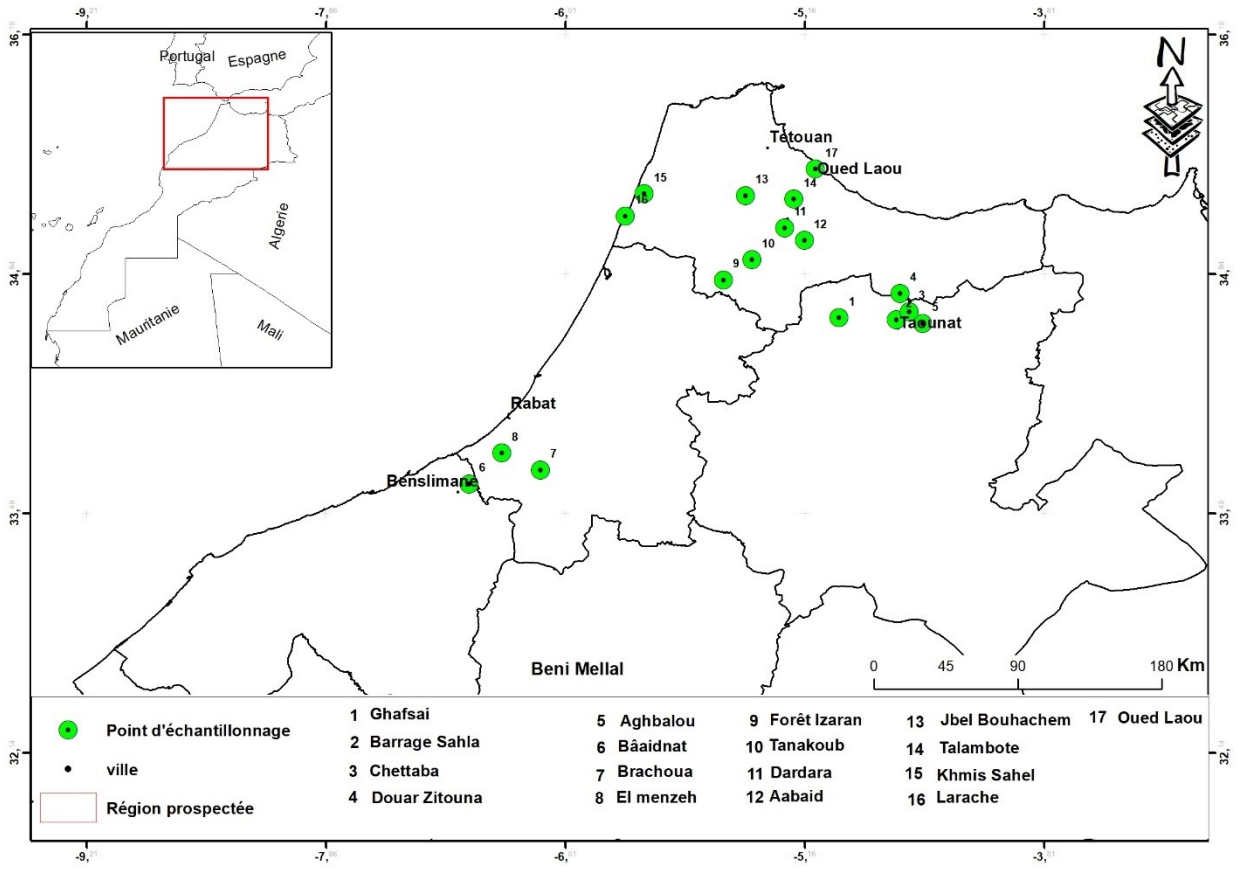


Figure 5 : Répartition des sites prospectés de myrte au Maroc

Tableau 2: Caractéristiques géographiques des zones prospectées du myrte au Maroc.

Code	Région administratif	Provinces	Cercles	Caïdats	Communes	Structures géomorphologiques	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	Fès-Meknès	Taounate	Ghafsai	Ourtzagh	Ghafsai	Pré-rif	04°57' 59.5"W	34°35' 39.8"N	441
2			Taounate	Sahla	Barrage sahla		04°38' 37.7"W	34°35' 02.1"N	460
3			Bouhouda	Zrizer	Chettaba		04°34' 17.4"W	34°37' 46.8"N	380
4			Taounate	Ikawen	Douar zitouna		04°37' 19.8"W	34°43' 53.4"N	475
5			Taounate	Béni wlid	Aghbalou		04°29' 47.1"W	34°33' 47.6"N	439
6	Casablanca-Settat	Benslimane	Aïn Tizgha	Ziaïda	Bâaidnat	Plateau central	07°02' 59.7"W	33°39' 28.4"N	275
7	Rabat-Salé-Zâer	Romani	Had Brachoua	Kourifla	Kourifla		06°51' 57.2"W	33°49' 57.7"N	220
8		Temara	Temara	El Menzeh	El Menzeh		06°38' 52.9"W	33°44' 10.8"N	332
9	Tanger-Tétouan-Al Hoceïma	Ouazzane	Ouazzane	Ouazzane	Forêt Izaran	Rif Occidental/Nord	05°37' 06"W	34°48' 29.0"N	411
10		Chefchaoune	Bouhachem	Tanakoub	Parc Bouhachem		05°27'27.9"W	34°55'25.6"N	285
11			Bab Taza	Dardara	Centre Ikejioun		05°16'23"W	35°06'11"N	450
12			Bab Taza	Béni Ahmed	Aabaïd		05°09'43"W	35°01'48"N	745
13			Al Hamra	Moulay Abdessalam	Jbel Bouhachem		05°29'33,93"W	35°16'58,94"N	1121
14			Chefchaoune	Talambote	Talambote		05°13'10,98"W	35°16'1,12"N	350
15		Larach	Khmis Sahel	Khmis Sahel	Mezgalef		06°3'43,36"W	35°17'50,34"N	530
16			Larach	Larach	Larach		06°10'12.9"W	35°10'02.6"N	518
17		Tétouan	Oued Laou	Oued Laou	Béni said		05°05'24,53"W	35°23'38.50"N	450

1.2.Détermination des caractéristiques écologiques

La caractérisation de climat, de l'étage bioclimatique et l'étage de végétation où prospèrent les populations du myrte au Maroc ont été extrait à partir des deux bases de données sous forme de couches différentes destinées à l'analyse sous un système d'information géographique (SIG). La première base de données est de Worldclim (Stephen et Hijmans, 2017) : c'est une base de données climatique mondiale à accès libre (<http://www.worldclim.org>). A partir de cette source, un ensemble de 19 variables bioclimatiques correspond aux valeurs moyennes pour la période 1970-2000 à résolution spatiale de 30 arc seconde ont été téléchargées. La deuxième base de données est de CGIAR-CSI (Trabucco et Zomer, 2009). Cette base correspond aux valeurs moyennes des données climatiques globales à haute résolution (30 arc seconde) pour la période 1970-2000, relatives aux processus d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'indice d'aridité (IA) (<http://www.csi.cgiar.org>).

Le traitement de ces données et la création des couches résultantes, la combinaison entre elles et leur interprétation ont été réalisés en utilisant les outils d'analyse spatiale afin d'expliquer et de déduire l'effet de changement de certains paramètres dans la distribution du myrte au Maroc.

1.3.Calcul des indices bioclimatiques

L'évaluation de climat à l'échelle des zones prospectées a été réalisée par l'identification de certains indices bioclimatiques d'une grande importance dans la région méditerranéenne, sur le plan de zonation bioclimatique (étages bioclimatiques) et zonation de la végétation (étage de végétation) (Emberger, 1964), il s'agit de quotient pluviométrique d'Emberger et les indices d'aridité de De Martonne et UNEP (Programme des Nations Unies pour l'Environnement).

a. Indice bioclimatique d'EMBERGER

L'indice pluviométrique d'Emberger, est un indice développé par le botaniste Louis Emberger en 1930. Il est modifié en 1955 pour définir les types de climats méditerranéens surtout en Afrique du Nord (Emberger, 1931 ; Gaussen, 1954 ; Daget 1977 ; Quezel, 1979). Cet indice prend en considération les précipitations annuelles, la moyenne des Maxima de température du mois le plus chaud (M en °C) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m en °C) (Emberger, 1955). En fait, c'est un rapport entre la quantité des précipitations et la moyenne des extrêmes thermiques (Mois le plus chaud et le plus froid), le tout corrigé par l'amplitude thermique extrême (M – m). Emberger a noté que l'amplitude

thermique est un facteur important dans la distribution des espèces végétales. La combinaison des quotients pluviothermiques obtenus (Q2) et les températures minimales du mois le plus froid (m) avec les observations faites sur la répartition de végétation méditerranéenne et plus particulièrement au Maroc a conduit Emberger à subdiviser l'aire du climagramme en zones caractéristiques par des aridités croissantes de haut en bas, ce sont les « étages bioclimatiques de végétation » (Mokhtari et al., 2013). Ce quotient est calculé par la formule suivante :

$$Q2 = \frac{2000 * P}{(M + m + 546,4) * (M - m)}$$

P : la pluviométrie annuelle en mm

M : la température maximale du mois le plus chaud en °C (Juillet)

m : la température minimale du mois le plus froid en °C (Janvier)

b. Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne est un rapport entre la moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles, il traduit le déficit pluviométrique sur une longue période d'une zone donnée en faveur d'une forte insolation, des températures diurnes élevées, faible humidité de l'air et un pouvoir évaporatif élevé de l'atmosphère (De Martonne, 1926).

Il est défini comme suit :

$$Im = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

T : température moyenne annuelle en °C ;

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

a. Indice d'aridité UNEP

L'indice d'aridité UNEP (UNEP, 1977) est un indice qui donne l'idée sur le degré d'aridité du climat à un endroit donné par rapport au pouvoir évaporatif de l'atmosphère. Il est défini comme suit :

$$Iu = \frac{P}{ETP}$$

Avec :

P : précipitation annuelle moyenne en mm ;

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle moyenne en mm.

2. Résultats

2.1. Caractéristiques géographique et orographique des populations naturelles du Myrte au Maroc

Le myrte pousse spontanément dans les garrigues et le matorral des zones forestières et péri-forestières appartenant aux séries végétales principalement à chêne vert mais dans certains cas à chêne-liège, à pin d'Alep, et à oxycèdraie. Il se trouve aussi aux bords des dayas et des oueds. Par ailleurs, son apparence dans l'alliance de *Myrto-Quercetum subersis* (Barbéro et al., 1981) de la classe de *Quercetea ilicis* (Benabid et Fennane, 1994) au niveau de la lisière sud-ouest de la subéraie Mamora (Mamora oriental) est très rare. Ainsi, le myrte marque également sa présence dans l'alliance du *Quercu rotundifoliae-Oleion sylvestris* (Barbéro et al., 1981) dans les systèmes climaciques de pré-Rif et d'une manière sporadique dans les strates arbustives de groupement *Pistacio lentisci-Quercetum rotundifoliae* (Barbéro et al., 1981) dans la région de Rif occidental. Le myrte s'installe de façon spontanée sur toutes sortes de substrat lithologique sable, avec des grès argileux ou du sable argileux et grès calcaire, schiste, granite, et bruns calcaires vertiques et humifères. Sur le plan distribution géographique, on a pu dénombrer 17 sites présentant des conditions écologiques différentes (Fig. 5, Tableau 2), qui sont répartie à travers le pays entre :

- **Le Rif Occidental** : le myrte est l'une des espèces caractéristiques de l'association végétale de cette région. Il se situe entre une longitude de 35°01' et 35°23' Nord, et une latitude de 05°09' et 05°05' ouest (Tableau 2). Cependant, il est présent depuis le littoral atlantique aux environs de Tanger jusqu'à la limite orientale de la dorsale calcaire du Rif vers la route d'El Hociema. Mais il est très abondant en sa partie Nord. Ainsi, il forme des peuplements les plus étendus et les plus productifs dans les forêts de : Ouazzane, Bouhachem, Bab Taza, Al Hamra, Chefchaoune, Larach, et d'Oued Laou (Tableau 2). Dans la tranche altitudinale 350 - 1121 m.
- **Pré-Rif** : dans cette région, le myrte est plus étendu dans plusieurs sites de Taounate à savoir : Ville de Taounate, Ghafsai, et Bouhouda. Ces sites naturels du myrte s'intercalent entre une longitude de 34°33' et de 34°43' nord, et une latitude de 04°29' et de 04°37' ouest (Tableau 2) entre 380 et 475 m d'altitude.
- **Plateau Central** : le myrte dans ce plateau est réparti entre des altitudes allant de 220 à 332 m (Tableau 2). Comme il se trouve sur des surfaces réduites et sporadiques dans les forêts de chêne-liège à savoir : Benslimane, Temara, Romani. Ces sites du myrte se situent entre des

coordonnées géographiques longitudinales de 33°39' (versus une latitude de 07°02' ouest) et 33°49' nord (versus une latitude de 06°51' ouest).

2.2. Détermination des conditions climatiques des sites du Myrte

2.2.1. Caractéristiques pluviométriques

L'analyse des données de la carte (Fig. 6) résultante de l'extraction des données climatiques à partir de la base « Worldclim » montre que le Rif occidental où se trouvent la plupart des populations naturelles prospectées du myrte enregistre les valeurs de précipitations annuelles les plus élevées qui varient entre 523 et 1065 mm/an (Fig. 6). C'est surtout les niveaux des hauts sommets des montagnes du Rif occidental les plus arrosés ; tel le cas pluviométrique de 1065 mm/an de la population du myrte de Jbel Bouhachem (Al Hamra, 1121 m) (Fig. 6, Tableau 3). Aussi, les versants d'exposition sud-ouest du Rif Occidental présentent les sites les plus arrosés où se développent les populations Aabaïd (984 mm/an), Parc Bouhachem (871 mm/an), Centre Ikejioun (805 mm/an) et Forêt Izaran (742 mm/an) (Fig. 6, Tableau 3). Par contre, les stations de la partie occidentale du versant nord et nord-ouest, où s'étendent les populations de Larach et khmis Sahel, présentent des précipitations annuelles entre 650 et 800 mm par an. Ceci exprime l'effet prépondérant de l'exposition et de l'altitude.

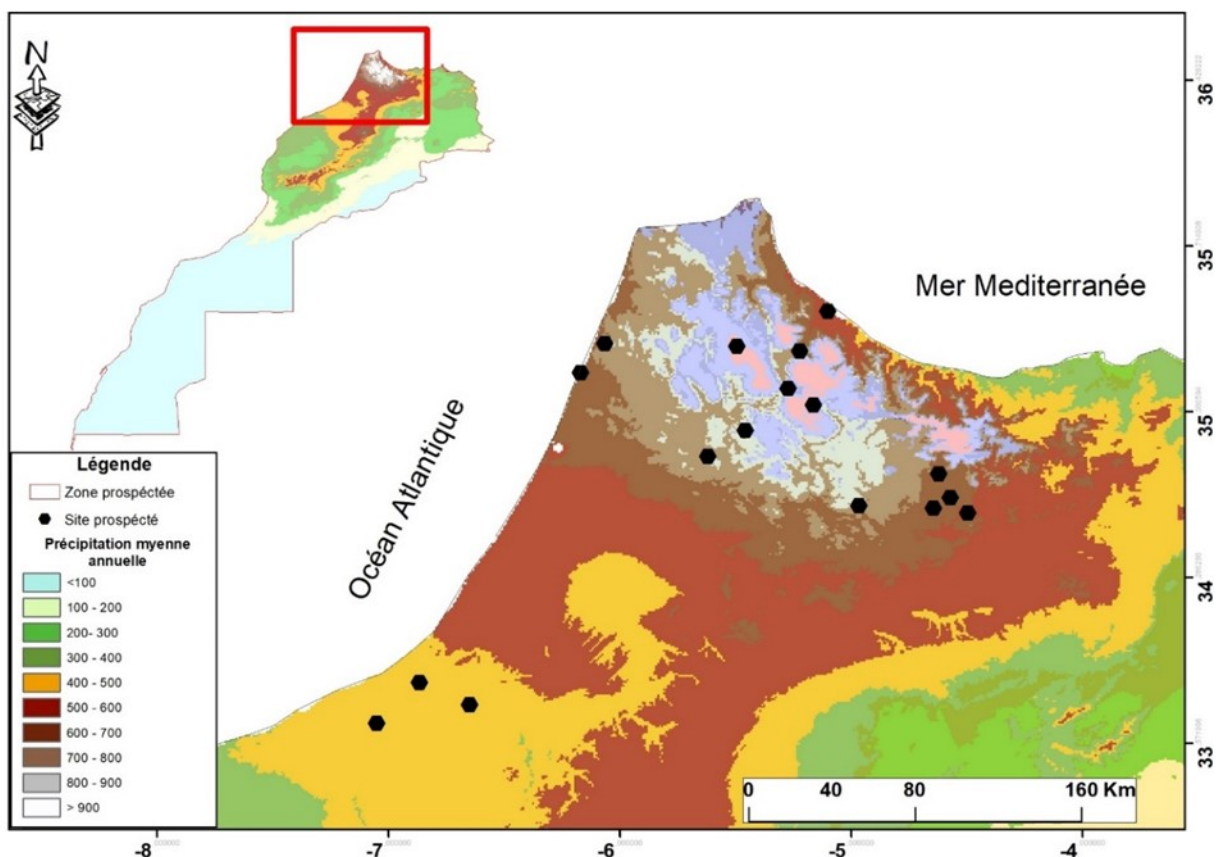


Figure 6 : Distribution des précipitations moyennes annuelles.

Tableau 3: Conditions bioclimatiques et biogéographiques des sites prospectés

Code	Site	Latitude	Longitude	Altitude	Précipitations moyennes annuelles	Température moyenne annuelle	Etage bioclimatique (Emberger, 1955)	Etage de végétation (Quézel, 1979)	Type de climat selon De Martonne	Type de climat selon UNEP
1	Ghafsai	04°57' 59.5"W	34°35' 39.8"N	441	772	18,1	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
2	Barrage sahla	04°38' 37.7"W	34°35' 02.1"N	460	653	17,7	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
3	Chettaba	04°34' 17.4"W	34°37' 46.8"N	380	608	18	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
4	Douar zitouna	04°37' 19.8"W	34°43' 53.4"N	475	654	17,2	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
5	Aghbalou	04°29' 47.1"W	34°33' 47.6"N	439	595	17,5	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
6	Bâaidnat	07°02' 59.7"W	33°39' 28.4"N	275	470	16,7	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Semi-aride	Semi-aride
7	Kourifla	06°51' 57.2"W	33°49' 57.7"N	220	469	17	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Semi-aride	Semi-aride
8	El Menzeh	06°38' 52.9"W	33°44' 10.8"N	332	484	17,2	Sub-humide	Thermo-méditerranéen	Semi-aride	Semi-aride
9	Forêt Izaran	05°37' 06"W	34°48' 29.0"N	411	742	18,5	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
10	Parc Bouhachem	05°27'27.9"W	34°55'25.6"N	285	871	17,7	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Subhumide à humide
11	Centre Ikejioun	05°16'23"W	35°06'11"N	450	805	16,9	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Subhumide à humide
12	Aabaïd	05°09'43"W	35°01'48"N	745	984	15,9	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Subhumide à humide
13	Jbel Bouhachem	05°29'33,93"W	35°16'58,94"N	1121	1065	13,6	Per-humide	Partie inférieure de Méso-méditerranéen	Sub-humide à humide	Subhumide à humide
14	Talambote	05°13'10,98"W	35°16'1,12"N	350	685	17,1	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Subhumide à humide
15	Mezgalef	06°3'43,36"W	35°17'50,34"N	530	800	17,4	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
16	Larach	06°10'12.9"W	35°10'02.6"N	518	654	17,7	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride
17	Béni said	05°05'24,53"W	35°23'38.50"N	450	523	18,5	Humide	Thermo-méditerranéen	Sub-humide à humide	Semi-aride

En se déplaçant vers la région du Rif orientale, plateau central, moyen et haut Atlas on constate une diminution progressive des précipitations (Fig. 6). Les basses valeurs de la précipitation moyenne annuelle sont enregistrées vers les zones extrêmes du sud et sud-est. La comparaison des moyennes des précipitations annuelles au Pré-Rif montre que les sites occidentaux au cœur de la montagne sont plus arrosés (entre 653 et 722 mm/an) (populations Ghafsai, Barrage Sahla et Douar Zitouna). Les populations d'expositions orientales présentent des faibles valeurs pluviométriques entre 595 et 608 mm/an (populations de Chettaba et d'Aghbalou). Au niveau du plateau central, plus quand on s'éloigne de l'exposition atlantique plus les valeurs de la précipitation annuelle diminue (cas des populations de Kourifla, Bâaidnat et El Menzeh : 469, 470 et 484 mm/an respectivement).

2.2.2. Caractéristiques thermiques des sites à myrte

L'analyse des résultats de la carte (Fig. 7) montre que les basses températures moyennes annuelles qui varient entre 0 et 8°C sont enregistrées dans les sommets de la chaîne de moyen Atlas où il n'existe aucune population naturelle de myrte (Fig. 7). Alors que des températures modérées, entre 8 et 18°C, sont enregistrées dans les hautes altitudes de Rif occidental, le pré-Rif et le plateau central où nous avons répertoriées des populations naturelles du myrte. Les populations de Rif occidental se développent dans les sites où les températures moyennes annuelles varient entre 13 et 18°C ; tel que le cas de la population de Jbel Bouhachem (13,6 °C) (Fig. 7, Tableau 3). Les sites des populations de la façade sud-ouest du Rif occidental présentent des températures entre 15,9 et 18,5°C ; le cas des populations Aabaïd (15,9 °C), Centre Ikejioun (16,9 °C), Talambote (17,1°C), Tanakoub, (17,7°C), Forêt Izaran et Béni Said (18,5°C) (Fig. 7, Tableau 3). Dans cette zone du Rif occidental, en se déplaçant d'un site à un autre on remarque une différence de température d'environ 3°C. Par contre, les sites des populations de pré-Rif enregistrent une légère différence de température moyenne annuelle, puisque ces valeurs varient de 17,2 à 18,1°C. C'est le cas des sites où se développent les populations de Douar Zitouna (17,2°C), Aghbalou (17,5°C), Barrage Sahla (17,7°C), forêt Chettaba (18 °C) et Ghafsai (18,1 °C) (Fig. 7, Tableau 3). En se rapprochant de l'océan Atlantique et surtout au niveau de la façade ouest du plateau central, où nous avons prospecté trois populations à des altitudes basses (entre 220 et 330 m), les valeurs de la température moyenne pourraient être qualifiées basses en comparaison aux sites de pré-Rif et de Rif occidental (températures basses dans les hautes altitudes). Une augmentation de la température moyenne annuelle au fur et à mesure qu'on se déplace vers les régions de Sud-Est et de Sud du pays est observé (Fig. 7). Les hautes valeurs de température moyenne annuelle sont enregistrées vers les zones extrêmes du

sud et sud-est, surtout quand-on s'éloigne de l'océan atlantique vers les déserts (sud) et des montagnes vers les plateaux sud-est (Fig. 7). Ces régions marquent aussi l'absence des populations de myrte.

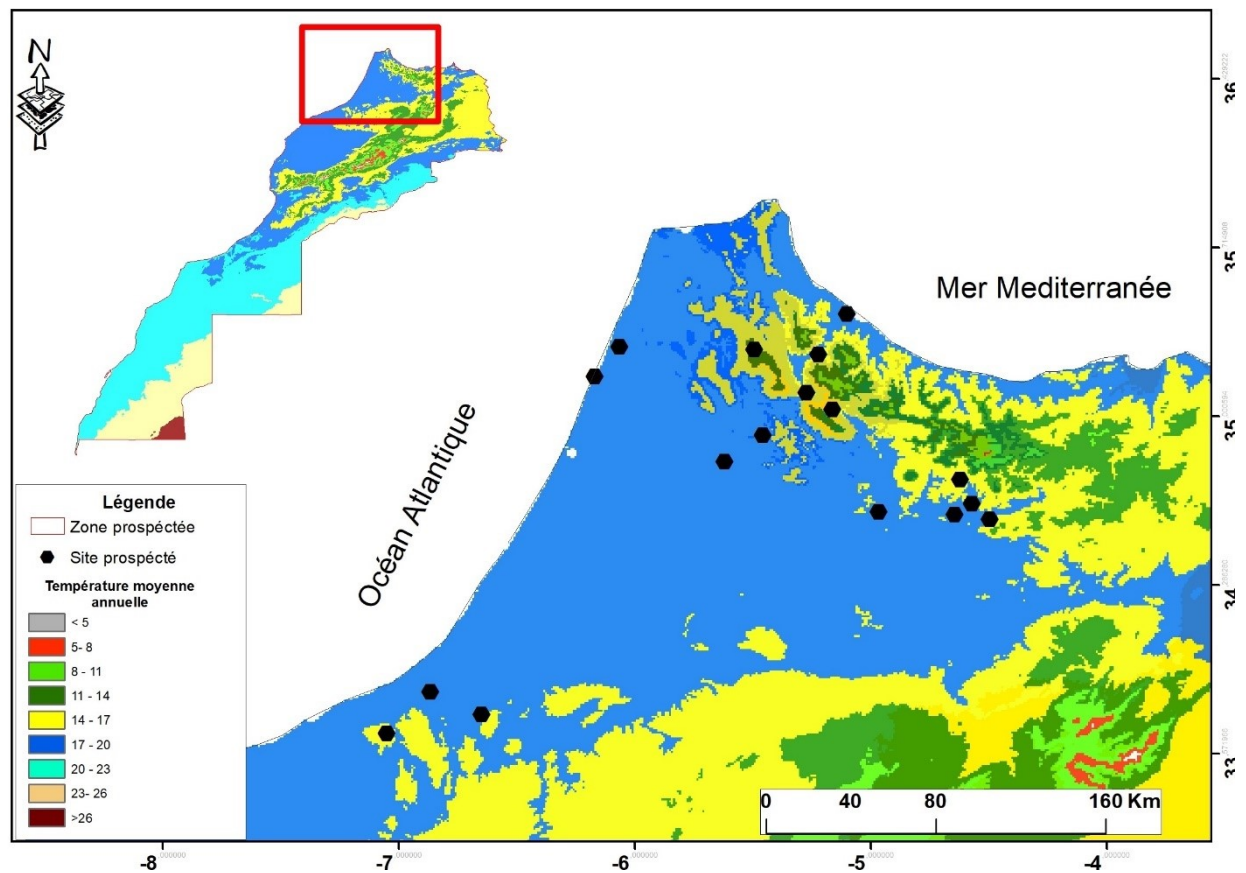


Figure 7 : Distribution des températures moyennes annuelles.

2.2.3. Quotient pluviothermique d'Emberger (Q2)

Les valeurs de quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) (Fig. 8) calculées à partir des données extraites des bases de données présentent une variation importante dans le territoire marocain, ce qui aboutit à une distinction des étages bioclimatiques déterminé par la valeur de Q2 et le diagramme pluviothermique d'Emberger (Fig. 9) (Daget, 1977). Les valeurs les plus faibles de Q2 sont enregistrés dans la région sud et une partie de la façade sud-est de pays puisqu'elles ne dépassent pas 12, ce qui qualifie le climat de ces zones comme Saharien ($Q2 < 12$) (Fig. 8). Vers l'Anti-Atlas et le versant sud de haut Atlas, et jusqu'aux hauts plateaux de Melouia, nous avons enregistré une légère augmentation de quotient d'Emberger qui varie entre 12 et 30 avec un taux de précipitation qui ne dépasse 300 mm/an ce qui caractérise le climat aride ($12 < Q2 < 30$; $100 < P < 300$ mm/an). En se déplaçant vers le centre au niveau de la façade ouest de haut Atlas et le moyen Atlas, jusqu'aux frontières Atlantiques et vers la façade

nord des hauts plateaux de Melouia, nous enregistrons des valeurs de Q2 qui varient entre 30 et 60, avec des précipitations entre 300 et 600 mm/an, il s'agit d'un climat semi-aride. Dans ces zones à bioclimat hyperaride (Saharien), aride et semi-aride, nous avons remarqué l'absence totale des populations naturelles du myrte. Au niveau de plateau central où nous avons prospecté trois populations naturelles du myrte (Bâaidnat, Kourifla et El Menzeh) et dans le pré-Rif qui connaît la présence de cinq populations (Ghafsai, Barrage sahla, Chettaba, Douar zitouna et Aghbalou) et également dans les plateaux de Saïss, le quotient d'Emberger enregistre des valeurs entre 60 et 100 avec un taux de précipitations entre 600 et 700 mm/an ce qui qualifie le bioclimat de ces régions comme sub-humide. Les valeurs les plus élevées en quotient d'Emberger sont enregistrées dans la région du Rif occidental où nous avons prospecté la plupart des populations naturelles du myrte, il varie entre 100 et 140 avec un taux de précipitations entre 700 et 900 mm/an. Il dépasse parfois 150 au niveau des crêtes des montagnes de Rif qui enregistrent la présence d'une population du myrte c'est le cas de la population de Jbel Bouhachem, et on passe donc d'un bioclimat qui est humide ($100 < Q2 < 140$; $700 < P < 900$ mm/an) vers un autre hyper-humide ($Q2 > 140$; $P > 900$ mm/an).

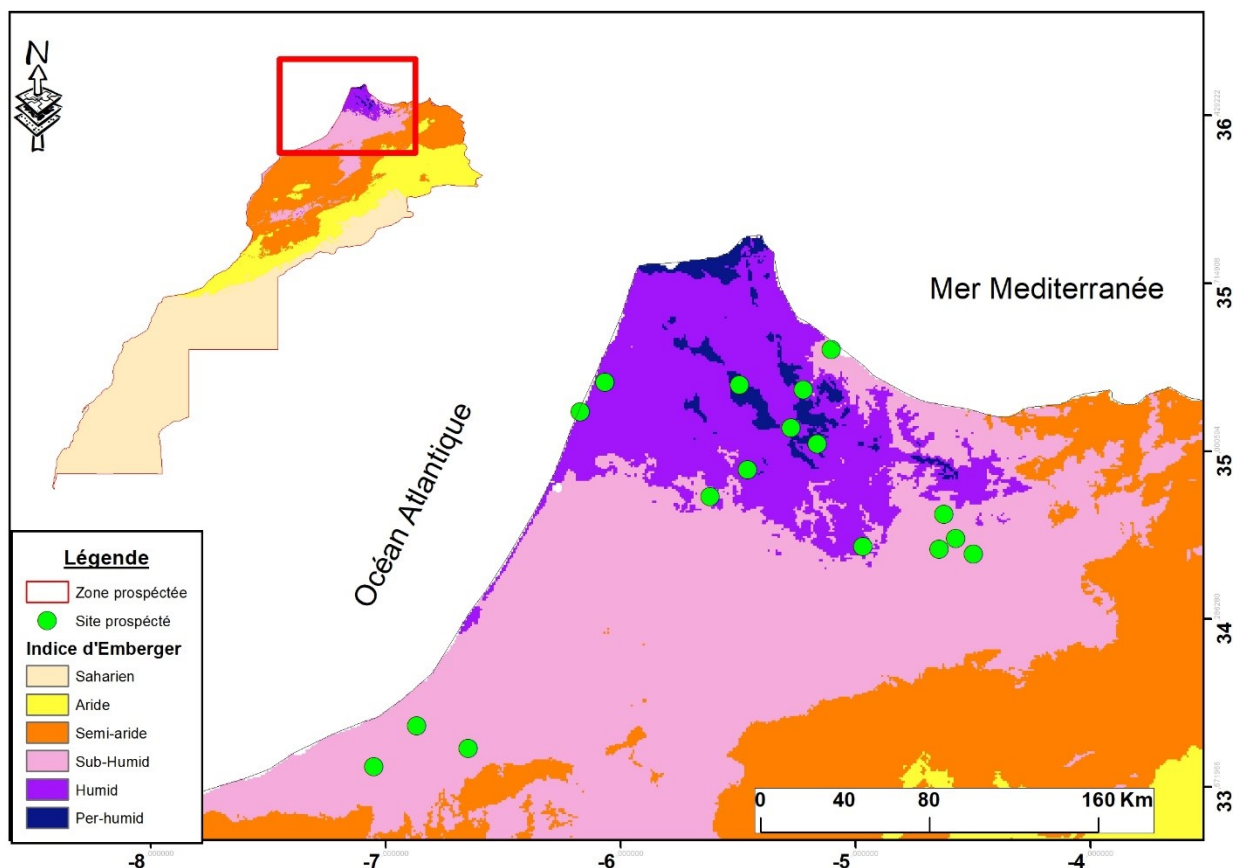


Figure 8 : Distribution des populations naturelles du myrte selon les étages bioclimatiques.

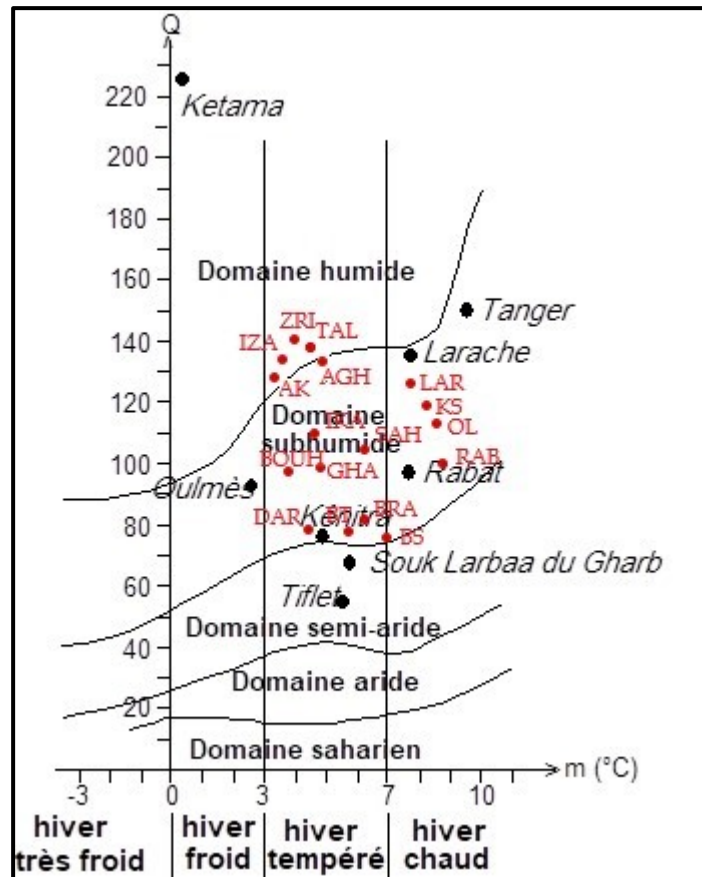


Figure 9 : Diagramme pluviothermique d'Emberger

2.2.4. Indice d'aridité de De Martonne (I_m)

Les valeurs de l'indice calculé de De Martonne (I_m) calculé à partir des données extraites de la base « Worldclim » montrent une variation au niveau de degré d'aridité dans le territoire marocain et par conséquent l'apparition de différentes classes de climat selon De Martonne. Dans la partie nord de pays, pré-Rif et Rif occidental, où se trouvent la majorité des populations naturelles de myrte prospectées (14 populations) (Fig. 10), les valeurs de I_m sont supérieures à 20 quel que soit le relief, l'exposition et l'altitude des sites. C'est également le même cas dans les montagnes de moyen Atlas, ce qui est expliqué par le taux important des précipitations perçut par ces zones, ainsi que les températures moyennes annuelles faibles. Il s'agit d'un climat sub-humide à humide selon la classification adoptée par De Martonne (Tableau 4). En se déplaçant au centre de pays vers le plateau central, où se trouvent trois populations naturelles de myrte (Bâaidnat, Kourifla et El Menzeh) et vers les plateaux de Saïss et les hauts plateaux de Melouia et la région de Haouz (Fig. 10), l'indice de De Martonne commence à diminuer et enregistre des valeurs comprises entre 10 et 20, ce qui qualifie le climat de ces zones comme

semi-aride selon (25% de la superficie totale du Maroc) (Fig. 10). Vers l'Anti-Atlas, la façade Est de haut Atlas et la partie sud des hauts plateaux de Melouia, le climat est qualifié comme aride en raison des valeurs de I_m qui ne dépassent pas 10, et par conséquence l'augmentation de niveau de l'aridité qui enregistre des niveaux plus importants au fur et à mesure qu'on se déplace vers les régions sud de pays, où les valeurs de I_m ne dépassent pas 5, et on passe donc d'un climat aride ($5 < I_m < 10$) vers un climat hyperaride ($I_m < 5$) (Fig. 10). Toutefois, il n'existe aucun vestige des populations naturelles de myrte dans ces deux classes de climat.

Tableau 4: Répartition des climats selon l'indice de De Martonne (I_m) (Mokhtari et al., 2013).

Classe de I_m	Type de climat	Pourcentage de la superficie occupée
<5	Hyperaride	53
5 à 10	Aride	14
10 à 20	Semi-aride	25
>20	Humide & Subhumide	8

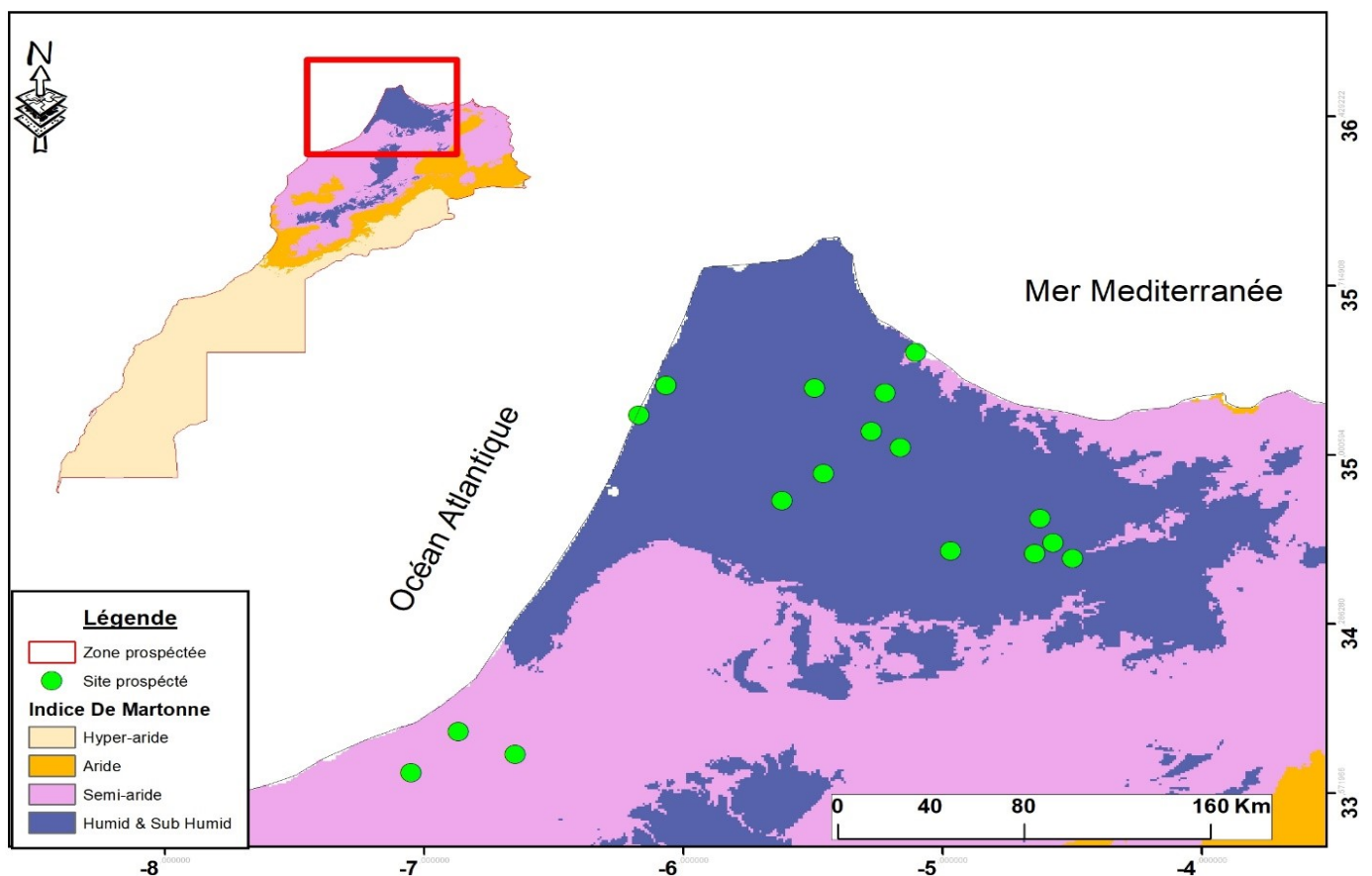


Figure 10 : Distribution des populations naturelles du myrte selon l'indice d'aridité de De Martonne.

2.2.5. L'indice d'aridité d'UNEP (I_u)

Les valeurs de l'indice d'UNEP (I_u) montrent des fluctuations importantes au niveau de la spatialisation de l'aridité dans le territoire marocain, et par conséquent l'apparition de cinq zones climatiques selon la classification adoptée par l'UNEP. En fait, dans les montagnes du Nord et de Rif occidental, les valeurs de I_u sont comprises entre 0,51 et 0,65 (climat subhumide) (Fig. 11), alors qu'elles dépassent 0,65 dans les altitudes relativement élevées où nous avons prospecté cinq populations naturelles de myrte, c'est le cas des populations de Tanakoub, Centre Ikejioun, Aabaïd, Jbel Bouhachem et Talambote où le climat est de type sub-humide à humide ($I_u > 0,65$). Dans les basses altitudes du nord (Mezgaïef et Larach) et la partie sud de Rif occidental (Forêt Izaran) et également dans le pré-Rif, le plateau central (Bâaidnat, Kourifla et El Menzeh) et le moyen Atlas, le degré d'aridité (I_u) enregistre les valeurs entre 0,20 et 0,50 ce qui qualifie le climat de ces zones comme semi-aride. En se déplaçant vers le sud-est du pays et vers la région de Haouz et au niveau de haut Atlas et l'Anti-Atlas, le climat est de type aride ($0,05 < I_u < 0,20$). Au fur et à mesure qu'on se déplace vers les régions du Sud du Maroc, les valeurs de I_u diminuent, et elles enregistrent moins de 0,05 et on passe donc vers le climat hyperaride ($I_u < 0,05$) (Fig. 11). Cependant, dans ces régions il n'existe aucune population naturelle du myrte.

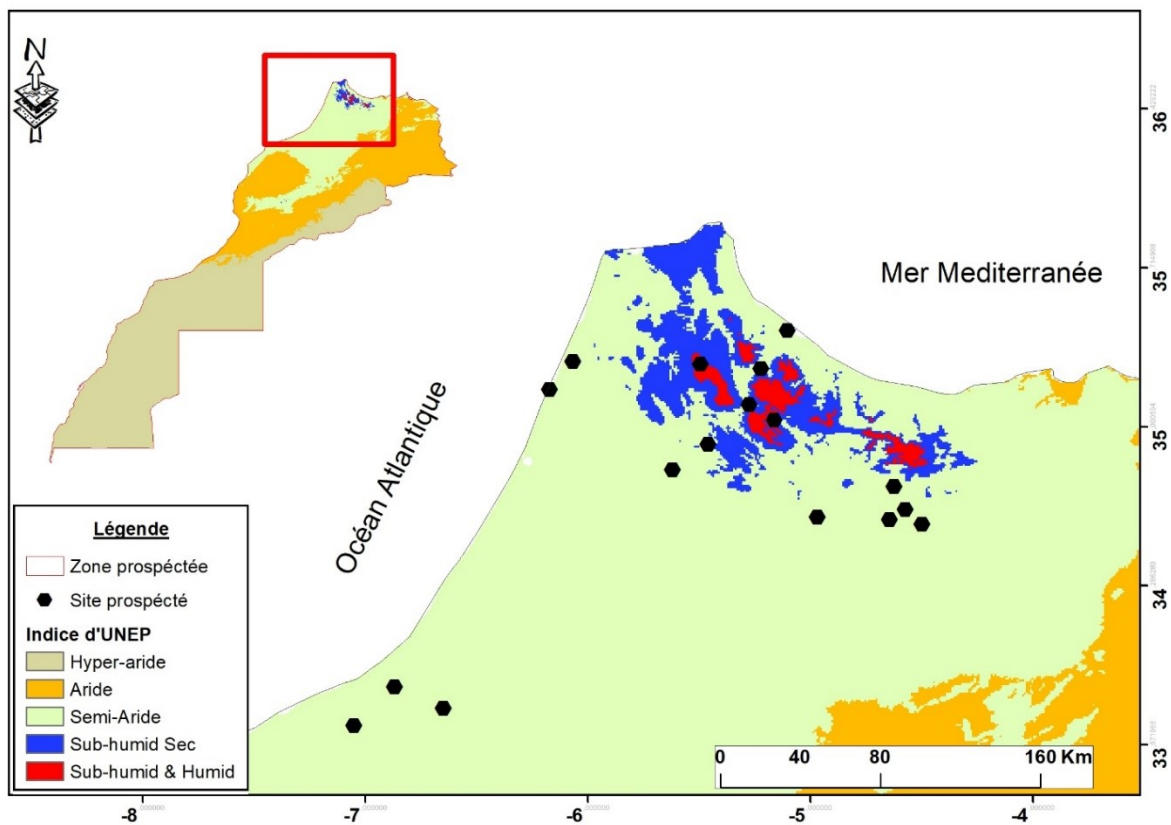


Figure 11 : Distribution des populations naturelles du myrte selon l'indice d'aridité d'UNEP.

3. Discussion

La répartition biogéographique et l'écologie du myrte au Maroc ont été abordées dans le présent travail (Tableau 3) dans un objectif de référencement et d' caractérisation des populations naturelles de myrte. Ainsi, Il s'en sort des prospections qu'il se développe sur des tranches longitudinales, latitudinales et altitudinales très variables.

- Dans le Rif Occidental, les populations de la Forêt Izaran, du Parc Bouhachem, du centre Ikejioun, Aabaïd, Jbel Bouhachem, Talambote, Mezgalef, Larach, Béni Said, présentent une phytocénose caractéristique de l'alliance *Pistacio lentisci-Quercetum rotundifoliae* (Barbéro et al., 1981). Les espèces caractéristiques qui accompagnent le myrte sont *Pistacia lentiscus* L., *Pinus halepensis*, *Quercus rotundifolia* Lamk, *Tetraclinis articulata*, *Arbutus unedo*, *Asparagus acutifolius* L.
- Dans le Pré-Rif (Ghafsai, Barrage Sahla, Chettaba, Douar Zitouna, Aghbalou) se développent le myrte au sein des espèces caractéristiques de l'association *Quercus rotundifoliae-Oleion sylvestris* (Barbéro et al., 1981). Il est accompagné d'*Olea europea* L. subsp. *europaea* var. *sylvestris*, *Ceratonia siliqua* L., *Pinus halepensis*, *Tetraclinis articulata*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus rotundifolia*, *Arbutus unedo*, *Cistus villosus* Pourr).
- Dans le Plateau Central, au niveau de Bâaidnat, Kourifla, et El Menzeh, le myrte se développe avec les espèces caractéristiques de l'alliance *Myrto-Quercetum subersis* (Barbéro et al., 1981 ; Valdés et al., 2002), et surtout celles de la classe de *Quercetea ilicis* (Rivas-martínez et al., 1984 ; Benabid et Fennane, 1994) il s'agit de *Quercus suber* L., *Arbutus unedo*, *Phillyrea angustifolia* L., *Cistus salvifolius* L., *Chamaerops humilis* L., *Pinus halepensis*.

Cette répartition, explique la remarquable adaptabilité du myrte aux différentes conditions écologiques caractéristiques de chacune des régions biogéographiques du Maroc (Rif Occidental, Pré-Rif, Plateau Central). Les études antérieures ont également révélée la plasticité biogéographique du myrte au Maroc (Wahid et al., 2018 ; Emberger, 1939 ; Métro et Sauvage, 1955 ; Sauvage, 1961 ; Taleb, 1989). Il est sujette à une grande adaptabilité édaphique et bioclimatique, comme signalé à l'échelle de la Méditerranée depuis les Açores à l'Iran (Migliore et al., 2012 ; WCSP, 2013).

L'effet des conditions climatiques sur la distribution des populations du myrte au Maroc est mis en exergue dans la présente étude. On constate ainsi, un accord entre les indices utilisés (quotient d'Emberger, indice de De Martonne, indice d'UNEP) vis-à-vis la répartition de myrte dans les écosystèmes naturels. En fait, selon la classification des bioclimats par le quotient d'Emberger, le myrte commun se développe dans trois types des bioclimats :

- i) Le sub-humide dont la valeur de Q2 varie entre environ 60 et 100 avec un taux de précipitations annuel entre 300 et 700 mm et la température moyenne annuelle allant de 10°C jusqu'à 20 °C,
- ii) L'humide qui est caractérisé par les valeurs de Q2 entre 100 et 140, les précipitations dans ce type de climat varient de 700 à 900 mm/an et la température entre 8°C et 14°C,
- iii) Le climat hyper-humide ($Q2 > 140$) caractérisé par un taux de précipitations supérieur à 900 mm/an et les températures moyennes annuelles varie entre 5°C et 8°C.

Ceci signifie que cette espèce prospère dans une gamme relativement importante en termes de précipitations et température, allant de chaud et tempéré à froid et humide dans des altitudes entre 220 m et 1150 m, ce qui correspond aux caractéristiques de l'étage de végétation thermo-méditerranéen et la partie inférieure de méso-méditerranéen. Ces résultats ont été également confirmés par le cortège floristique accompagnant le myrte dans son habitat naturel. Parmi le cortège floristique on cite : le chêne vert (*Quercus rotundifolia*), le chêne liège (*Quercus suber*), le thuya (*Tetraclinis articulata*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), l'arbousier (*Arbutus unedo*), l'oléastre (*Olea europea L.subsp. europaea var. sylvestris*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*), *Cistus salviifolius*, *Phillyrea angustifolia*, *Asparagus acutifolius* (Mokhtari et al., 2013 ; Aafi et al., 2002 ; Barbéro et al., 1981 ; Valdés et al., 2002 ; Benabid et Fennane, 1994 ; Aafi et al., 2005 ; Benabid, 1985). Quant à la spatialisation des populations naturelles du myrte selon l'aridité selon la classification de De Martonne (P/T+10) et d'UNEP (P/ETP), une grande homogénéité a été observée concernant les climats où il se développe spontanément Par ailleurs, il est distribué dans les climats semi-arides (plateau central), subhumide et humide (Pré-Rif et Rif Occidental) pour les deux indices. En fait, pour l'indice d'UNEP les sites situés dans le Plateau Central sont caractérisés par un degré d'aridité relativement élevé, entre 0,2 et 0,5, ce qui signifie que le pouvoir évaporatif de cette zone est plus important par rapport au taux de précipitations. Par contre, les sites situés dans le Pré-Rif et le Rif Occidental se caractérisent par un degré d'aridité faible (I comprise entre 0,5 et 0,78) ce qui traduit une pluviométrie

annuelle importante par rapport à l'évaporation atmosphérique. Pour l'indice de De Martonne, la zone du Plateau Central où se localise le myrte est caractérisé par un degré d'aridité entre 10 et 20, ce qui signifie que la température moyenne annuelle est plus importante que le taux des précipitations. Alors que les sites du Pré-Rif et le Rif Occidental ont un degré d'aridité compris entre 20 et 66 comme ; conséquence de la pluviométrie importante dans ces zones par rapport à la température moyenne annuelle. En tenant compte de ces résultats, on constate que cette espèce supporte un degré d'aridité moyen à faible qui est en relation avec un taux faible de sécheresse et une demande en termes des précipitations relativement importante. Ainsi, on remarque que le degré de continentalité est important pour la distribution de myrte au Maroc puisque la plupart des populations sont concentrées dans le centre de la partie Nord du pays.

Bien que cette espèce de myrte présente une grande plasticité envers les conditions climatiques au sein de son aire de répartition au Maroc, il a été considéré comme une espèce très rares (Aafi et al., 2005) d'une part. D'autre part, les changements climatiques ne peuvent qu'aggraver la situation en influençant son existence à cause surtout de la succession des années de sécheresse et l'augmentation de nombre de jours de la période sèche. Parallèlement, certaines populations subissent une très forte pression anthropozoïque surtout par une exploitation irrationnelle dans la production des huiles essentielles surtout dans la région de pré-Rif. D'autres zones connaissent également une pollution intensive par l'installation des décharges sauvages dans les périphériques des forêts ce qui peut engendrer la détérioration des écosystèmes à myrte, c'est le cas de la zone de Dardara. Tous ces effets peuvent engendrer ou accentuer la disparition de certaines populations de myrte, ce qui nécessite l'instauration d'un programme préventif pour faire face à cette situation et conserver ses ressources.

Conclusion

L'approche adoptée pour la détermination de l'effet de la distribution géographique sur l'écologie du myrte au Maroc repose sur l'extraction et l'extrapolation des données climatiques et des indices bioclimatiques les plus adoptés dans le pourtour méditerranéen. La répartition du myrte au Maroc a été interprétée sur une large aire biogéographique. Elle se limite dans trois zones biogéographiques ; soit le Plateau Central, Pré-Rif et le Rif Occidental. Mais les populations naturelles du myrte dans le territoire marocain exigent un spectre climatique bien déterminé. Selon l'indice d'Emberger, le myrte commun est distribué dans trois types de climat (sub-humide, humide et per-humide) dans des altitudes entre 220 et 1150 m et des températures moyennes annuelles qui varie de 5°C jusqu'à 20°C, alors que la pluviométrie annuelle est entre

300 mm et 1000 mm. Ceci correspond à l'étage de végétation thermo-méditerranéen et la partie inférieure de méso-méditerranéen. Pour les indices d'aridité, le myrte est distribué dans les climats semi-aride, subhumide et humide qui ont un degré d'aridité qui varie de moyen à faible ce qui signifie que cette espèce ne supporte pas des conditions de sécheresse assez importante.

Face aux changements climatiques que connaît le monde, en plus de l'activité anthropique, le myrte commun est considéré parmi les espèces menacées par l'érosion de la diversité biologique et génétique ce qui nécessite la création d'un programme intégré de la protection de ses ressources en plus de sa valorisation d'une façon durable.

CHAPITRE III :
ETUDE ETHNOBOTANIQUE DU MYRTE
DANS LA REGION BENI MELLAL - KHENIFRA

Introduction

L'ethnobotanique ne concerne pas seulement les usages des plantes, mais elle est l'étude directe des relations entre les êtres humains et les plantes (Faulks, 1958 ; Valadeau, 2010). Elle s'inscrit donc dans un cadre beaucoup plus pluridisciplinaire qui propose de reconsidérer la plante à la fois dans son environnement écologique et dans son contexte socio-culturel (Valadeau, 2010 ; Veilleux & King, 1996 ; Wickens, 1990).

Le Maroc possède un savoir-faire très ancien basé sur des principes de vie rurale ou pastorale en relation avec les ressources végétales du milieu environnant (Aafi et al., 2002, Bellakhdar, 1997 ; Hmamouchi, 2012 ; Scherrer et al., 2005). Ces connaissances ethnobotaniques tendent à se perdre au fil des générations en raison du phénomène de désapprentissage propre à la civilisation urbaine (Aafi et al., 2002 ; Benkhniqie et al., 2011). De plus, la régression des écosystèmes, notamment par les activités humaines et la sécheresse accentuée par l'impact du changement climatique, rend de plus en plus difficile la découverte, l'exploitation et la sauvegarde du potentiel des ressources végétales (Benkhniqie et al., 2011, Wahid, 2013), ce qui rend les pratiques de phytothérapie étrangères aux générations actuelles, alors qu'elles représentent un potentiel prometteur dans le domaine de la recherche et du développement et dans le domaine socio-économique du pays. De plus, les habitudes de consommation ont commencé à chasser progressivement les anciennes traditions d'autosuffisance. Les plantes sont devenues étrangères à la génération actuelle, alors qu'elles représentent un potentiel prometteur dans les domaines de la recherche et du développement et socio-économique du pays.

Le myrte commun (*Myrtus communis* L.) fait partie des plantes d'intérêt socioéconomique et écologique à l'échelle internationale et nationale. Il est parmi les plantes d'intérêt socio-économique et écologique. En médecine traditionnelle, le myrte est très recherché en raison de ses propriétés aromatiques et thérapeutiques et de ses qualités nutritionnelles (Wahid, 2013). Du fait de ces qualités, sans compter les nombreux composés potentiellement bioactifs qui restent à analyser et à valoriser, il est très demandé par les industries pharmaceutiques, agroalimentaires et cosmétiques (Dogan, 1978 ; Mulas & Melis, 2008 ; Wahid, 2013). Au Maroc, les études ethnobotaniques sur le myrte ne sont pas nombreuses, fragmentaires et dispersées (Wahid, 2013). Ces études sont menées uniquement dans les zones de distribution naturelle du myrte (Wahid, 2013). D'autre part, les travaux ethnobotaniques dans les zones de commercialisation du Myrte, dont la région de Beni Mellal-Khénifra, sont peu étudiés. Il est

donc nécessaire de les entreprendre afin d'identifier le potentiel ethnobotanique du Myrte dans la région de Beni Mellal-Khénifra en relation avec les aspects socioculturels et la richesse floristique de cette région.

Vu l'importance du myrte commun au Maroc ou à l'international et selon ses vertus cosmétiques et thérapeutiques, il est nécessaire d'enrichir ses usages en médecine traditionnelle dans la région de Beni Mellal-Khénifra dans un cadre de développement durable. La région de Beni Mellal-Khénifra doit mettre en perspective la valorisation de ce type de bienfait, à travers des produits destinés aux industries de la cosmétique et de la parfumerie, de la phytothérapie et de la pharmacie, mais surtout à l'industrie alimentaire et encourager surtout la culture des différentes variétés de cette espèce ayant une valeur économique et des bénéfices sociaux et écologiques importants.

1. Matériel et méthodes

1.1. Distribution géographique du myrte commun au Maroc

Au Maroc, le myrte commun pousse spontanément dans les maquis des zones forestières et péri-forestières appartenant aux séries végétales du chêne-liège, du chêne vert et parfois des forêts de pin d'Alep, du Rif, du Plateau Central, du Moyen et du Haut Atlas (Aafi et al., 2005 ; Wahid, 2013) (Fig. 12). Il se développe sur un substrat le plus souvent siliceux et calcaire, dans

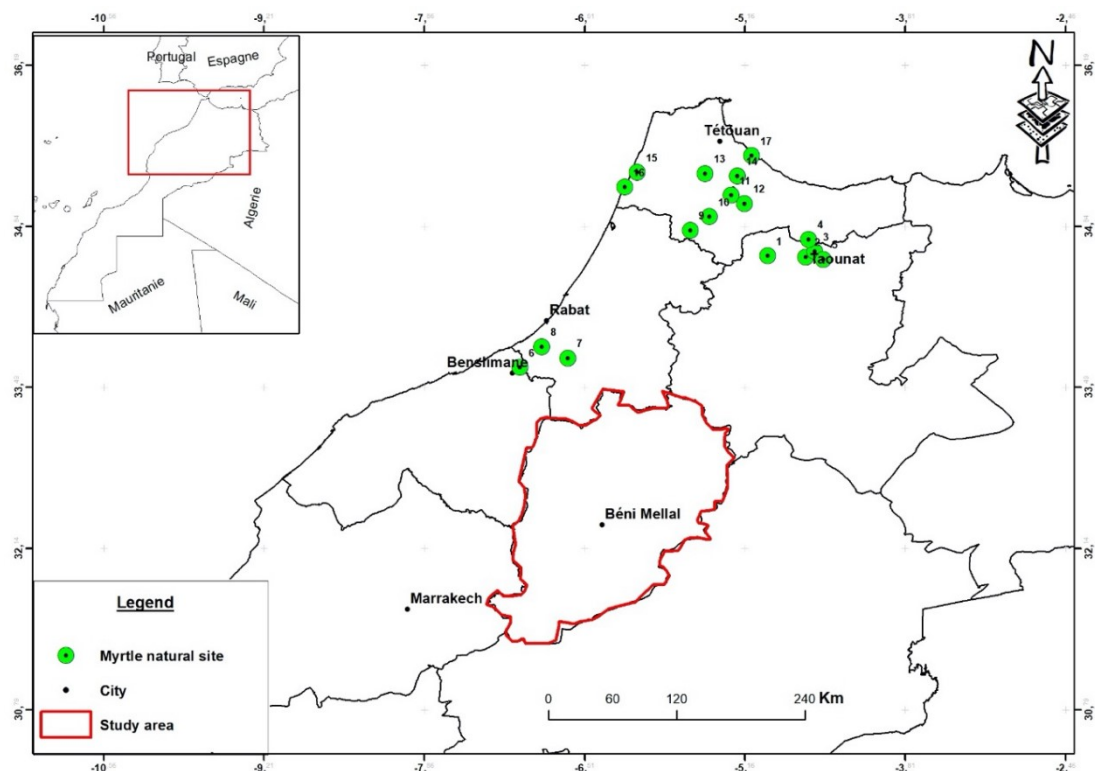


Figure 12 : Aire de répartition naturelle de Myrte au Maroc.

des milieux des climats semi-aride, subhumide et humide avec des variantes chaudes à tempérées.

1.2.Zone d'étude

La région de Beni Mellal-Khenifra est une entité géographique située au centre du Maroc (Fig. 13). Elle est bordée à l'ouest par les régions de Casablanca-Settat et de Marrakech-Safi, au sud par la région Draâ- Tafilalet, à l'est par les régions d'Errachidia et au Nord par la région de Fès et au Nord par les régions de Fès-Meknès et de Rabat-Salé- Kenitra. Le climat de la région est méditerranéen, caractérisé par un froid intense en hiver et des étés très chauds. Il varie d'un climat humide vers les sommets des hautes montagnes à un climat subaride en dessous des chaînes de montagnes.

Sur le plan économique, la population locale de la région est généralement basée sur l'agriculture, l'élevage et la sylviculture, en plus de la pêche la région possède des barrages d'importance nationale. La région de Beni Mellal-Khenifra a une population d'environ 2 520 776 habitants, dont 50,86% sont des ruraux. Selon le recensement de Haut-Commissariat au Plan (HCP) de 2014, la catégorie d'âge dominante est celle des 15 à 59 ans (63%). Et 38,7% des habitants âgés de 10 ans et plus, sont analphabètes.

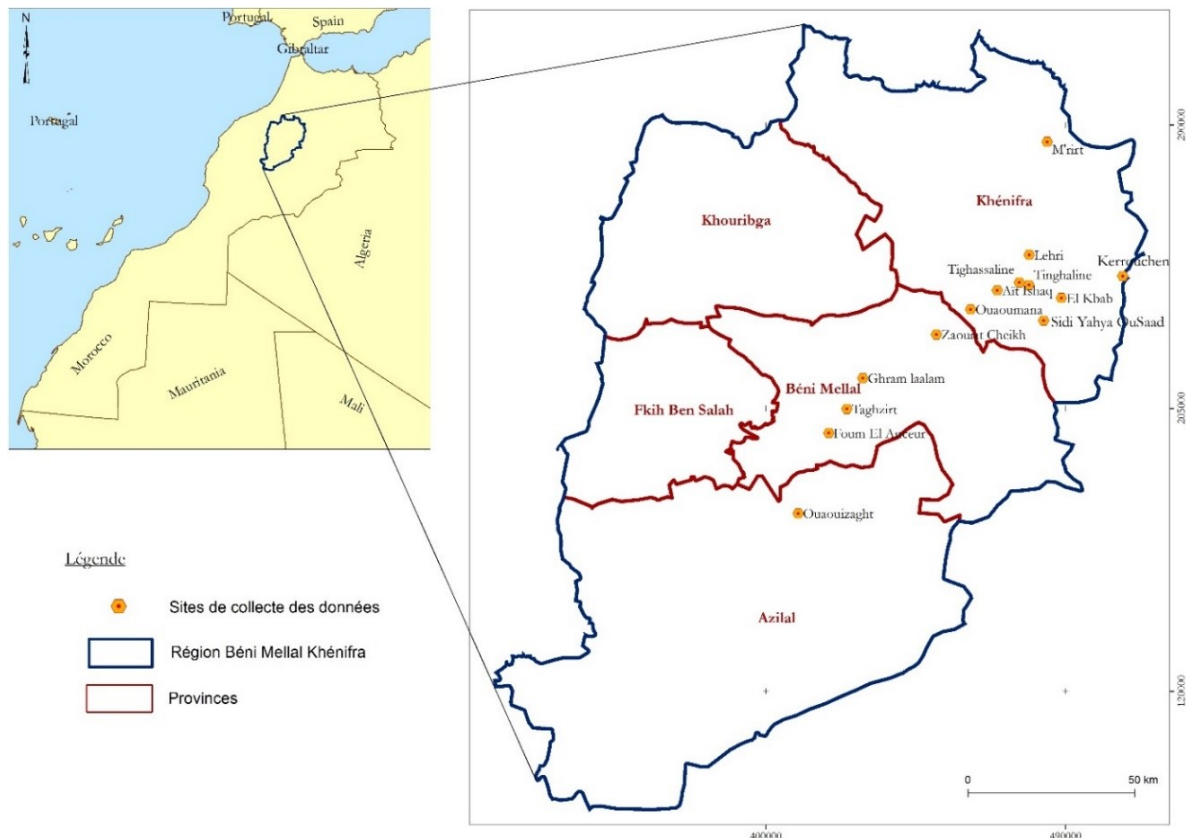


Figure 13 : Situation géographique de la région d'étude, de découpage administratif et des strates de collecte des données.

Sur le plan administratif, la région comprend cinq provinces (Fig. 13) : La plupart de ces provinces et municipalités sont caractérisées non seulement par une importante diversité géomorphologique et climatique mais aussi par une diversité culturelle. Cela contribue à une gamme d'utilisations des plantes dans la région, développant une base de données de connaissances et de savoir-faire thérapeutique grâce à la familiarisation et aux activités des habitants liées principalement à la nature et à la forêt.

1.3.Elaboration d'une fiche questionnaire

Pour le recueil des données, une fiche questionnaire a été élaborée ([Annexe 1](#)). L'établissement de cette fiche est basé sur des questions fermées et semi-fermées qui est un moyen très efficace pour le recueil de données ([Salhi et al., 2010](#) ; [Hachi, 2015](#)). Le contenu de la fiche questionnaire a été établi de manière à collecter le maximum d'informations sur les usages thérapeutiques des plantes médicinales et aromatiques en relation avec les facteurs socio-culturels. Ce questionnaire contenait deux parties principales ; soit la première correspondant au profil socio-culturel de l'enquêté (l'âge, sexe, niveau académique, etc.). La deuxième partie du questionnaire est consacrée aux plantes en tenant compte du nom vernaculaire et du savoir-faire ethnobotanique de la population locale.

1.4.Méthodologie d'enquête et d'échantillonnage

La collecte de données ethnobotaniques sur les plantes commercialisées est basée sur le questionnaire imprimé ([Annexe 1](#)). Les répondants alphabétisés ont rempli eux-mêmes les questionnaires imprimés. Si les répondants étaient analphabètes, nous nous occupons personnellement de remplir le questionnaire.

Selon le découpage administratif des communes de la région, nous avons sélectionné 14 strates dans la zone d'étude pour la collecte des données (Fig. 13, Tableau 5). Le choix des strates visitées lors de nos enquêtes locales de population a été aléatoire et basé principalement sur la facilité d'accès. Les strates correspondent aux villes et villages les plus proches du piémont et de la haute montagne. Le choix des strates montagne et piémont est lié aux inégalités sociales de santé des populations locales de ces villes par rapport à celle de la ville. Ces populations locales utilisaient les connaissances ethnobotaniques pour se soigner. Ces connaissances ethnobotaniques ont tendance à se perdre au fil des générations en raison du phénomène de désapprentissage propre à la civilisation urbaine. Pour chaque strate, nous avons interrogé un nombre de personnes allant de 15 à 30, soit un total de 280 personnes (Tableau 5). Le choix des répondants est basé sur un échantillonnage stratifié aléatoire ([Gounot 1969](#)), afin

de comprendre la problématique et d'avoir une vision globale sur les usages locaux traditionnels du myrte et sur la diversité floristique de la pharmacopée de cette région. Des entretiens ethnobotaniques et socioculturels avec la population locale de la région de Beni Mellal-Khenifra ont été réalisés entre mars et juillet 2017. L'enquête a permis d'interviewer 280 personnes de différents âges, sexes, niveaux d'éducation, etc., qui nous ont informés sur les applications thérapeutiques et traditionnelles locales des espèces végétales de la région de Beni Mellal -Khenifra.

Tableau 5 : Présentation du nombre des enquêtés par strate choisi dans la région d'étude

Strates	Noms de strate	Provinces	Nombre d'enquêtés
1	Tighassaline	Khénifra	30
2	Tintghaline	Khénifra	15
3	Sidi Yahya Oussaâd	Khénifra	20
4	Kerrouchen	Khénifra	15
5	El Kebab	Khénifra	18
6	Ait Isshaq	Khénifra	20
7	Ouawmana	Khénifra	20
8	Mrirt	Khénifra	25
9	Ghram Laâlam	Béni Mellal	20
10	Foum El Aansar	Béni Mellal	24
11	Tagzirt	Béni Mellal	15
12	Zaouit Cheikh	Béni Mellal	23
13	Ouawizaght	Azilal	20
14	Lehri	Khénifra	15
Total			280

2. Résultats et discussion

Les enquêtes menées auprès des personnes interrogées dans la zone d'étude ont montré que les plantes médicinales et aromatiques commerciales (PAM) occupent une place importante au sein de cette population. Le potentiel d'utilisation traditionnelle des PAM commercialisées selon l'usage, le sexe, la situation familiale, etc. famille, etc. est analysé et discuté dans les sections suivantes. L'analyse floristique des données obtenues sur les PAM commercialisées dans la zone d'étude a permis d'identifier 80 espèces appartenant à 37 familles ; 77 espèces appartenaient à des angiospermes, réparties entre monocotylédones et dicotylédones, et 3 espèces appartiennent aux gymnospermes, représentées par les membres de la famille des Cupressaceae. Les dicotylédones étaient dominantes avec 72 espèces, soit 90% du total des du total des espèces de la région, tandis que les monocotylédones ne représentent que 5 espèces, soit 6,25 % et les gymnospermes représentent 3 espèces (Tableau 6).

Tableau 6 : Les groupes systématiques recensés dans la région d'étude

Taxon	Effectif	Fréquence (%)
Monocotylédones	5	6,25
Dicotylédones	72	90
Gymnospermes	3	3,75
Total	80	100

Parmi les 37 familles de plantes utilisées dans la zone d'étude, 4 familles sont clairement dominantes dans cette flore médicinale : Lamiaceae (12 espèces soit 15%), Asteraceae (10 espèces soit 12,5%), Apiaceae (6 espèces soit 7,5%), et les Rosaceae (4 espèces soit 5%) (Tableau 7). Ces familles détiennent à elles seules 32 espèces, soit 42,5% du nombre total d'espèces. Ensuite vient les Euphorbiaceae, les Caryophyllaceae, les Myrtaceae et les Cupressaceae qui renferment chacune 3 espèces, soit un taux de 3,75% et représentent toutes un taux de 15% du nombre total d'espèces. Alors que les Zingiberaceae, Oleaceae, Malvaceae, Lythraceae, Lauraceae, Apocynaceae et Amaryllidaceae, contiennent chacune 2 espèces avec un taux de 2,5% (représentant 17,5% du nombre total d'espèces). Les autres familles ont une espèce pour chacune d'entre elles avec un taux de 1,25%, ce qui donne 27,5% du nombre total d'espèces (Tableau 7).

Toutefois l'utilisation traditionnelle de *Myrtus communis* L. représentant la famille des Myrtaceae dans la zone d'étude est limitée (3,75 %, Tableau 7) par rapport aux autres PAM. Cependant, avec ses vertus cosmétiques et thérapeutiques, cette plante est devenue une espèce importante au Maroc et à l'international (Wahid 2013, Wahid et al. 2016). Il est temps de sensibiliser et d'enrichir la biodiversité utilisée en médecine traditionnelle de cette espèce dans la région de Béni Mellal-Khenifra dans un cadre de développement durable. La région Béni Mellal-Khenifra devrait mettre en perspective la valorisation de ce type d'avantage, à travers des produits destinés aux industries de la cosmétique et de la parfumerie, de la phytothérapie et de la pharmacie, mais surtout de l'agroalimentaire. La population locale de la région devrait être encouragée à cultiver cette espèce et à introduire des variétés améliorées ayant une valeur économique et des avantages sociaux et écologiques importants. Dans les sections suivantes, nous examinerons en détail les résultats du potentiel ethnobotanique des PAM en général, mais celui du myrte comme exemple.

Tableau 7 : Effectif et fréquence des familles de plantes utilisées dans la zone d'étude.

Familles	Effectifs	Fréquences
Amaranthaceae	1	1,25
Amaryllidaceae	2	2,5
Anacardiaceae	1	1,25
Apiaceae	6	7,5
Apocynaceae	2	2,5
Asteraceae	10	12,25
Capparaceae	1	1,25
Caryophyllaceae	3	3,75
Cupressaceae	3	3,75
Euphorbiaceae	3	3,75
Fabaceae	1	1,25
Fagaceae	1	1,25
Lamiaceae	12	15
Lauraceae	2	2,5
Lythraceae	2	2,5
Malvaceae	2	2,5
Moraceae	1	1,25
Myrtaceae	3	3,75
Oleaceae	2	2,5
Papaveraceae	1	1,25
Poaceae	1	1,25
Portulacaceae	1	1,25
Rhamnaceae	1	1,25
Rosaceae	4	5
Rubiaceae	1	1,25
Rutaceae	1	1,25
Thymelaeaceae	1	1,25
Verbenaceae	1	1,25
Zingiberaceae	2	2,5
Ericaceae	1	1,25
Brassicaceae	1	1,25
Ranunculaceae	1	1,25
Plantaginaceae	1	1,25
Cistaceae	1	1,25
Cucurbitaceae	1	1,25
Nitrariaceae	1	1,25
Urticaceae	1	1,25
Total	80	100

2.1. Utilisation ethnobotanique des PAM commercialisées dans la zone d'étude

L'analyse ethnobotanique des informations recueillies nous a permis de répertorier un certain nombre d'affections traitées par les PAMs commercialisés dans la zone d'étude (Fig.

14). La figure 14 montre que la majorité des PMA étaient principalement impliquées dans le traitement des maladies du système digestif avec un pourcentage de 26%, suivies des maladies des glandes annexées au tube digestif avec un taux de 25%, puis viennent les maladies respiratoires par 12,2% et les troubles génito-urinaires par 8,4%. Les autres affections, à savoir les affections ostéoarticulaires, les affections métaboliques, les affections neurologiques, les affections dermatologiques et les affections cardiovasculaires, présentent des taux faibles (6,6%, 6,5%, 5,9%, 5,4% et 4% respectivement). Plusieurs études ont confirmé des résultats similaires concernant la qualité de l'utilisation ethnobotanique des PAM dans différentes régions du Maroc (p. ex. [Lahsissène et al. 2009](#), [Mehdioui & Kahouadji 2007](#), [Willy et al. Kahouadji 2007](#), [Wahid 2013](#)). Ils ont noté que les maladies digestives occupent la première place dans l'utilisation des plantes médicinales et aromatiques.

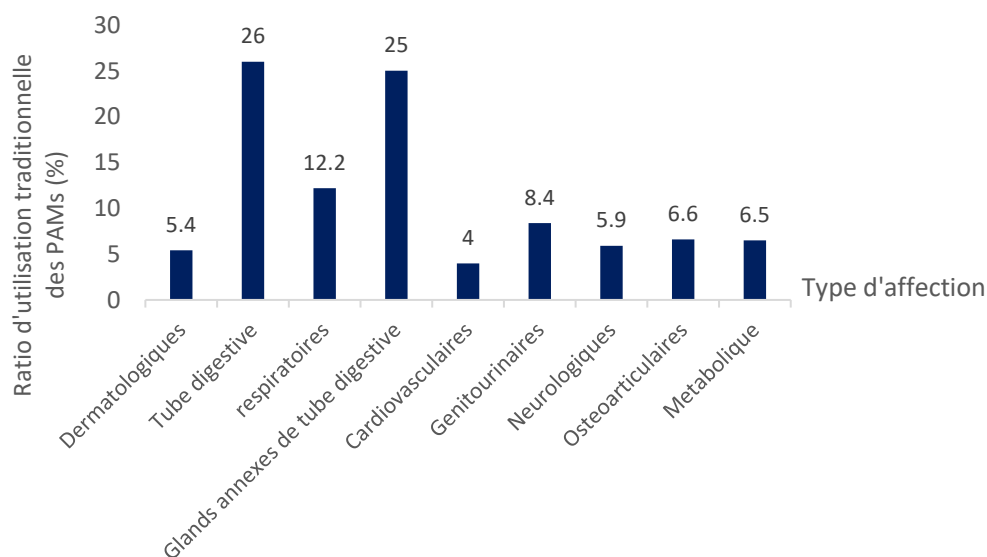


Figure 14 : Répartition des taux d'utilisation ethnobotanique des PAM commercialisés en fonction des pathologies traitées dans la zone d'étude.

Pour la plupart des PAMs commercialisées dans la zone d'étude, les feuilles sont la partie biologique la plus utilisée (Fig. 15). Le taux d'utilisation des feuilles est de 37 %. Le taux d'utilisation de la tige pour les traitements traditionnels est de 21,2 %, suivi par la plante entière (18,2%). Les fruits et les fleurs sont utilisés pour les soins traditionnels avec un taux 10,4 %, suivis par le rhizome (9,7 %). Les graines, les écorces et les bulbes sont consommés par un pourcentage cumulé de 3,5 % (Fig. 15). Selon [Ouattara \(2006\)](#), l'élimination de 50% des feuilles d'un un arbre n'affecte pas significativement sa survie. Bien que les méthodes actuelles de récolte des écorces et des racines ne garantissent pas toujours la pérennité de l'espèce. [Hachi \(2015\)](#) a considéré que les arbres étaient les types morphologiques les plus vulnérables à ce

mode d'exploitation. Les bulbes ou tubercules pérennes représentent une autre catégorie d'espèces menacées par l'exploitation excessive de leurs parties souterraines (Hachi, 2015). Ainsi, la collecte de la biomasse influence d'une manière directe la quantité en graines surtout celles des plantes annuelles qui aura généralement un impact plus important sur la survie de l'espèce que celle des graines de plantes pérennes (Hachi, 2015).

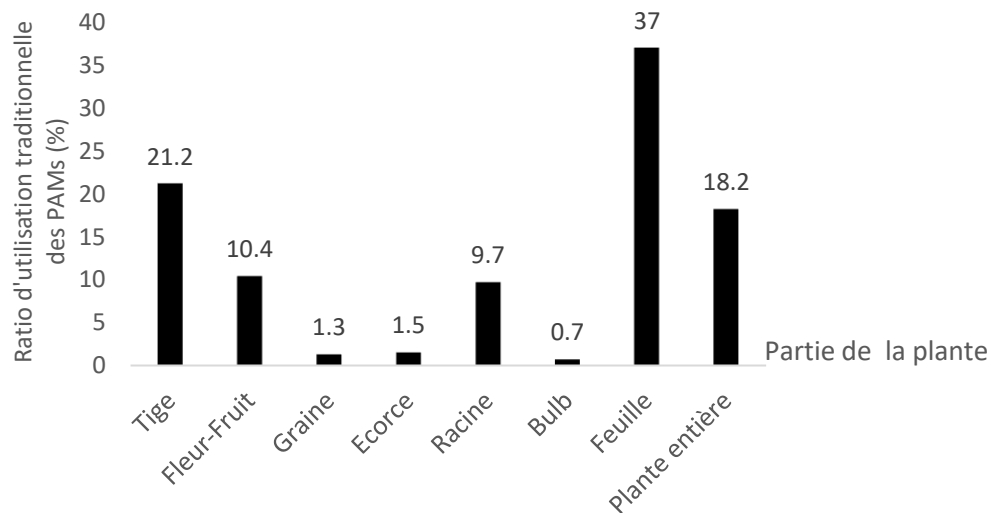


Figure 15 : Taux d'utilisation des différentes parties biologiques des PAM par les populations de la zone d'étude.

2.2. Potentiel d'utilisation des PAMs commercialisées en fonction des éléments socioculturels de la zone d'étude

2.2.1. Potentiel d'utilisation des PAMs commercialisées en fonction de l'âge

L'utilisation des PAMs commercialisés dans la zone d'étude étant répandue dans toutes les tranches d'âge avec une prédominance chez les personnes âgées de 40 à 50 ans (33,6 %) (Tableau 8). Les personnes de 30 à 40 ans, de 50 à 60 ans et de plus de 60 ans venaient ensuite avec des taux de 27,1 %, 22,5 % et 22,5 % respectivement avec des taux respectifs de 27,1 %, 22,1 % et 10,7 % (Tableau 8). Dans le groupe d'âge de 20 à 30 ans, le taux d'utilisation des PMA était 6,4 % (Tableau 8). La connaissance des propriétés et des utilisations des plantes médicinales était généralement acquise par une longue expérience accumulée et transmise d'une génération à l'autre. La transmission de ces connaissances est actuellement en danger car elle n'est pas toujours assurée (Anyinam, 1995). Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les personnes appartenant à la tranche d'âge de 40 à 50 ans avaient plus de connaissances sur l'utilisation ethnobotanique par rapport aux autres groupes d'âge. La perte des informations ethnobotaniques sur les PAMs était remarqué chez la tranche d'âge des jeunes, qui ont une tendance à ne plus croire en cette médecine traditionnelle pour leur sécurité médicale.

2.2.2. *Potentiel d'utilisation des PAMs commercialisés en fonction du sexe*

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les femmes et les hommes sont concernés par la médecine traditionnelle, avec une légère prédominance des femmes. Parmi ceux qui pratiquent la médecine traditionnelle, 51,8 % sont des femmes et 48,2 % sont des hommes (Tableau 8). Ceci pourrait être expliqué par le fait que les femmes sont traditionnellement les dépositaires des secrets des plantes médicinales. Elles utilisent les plantes dans d'autres domaines que la thérapie et sont conscientes de leur responsabilité en tant que mères. Ce sont elles qui donnent les premiers soins en particulier pour leurs enfants. Héritières d'un riche savoir familial, par la transmission des connaissances, elles témoignaient avant tout, d'un savoir adapté à leur famille et à leurs besoins (Aquaron, 2005). Plusieurs études ont montré que les femmes sont davantage détentrices de connaissances phytothérapeutiques traditionnelles (Mehdioui & kahouadji, 2007 ; Benkhniq, 2011 ; Benlamdini, 2014 ; Daoudi, 2015).

Tableau 8: Potentiel d'usage du Myrte selon les éléments socio-culturels de la zone d'étude

Éléments socio-culturels des enquêtés	Âges (ans)					Sexe		Niveau scolaire			
	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	Féminin	Masculin	Néant	Primaire	Secondaire	Universitaire
Taux d'utilisation des PAMs (%)	6.4	27.1	33.6	22.2	10.7	51.8	48.2	76.4	16.8	3.9	2.9
Taux d'utilisation du Myrte (%)	0	32	48	20	0	72	28	52	24	16	8

2.2.3. *Potentiel d'utilisation des PAMs commercialisés selon le niveau d'éducation*

La population analphabète a traditionnellement une tendance à utiliser les plantes plus que les autres catégories du niveau intellectuel avec un taux de 76,4 % (Tableau 8). Les personnes ayant un niveau d'éducation primaire ont un pourcentage significatif de d'utilisation des plantes (16,8%). Les personnes ayant une éducation secondaire et universitaire ont moins recours à la phytothérapie (3,9 % et 2,9 % respectivement).

2.3. *Utilisation ethnobotanique du myrte dans la zone d'étude*

Les enquêtes réalisées auprès de la population habitant le piémont et la haute montagne (14 strates, Tableau 5) de la région de Beni Mellal-Khenifra ont révélé que l'utilisation du myrte a été citée par 25 personnes interrogées, soit un pourcentage de près de 9%, par rapport à l'ensemble des 280 personnes interrogées (Fig. 16). Ceci montre que le myrte commun occupe une place non négligeable dans la médecine traditionnelle de la population de la zone d'étude

par rapport aux plantes locales pour l'usage ethnobotanique et pharmacologique. Malgré que le myrte ne constitue pas une plante locale ou domestiquée dans la région d'étude, la population l'achète pour ses usages traditionnels. Le flux migratoire d'informations sur l'importance et la valeur ethnobotanique enregistré dans plusieurs régions du Maroc (Wahid, 2013), où les forêts du myrte sont naturelles, est très élevé entre les régions du nord et du sud du Maroc.

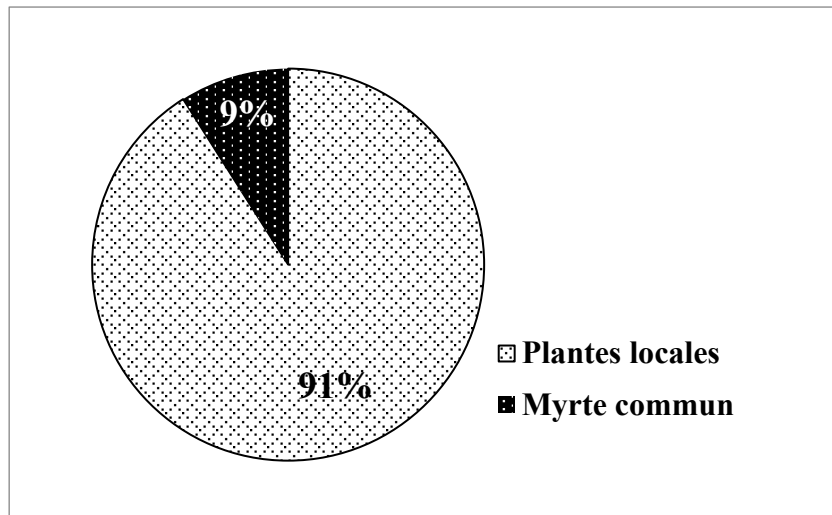


Figure 16 : Pourcentage d'usage ethnobotanique du Myrte commun par rapport aux PAMs locales commercialisées de la zone d'étude.

Ainsi, l'analyse des informations recueillies sur les usages ethnobotaniques dans la région d'étude nous a permis d'identifier un certain nombre d'usages thérapeutiques et cosmétiques du myrte (Tableau 7). L'analyse du résultat des usages ethnobotaniques du myrte dans la région d'étude a montré qu'il est principalement utilisé dans le traitement des anomalies dermatologiques avec un pourcentage de 44% (Fig.17), à savoir : tonifier la peau, contrôler la chute des cheveux, adoucir et foncer les cheveux. D'autres utilisations du myrte incluent le traitement des anomalies métaboliques telles que le diabète avec un pourcentage de 24%, les maladies du tube digestif (16%, Fig.17), et les maladies des annexes glandulaires du tube digestif (16%, Fig.17) comme traitement antibactérien et antiseptique. De même, dans les autres régions du Maroc, à savoir les régions de Taounate et Taza (Nord du Maroc), Zaër (Ouest du Maroc), et les oasis de Rissani (Sud-Est du Maroc), les utilisations les plus fréquentes du myrte commun dans la médecine traditionnelle sont les soins capillaires et les troubles gastro-intestinaux (Bellakhdar et al., 1991 ; ElHilaly et al., 2003 ; El Mansouri et al., 2011 ; Khabbach et al., 2012 ; Lahsissène et al., 2009). En plus de ces utilisations en médecine traditionnelle révélées dans la région de Beni Mellal-Khenifra, il faut noter que l'infusion de feuilles de myrte est utilisée contre les maladies respiratoires, les maladies cardiaques et la constipation dans d'autres régions du nord du Maroc (El-Hilaly et al., 2003 ; Ennabili et al., 2000 ; González-

Tejero et al., 2008). Aussi, les feuilles de myrte sont exploitées en extraits aromatiques et en huiles essentielles extraites par plusieurs coopératives et associations dans les régions du nord du Maroc (Ghanmi et al., 2011). En pastoralisme, il constitue une source de matière organique pour les animaux (Ennabili et al., 2000).

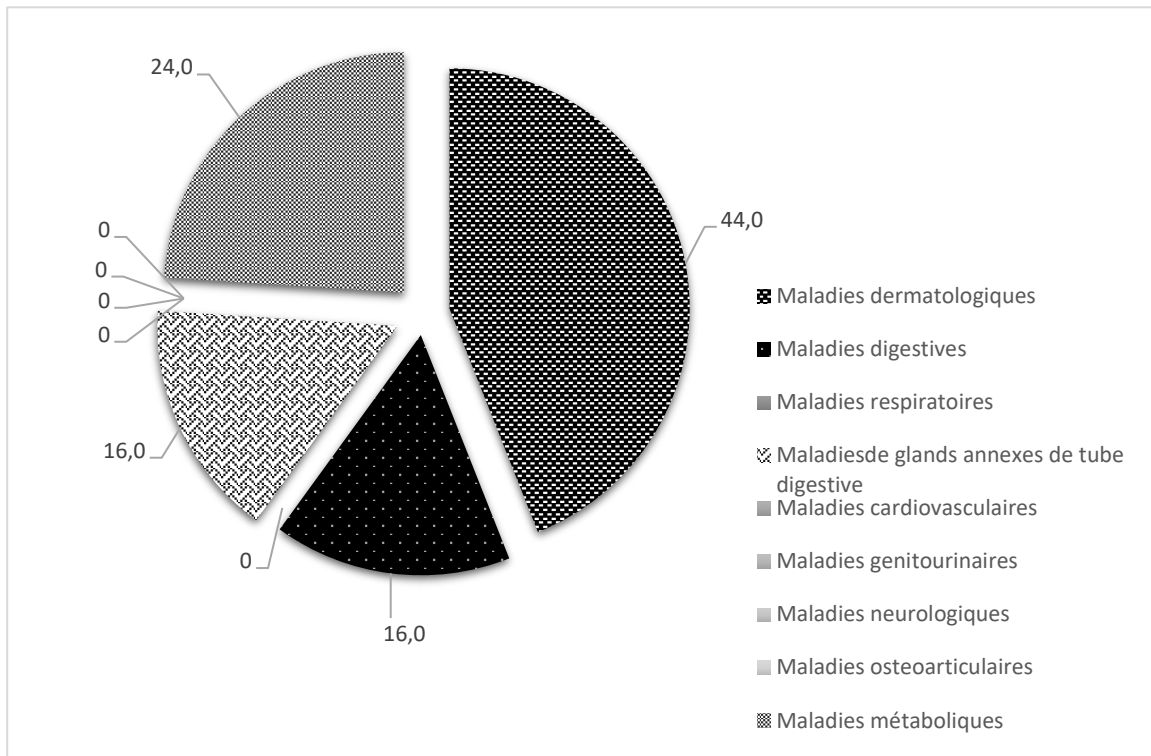


Figure 17 : Usage traditionnel du myrte dans la zone d'étude selon différents traitements thérapeutique et cosmétique.

D'après les résultats des enquêtes réalisées dans le cadre de cette étude, il est très clair que tous les utilisateurs se réfèrent aux expériences d'autres régions et aux instructions des Aachabes (herboristes) pour utiliser le myrte comme un remède contre les traitements thérapeutiques et cosmétiques traditionnels (Fig. 18). Cependant, aucun des répondants n'a déclaré qu'il se base sur la lecture ou le pharmacien pour utiliser cette plante comme remède (Fig. 18). Ceci reflète l'image de la transmission relative des pratiques traditionnelles et des connaissances thérapeutiques d'une région à l'autre au fil du temps.

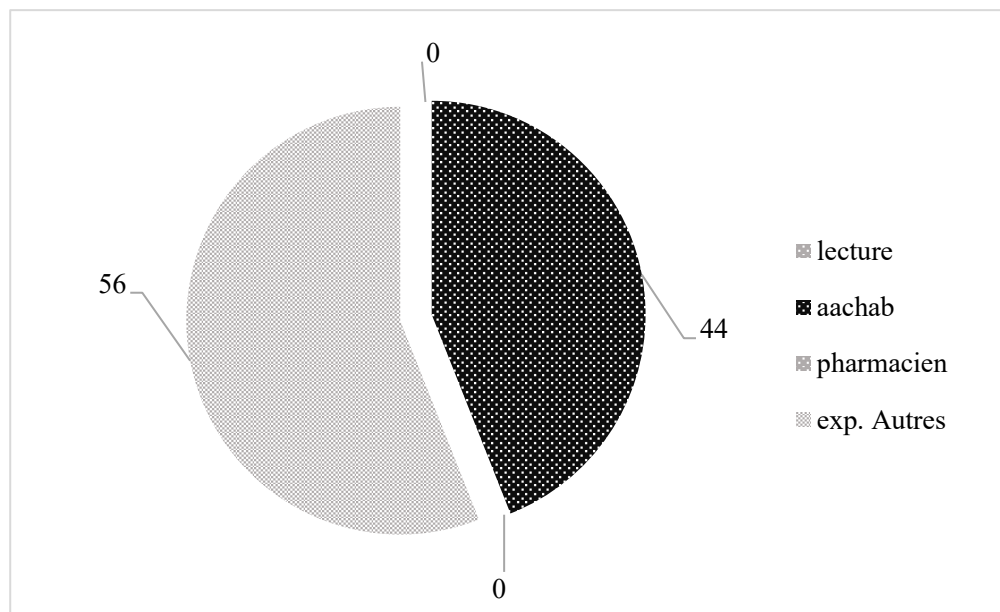


Figure 18 : Usage traditionnel du Myrte dans la zone d'étude selon l'origine de la diffusion de l'information.

2.4.Méthodes d'utilisation du myrte dans la zone d'étude

a. Partie de la plante utilisée

Dans la zone d'étude, on constate que tous les enquêtés utilisent uniquement les feuilles de myrte (Tableau 9) dans la préparation des recettes pour traiter et remédier aux anomalies thérapeutiques et cosmétiques déclarées. La revue synthétique réalisée par [Wahid \(2013\)](#) a noté que les feuilles sont la seule partie du myrte commun utilisée en médecine traditionnelle au Maroc. Ce résultat pourrait s'expliquer par la raison que les gens croient que tous les composés actifs sont concentrés uniquement dans les feuilles de la plante. Or, les principes actifs peuvent être situés dans différentes parties des plantes aromatiques et médicinales (feuilles, fleurs, racines, écorce, fruits, graines, rhizome, etc, rhizome, etc.) ([Bellakhdar, 1997](#)).

b. Dose utilisée

Les résultats de l'enquête ont révélé que la plupart des personnes interrogées n'utilisent pas de doses spécifiques, mais ils n'envisagent pas de fortes doses dans les recettes de myrte pour éviter les risques de toxicité. L'utilisation des plantes en médecine traditionnelle ne peut être toxique que par une utilisation répétée, prolongée et excessive dans le régime alimentaire quotidien ([Bellakhdar, 2006](#)).

c. Mode d'emploi des feuilles de myrte

L'analyse des résultats de l'enquête dans la zone d'étude a montré que les feuilles de myrte sont utilisées de deux manières : les tisane (52%) et la poudre (48%) (Tableau 9). En revanche, la population n'utilise pas le myrte sous forme d'huiles essentielles ou d'huiles grasses en raison du manque de connaissances et de matériel pour l'obtention de ces composés et en raison de leur coût élevé.

d. Méthode de préparation des recettes à base de feuilles de myrte

D'après le tableau 9, on constate que la décoction et l'infusion aqueuses sont les méthodes de préparation des recettes de feuilles de myrte dans la région de Béni Mellal-Khénifra avec une proportion de 40% et 56%, respectivement. Ces proportions montrent que la population locale croit en mode de décoction et elle le trouve convenable pour les traitements thérapeutiques et cosmétiques, à savoir que la décoction recueille les principes les plus actifs et réduit ou annule les effets toxiques de certaines recettes (Salhi et al., 2010).

Tableau 9: Usages thérapeutique et cosmétique de Myrte dans la zone d'étude.

Partie utilisée	Mode d'emploi	Mode de préparation	Usages
Feuilles (100%)	Tisane (52%) Poudre (48%)	Infusion (40%) / décoction (56%) = 96 % Cru (4%)	<ul style="list-style-type: none">• L'infusion et la décoction des feuilles sont utilisées contre les spasmes, le diabète et les anomalies gastro-intestinales, ainsi que pour la tonification de la peau.• Les feuilles en décoction sont employées pour l'adoucissement et la tonification des cheveux.• La poudre des feuilles du myrte mélangé au henné est utilisée pour le noircissement et le contrôle de la chute des cheveux.

2.5. Potentiel d'utilisation de Myrte en fonction des éléments socioculturels de la zone d'étude

2.5.1. Potentiel d'utilisation du myrte en fonction de l'âge

L'utilisation du myrte est très répandue chez les personnes âgées de 40 à 50 ans (48%), suivies de la tranche d'âge de 30 à 40 ans (32%) et ceux âgés de 50 à 60 ans (20%) (Tableau 8). En revanche, les personnes âgées de moins de 30 ans et plus de 60 ans n'utilisent pas

fréquemment le myrte. Ces résultats montrent que les personnes de la tranche d'âge de 40 à 50 ans ont plus de connaissances sur les usages du myrte par rapport aux autres tranches d'âge. La connaissance des propriétés et des usages du myrte est généralement acquise à la suite d'une longue expérience accumulée et transmise d'une génération à l'autre. La transmission de ce savoir est actuellement en danger car elle n'est pas toujours assurée auprès des jeunes générations (Anyinam, 1995). L'expérience accumulée avec l'âge est la principale source d'information au niveau local sur l'utilisation du myrte commun dans les pratiques traditionnelles. Ce résultat révèle également une perte d'informations sur les pratiques ethnobotaniques, suite à la méfiance des jeunes. Ces derniers n'ont plus de tendance à croire en cette médecine traditionnelle pour leur sécurité médicale.

2.5.2. Potentiel d'utilisation du myrte selon le genre

Dans la zone d'étude, les femmes et les hommes sont concernés par l'utilisation du myrte, avec une prédominance des femmes. En effet, parmi les individus enquêtés, 7 hommes (28%) déclarent qu'ils utilisent le myrte dans les soins traditionnels, à l'inverse, 18 femmes (72%) ont déclaré l'utilisation du myrte (Tableau 8). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les femmes sont traditionnellement les dépositaires des secrets de plantes médicinales. Ainsi, elles utilisent les plantes dans domaines thérapeutiques avec leur responsabilité comme mères. Ce sont elles qui donnent les premiers soins, notamment pour leurs enfants. Héritières d'un riche savoir familial, par la transmission des connaissances, elles témoignaient avant tout, d'un savoir adapté à leur famille et à leurs besoins (Aquaron, 2005). Ces résultats confirment d'autres études ethnobotaniques menées au niveau national, qui ont montré que les femmes sont davantage détentrices des connaissances traditionnelles de connaissances phytothérapeutiques.

2.5.3. Potentiel d'utilisation du myrte selon le niveau d'éducation

Parmi tous les utilisateurs ethnobotaniques du myrte, les personnes analphabètes dominant avec un pourcentage de 52% (Tableau 8). Les personnes qui ont un niveau d'éducation primaire utilisent le myrte dans certains soins avec un pourcentage de 24%, suivi par ceux qui ont un niveau académique du secondaire (16%). Alors que les universitaires n'utilisent pas fréquemment le myrte dans la médecine traditionnelle.

Conclusion

La présente étude nous a permis de révéler que la plupart des PAMs commercialisées sont utilisées principalement dans les soins de l'appareil digestif et des glandes attachées au tube digestif. Le feuillage est la partie la plus utilisée dans le traitement de ces affections, et la décoction représente le mode de préparation la plus pratiquée par la population locale. Les résultats obtenus dans cette étude montrent qu'il serait possible d'utiliser certaines plantes dans le cadre du développement socioéconomique et en particulier dans le monde rural marocain par la création des unités de leur valorisation et de leur commercialisation. Parmi les PAMs commercialisés, on trouve le myrte commun. Suite à ses vertus cosmétiques et thérapeutiques, cette plante est devenue une espèce importante au Maroc et au niveau international.

L'analyse des résultats ethnobotaniques obtenus dans cette étude a montré que la partie foliaire du myrte occupe une importance significative dans la phytothérapie traditionnelle dans la région de Beni Mellal-Khénifra. Elle a confirmé les vertus thérapeutiques et cosmétiques utilisées dans les autres régions du Maroc. Le sexe féminin, âgé entre 40 et 50 ans, utilise traditionnellement les PAMs commercialisés ainsi que le myrte plus que le sexe masculin. Quel que soit le sexe, les analphabètes utilisent les PAMs plus que les personnes instruites. Toutes les informations recueillies sur les plantes utilisées en phytothérapie dans la zone d'étude montrent la richesse des connaissances de la population locale qui a un niveau social rudimentaire. En considérant l'importance de l'utilisation du myrte au Maroc ou à l'international et suite à ses vertus cosmétiques et thérapeutiques, il est temps de sensibiliser et d'enrichir les connaissances sur les bienfaits traditionnels de cette espèce dans la région de Béni Mellal-Khénifra dans un cadre de durabilité.

La région de Béni Mellal- Khénifra doit mettre en perspective le développement de cette espèce d'avantage, à travers des produits destinés à l'industrie cosmétique et à la parfumerie, à la phytothérapie et à l'industrie pharmaceutique, mais surtout à l'industrie alimentaire. La population locale de la région devrait être encouragée à cultiver cette espèce et d'introduire des variétés améliorées ayant une valeur économique et d'importants avantages sociaux et écologiques. En effet, la valorisation de ces pratiques traditionnelles pourrait constituer une base empirique pour la recherche scientifique dans le cadre de la recherche de molécules et se substances bioactives et de la valorisation du niveau social local par la création de postes d'emploi.

CHAPITRE IV :
CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES
POPULATIONS NATURELLES DU MYRTE

Introduction

Compte tenu de l'importance et la valeur économique du myrte, la demande de la biomasse de cette espèce est devenue de plus en plus accentuée (Wahid, 2013). Toutefois, la récolte de sa matière première est effectuée d'une manière irrationnelle et non contrôlable à partir des populations naturelles. Ceci induit une forte pression sur ses ressources et par conséquence, l'étendue de ses populations naturelles diminue progressivement (Messaoud et al., 2006 ; Wahid et al., 2018). Ceci suggère l'instauration, des programmes de conservation et d'amélioration génétique de cette espèce afin de rationaliser son exploitation et de contrôler la balance entre l'offre et la demande de ses ressources. La mise en œuvre de ces programmes, repose sur des études de la diversité génétique intra et inter populations. Cependant, la domestication et l'amélioration génétique de cette espèce sont soutenues par une base de données sur la variation génétique pour sélectionner des individus performants, mais également adaptées aux aléas climatiques.

L'étude de la diversité morphologique des plantes a récemment gagné une importance en étude systématique et botanique (Passioura et Ash, 1993 ; Wahid et al., 2018). Les études morphologiques multivariées sont considérées comme efficaces pour résoudre l'incertitude taxonomique (Cook et Ladiges, 1991) et pour déterminer les taxons des espèces (Passioura et Ash, 1993). De plus, les traits morphologiques sont essentiels pour faire un premier inventaire de la description de la variabilité génétique du myrte.

Au niveau de bassin méditerranéen, plusieurs études ont évalué la diversité génétique du *Myrtus communis* L. utilisant les différents marqueurs morphologiques, allozymes et moléculaires (cas de RAPD, ISSR, SSR, AFLP et microsatellite) (Messaoud et al., 2006 ; 2011 ; Agrimonti et al., 2007 ; Albaladejo et al., 2008 ; Nora et al. 2015 ; Melito et al., 2013a, 2014 ; 2016). La plupart de ces études confirme une différenciation génétique entre les populations et un taux d'homozygotie élevé intra population. A l'échelle du Maroc, il y a peu d'études sur la diversité génétique de myrte qui restent fragmentaires en utilisant les marqueur morphologiques (Wahid et al. 2016). Ces auteurs ont montré un effet faible de la population sur la variabilité des traits morphologiques étudiés. Mais ils ont recommandé d'augmenter l'amplitude d'échantillonnage. Ainsi l'objectif de la présente étude consiste à étudier la variabilité génétique entre et intra populations naturelles du Maroc, et d'évaluer le taux de corrélation entre les traits morphologiques et les conditions écologiques et géographiques.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

Dans le but de couvrir toutes les zones biogéographiquement distinctes de l'aire de répartition du myrte au Maroc de point vue écologique et climatique, nous avons effectué l'échantillonnage de ladite espèce à partir des forêts naturelles dominées par les chênaies et parfois par les peuplements de reboisement de pin d'Alep, et dans des ravins caractérisés par des sols de nature argileuse, argilo-limoneuse, argilo-marneuse, argilo-calcaire et marneuse. Ces sites d'échantillonnage se caractérisent par trois types de bioclimats à savoir : le sub-humide, l'humide et le per-humides et également par des systèmes phytosociologiques différents. La collecte des échantillons pour cette étude a été effectuée systématiquement entre Novembre 2016 et Janvier 2017 pendant la période de maturation de fruit de myrte. Douze populations naturelles ont été sélectionnées dans différentes régions biogéographiques, dans la partie nord et le centre du Maroc (le pré-rif, le rif occidental et le plateau centrale) (Fig. 19 ; Tableau 10).

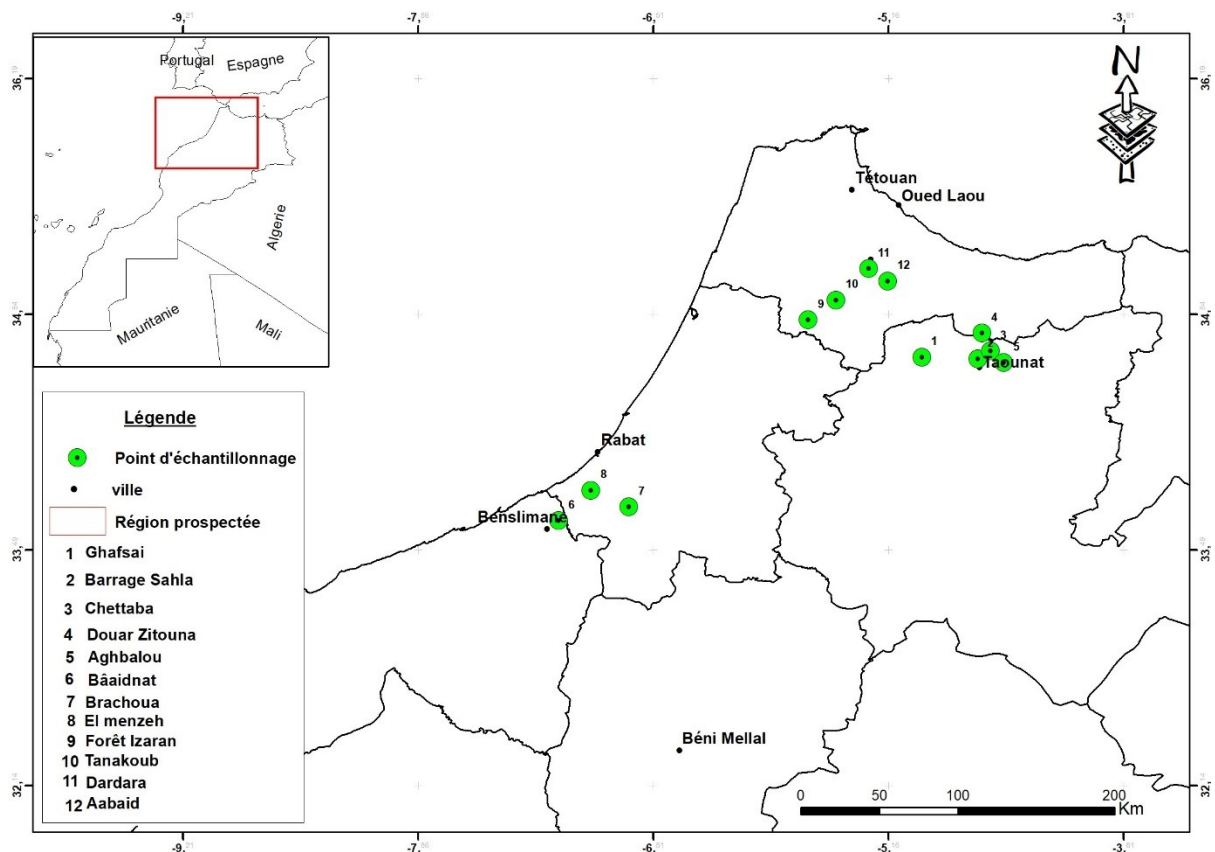


Figure 19 : Sites d'échantillonnage des populations naturelles de myrte étudiées.

Pour chaque population, entre neuf et dix-neuf arbres ont été sélectionnés au hasard pour la collecte de feuilles et de fruit (Tableau 10). La différence dans le nombre d'arbres collectés est due à l'étendu et le nombre des individus de chaque population (Wahid et al 2018).

Tableau 10 : Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'échantillonnage et le nombre d'échantillons par population (N).

Population	Code	N	Zones écologiques	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pr (mm)	T (°C)	Etage bioclimatique
Ghafsai	GHA	11	Pré-rif	34°35' 39.8"N	04°57' 59.5"W	441	772	18,1	Sub-humide
Barrage sahla	SAH	11		34°35' 02.1"N	04°38' 37.7"W	460	653	17,7	Sub-humide
Chettaba	ZRI	11		34°37' 46.8"N	04°34' 17.4"W	380	608	18	Sub-humide
Douar zitouna	IKA	11		34°43' 53.4"N	04°37' 19.8"W	475	654	17,2	Sub-humide
Aghbalou	AGH	9		34°33' 47.6"N	04°29' 47.1"W	439	595	17,5	Sub-humide
Bâaidnat	BS	11	Plateau central	33°39' 28.4"N	07°02' 59.7"W	275	470	16,7	Sub-humide
Kourifla	BRA	19		33°49' 57.7"N	06°51' 57.2"W	220	469	17	Sub-humide
El Menzeh	RAB	11		33°44' 10.8"N	06°38' 52.9"W	332	484	17,2	Sub-humide
Forêt Izaran	IZA	13	Rif	34°48' 29.0"N	05°37' 06"W	411	742	18,5	Humide
Parc Bouhachem	BOUH	15	Occidental/Nord	34°55'25.6"N	05°27'27.9"W	285	871	17,7	Humide
Centre Ikejioun	DAR	10		35°06'11"N	05°16'23"W	450	805	16,9	Humide
Aabaïd	BT	11		35°01'48"N	05°09'43"W	745	984	15,9	Humide

Un total de 144 arbustes (53 de la région de pré-rif, 50 de rif occidental et 41 du plateau central), 2880 feuilles et 2880 fruits ont été échantillonnés. Les échantillons collectés (feuilles et fruits) ont été conservés dans des sacs en papier au laboratoire à -20 °C jusqu'à leur utilisation future. Les mesures morphologiques ont été effectuées sur les mêmes arbres où les feuilles et les fruits ont été échantillonnés.

1.2. Étude morphologique

Le prélèvement des échantillons a été effectué au niveau de l'étage médian des arbustes, dont nous avons prélevé au hasard trois à cinq rameaux afin de récolter les feuilles et les fruits. Vingt feuilles ont été prélevés à partir de ces rameaux et conservés à -20°C dans des sacs en plastique bien identifiés par leurs fiches de récolte (Annexe 2) (Date, lieu de collecte et nombre d'individu par population). De même, vingt fruits ont été prélevés de différents niveau de la plante et conservés à -20°C dans des sacs en plastique. Ces échantillons en feuilles et fruits sont utilisés pour la mesure de différents traits morphologique (Fig. 20). Un nombre de 26 traits ont été mesurés par arbuste, feuille et fruit pour chaque individu. Seize traits quantitatifs et dix traits qualitatifs étudiés avec les méthodes de mesures et les unités sont décrits dans le tableau 11. Le

choix des caractères morphologiques mesurés a été fait en s'inspirant de descripteur de *Pistacia vera* L. publiés par l'[IPGRI \(1997\)](#).

Tableau 11: Traits morphologiques et pomologiques mesurés pour les populations de myrte du Maroc.

Partie de la plante	Caractère quantitatif	Code	Unité de mesure	Méthode de mesure	Caractère qualitatif	Code	Valeur
Plante	Longueur de plante	LGP	m	Mètre	Vigueur de la plante	VP	3 : Faible ; 5 : Moyenne ; 7 : Forte
	Largeur de la plante	LRP	m	Mètre	Ramification de la plante	RAM	3 : Clairsemée ; 5 : Moyenne ; 7 : Dense
	Diamètre des rameaux	DIA	cm	Mètre ruban	Dominance apicale	DA	3 : Faible ; 5 : Moyenne ; 7 : Forte
Fruit	Poids des 20 fruits	PF	g	Balance de précision.	Forme du fruit	FF	1 : Arrondi ; 2 : Ovoïde ; 3 : Allongé
	Longueur du fruit	LGF	mm	Pied à coulisse électronique	Couleur du fruit	CF	1 : Vert ; 2 : Violet claire ; 3 : Violet foncé ; 4 : Noir
	Largeur du fruit	LRF	mm	Pied à coulisse électronique			
	Rapport entre LGF et LRF	LGF/LRF	-				
	Longueur de la graine	LGG	mm	Pied à coulisse électronique			
	Largeur de la graine	LRG	mm	Pied à coulisse électronique			
	Rapport entre LGG et LRG	LGG/LRG	-				
	Poids moyen des graines	PG	mg	Balance de précision.			
	Nombre de graines/ fruit	NTG/F	-	Comptage			
	Poids total des graines/fruit	PTG/F	mg	Balance de précision.			
Feuille	Longueur de la feuille	LGFe	cm	Pied à coulisse électronique	Bord de la feuille	BFe	- 1 : plat ; 2 : ondulé.
	Largeur de la feuille	LRFe	cm	Pied à coulisse électronique	Forme de la feuille	FFe	- 1 : Lancéolée élargie, - 2 : Elliptique, - 3 : Ovale.
	Rapport entre LRFe et LGFe	LRFe/LGFe	-		Couleur de la feuille	CFe	- 1 : verte clair, - 2 : vert, et - 3 : vert foncé.
					Forme de la base de la feuille	FBFe	: - 1 : Atténuée, - 2 : Obtuse, - 3 : Tronquée, et - 4 : Oblique.
					Forme de l'apex de la feuille	FAFe	- 1 : Acuminé, - 2 : Mucroné, et - 3 Mucronulé.

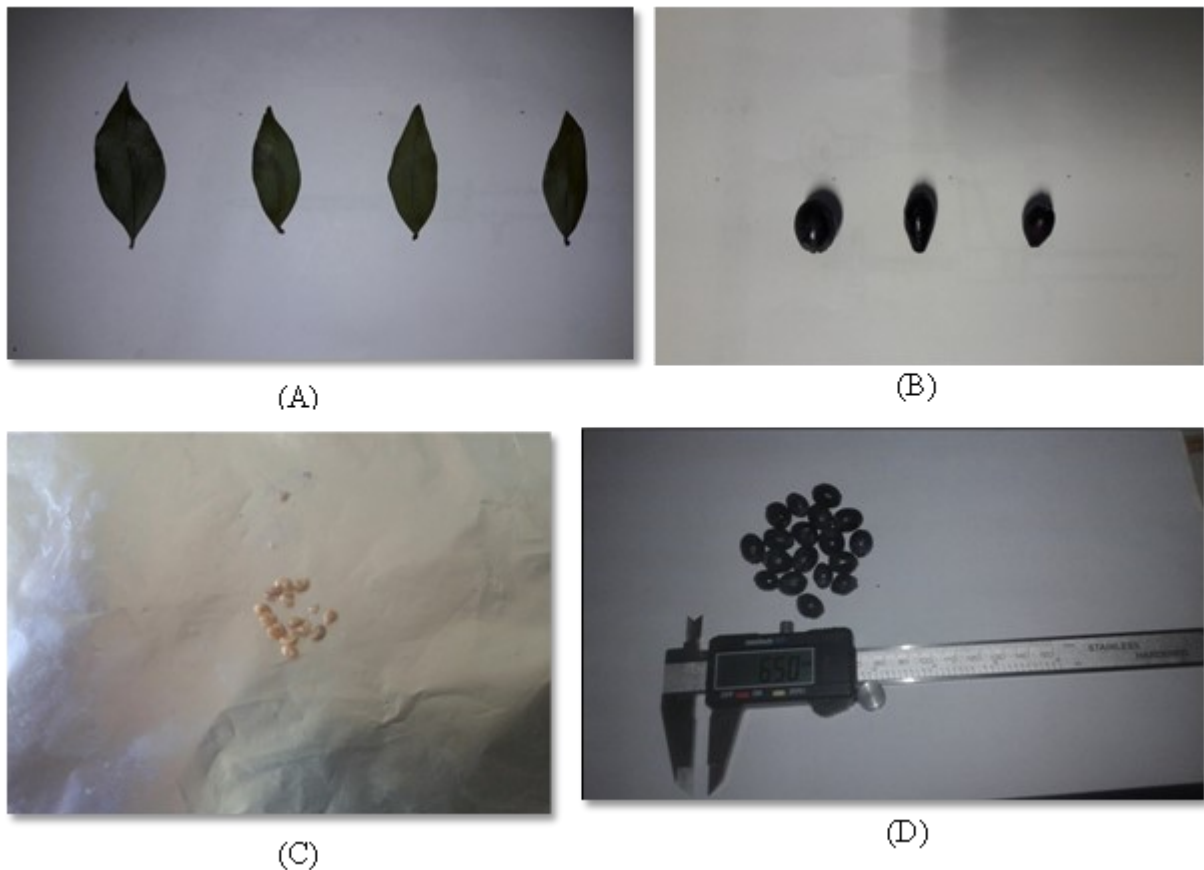


Figure 20 : Différentes formes de : (A) feuille, (B) fruit, (C) graines ; (D) outil de mesure de différents traits (pied à coulisse).

1.3. Analyse des données

Les données obtenues ont fait l'objet des analyses statistiques afin de définir la variabilité intra-population et inter-population existante pour les populations naturelles de myrte étudiées. Les statistiques descriptives pour les caractères quantitatifs et qualitatifs, ont permis d'apprécier les niveaux de variation des moyennes pour chaque caractère, en calculant le coefficient de variation (CV) et les fréquences (F). La comparaison des moyennes pour les caractères quantitatifs étudiés a été effectuée par l'analyse unidirectionnelle de la variance (ANOVA), ainsi que la corrélation entre les caractères quantitatifs a été effectuée en se basant sur le coefficient de corrélation de Pearson (r). L'ensemble des caractères mesurés a servi à réaliser une analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique sur la matrice de leurs valeurs moyennes. Les trois premières composantes principales ont été utilisées pour d'autres analyses. La corrélation de Spearman non-paramétrique, a été utilisée pour étudier la corrélation entre les moyennes des populations pour chaque trait morphologique et les composantes principales, avec les facteurs environnementaux (climatiques et géographiques)

tels que l'altitude, la latitude, la longitude, les précipitations et les précipitations. Une analyse de classification hiérarchique a été réalisée sur la base de la matrice des moyennes des traits mesurés. Toutes ces analyses ont été réalisées par le logiciel IBM SPSS Statistics for Windows, version 20.0 (2011).

2. Résultat

2.1. Caractéristiques quantitatives

Les statistiques descriptives pour tous les caractères quantitatifs mesurés sont présentées dans les tableaux 12 et 13. Les valeurs des moyennes montrent des niveaux élevés de variation pour les traits étudiés. L'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les populations de *Myrtus communis* étudiées pour la plupart des caractères quantitatifs ($P < 0.001$) qui pourrait être expliquée par la diversité morphologique entre les individus qui composent ces populations.

Ainsi, les valeurs de coefficient de variation (CV) ont montré que le poids total des graines par fruit (PTG/F), le nombre total des graines par fruit (NTG/F), le poids de 20 fruits (PF), la longueur de la plante (LGP), le poids moyen des graines et la largeur de la plante présentent des variations plus importantes entre les populations ($CV > 41\%$). Tandis que le rapport entre la longueur et la largeur de la graine ($R(LGG/LRG)$), la longueur de la graine (LGG), la longueur de fruit (LGF), la largeur de fruit (LRF), le rapport $R(LGF/LRF)$ et le diamètre des rameaux (DIA) ont montré des variations relativement faibles entre les populations ($CV < 20\%$).

Le poids total des graines par fruit (PTG/F) varie de $34,83 \pm 21,68$ mg pour la population BT à $76,15 \pm 50,10$ mg pour la population RAB, avec une moyenne générale de $52,44 \pm 34,49$ mg. Quant au nombre total des graines par fruit (NTG/F), il varie de $4,24 \pm 1,92$ pour la population BRA jusqu'à $9,41 \pm 4,34$ pour la population SAH, avec un CV de 64,05 %. Tandis que le poids de 20 fruits (PF) varie de $3,60 \pm 0,89$ g pour la population BT à $8,38 \pm 2,63$ g pour la population RAB, avec une moyenne générale de $5,42 \pm 3,11$ g. En outre, les caractéristiques de l'arbuste (LGP, LRP et DIA), varient, pour la longueur de la plante (LGP) de 2 m pour la population ZRI jusqu'à $6,36 \pm 0,67$ m pour la population IKA avec une moyenne de $2,69 \pm 1,54$ m ($CV = 57,18\%$), pour la largeur de la plante (LRP) de $1,84 \pm 1,07$ m pour la population BRA à $4,18 \pm 0,40$ m pour la population IKA ($CV = 41,0\%$) et pour le diamètre des rameaux (DIA), il varie de $2,06 \pm 0,13$ cm pour la population BS jusqu'à $2,89 \pm 0,33$ cm pour la population

AGH, avec une moyenne de $2,70 \pm 0,49$ cm (CV=18,15 %). Alors que la longueur des feuilles (LGFe) varie de $3,67 \pm 0,64$ cm et $3,67 \pm 0,85$ cm pour les populations AGH et SAH respectivement jusqu'à $4,60 \pm 0,83$ cm pour la population BT avec une moyenne de $4,20 \pm 0,85$ cm. La largeur de la feuille (LRFe) varie de $1,20 \pm 0,40$ cm pour la population ZRI jusqu'à $1,54 \pm 0,53$ cm pour la population BS avec une moyenne de $1,48 \pm 3,52$ cm et un CV de 31,99 %.

Tableau 12 : Caractères quantitatifs mesurés pour l'arbuste et les feuilles. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; coefficient de variation (CV) (%) et la signification de la variation (***, $p < 0,001$).

Trait Pop	LGFe	LRFe	LRFe/LGFe	LGP	LRP	DIA
BOUH	4,57 \pm 0,67	1,48 \pm 0,35	0,33 \pm 0,09	2,06 \pm 0,13	2,53 \pm 1,36	2,47 \pm 1,19
	3,00-6,90 (14,59)	0,80-4,20 (23,47)	0,16-0,78 (26,12)	1,93-2,23 (6,22)	1,00-6,00 (53,52)	1,00-5,00 (48,13)
BRA	4,31 \pm 0,58	1,50 \pm 0,48	0,35 \pm 0,12	2,05 \pm 1,27	1,84 \pm 1,07	2,59 \pm 0,37
	3,10-8,50 (13,50)	0,92-5,90 (31,75)	0,15-1,48 (34,06)	1,00-4,00 (61,78)	1,00-4,00 (57,97)	1,90-3,07 (14,25)
BT	4,60 \pm 0,83	1,47 \pm 0,27	0,33 \pm 0,08	2,27 \pm 0,79	2,27 \pm 0,90	2,74 \pm 0,50
	1,94-7,63 (18,06)	0,91-1,98 (18,27)	0,16-0,74 (25,84)	1,00-4,00 (34,59)	1,00-4,00 (39,80)	2,07-3,75 (18,18)
DAR	4,55 \pm 0,73	1,49 \pm 0,32	0,34 \pm 0,12	1,60 \pm 0,84	2,30 \pm 0,95	2,19 \pm 0,34
	1,42-6,36 (16,10)	0,91-2,45 (21,33)	0,17-1,39 (34,38)	1,00-3,00 (52,70)	1,00-4,00 (41,25)	1,60-2,63 (15,46)
IZA	4,59 \pm 1,08	1,53 \pm 0,52	0,34 \pm 0,14	1,62 \pm 0,65	2,08 \pm 0,86	2,82 \pm 0,37
	1,00-15,00 (23,46)	0,80-5,00 (33,93)	0,12-1,40 (39,89)	1,00-3,00 (40,27)	1,00-4,00 (41,52)	2,33-3,77 (13,30)
GHA	3,69 \pm 0,61	1,30 \pm 0,48	0,38 \pm 0,06	2,27 \pm 0,47	2,09 \pm 0,30	2,85 \pm 0,29
	2,00-5,00 (16,48)	1,00-3,00 (36,83)	0,26-0,61 (15,35)	2,00-3,00 (20,55)	2,00-3,00 (14,42)	2,10-3,20 (10,06)
SAH	3,67 \pm 0,85	1,22 \pm 0,42	0,34 \pm 0,07	1,82 \pm 0,40	2,27 \pm 0,47	2,97 \pm 0,17
	2,00-8,00 (23,21)	1,00-2,00 (34,11)	0,16-0,75 (20,37)	1,00-2,00 (22,25)	2,00-3,00 (20,55)	2,67-3,20 (5,71)
ZRI	3,81 \pm 0,55	1,20 \pm 0,40	0,36 \pm 0,05	2,00 \pm 0,00	2,64 \pm 0,50	2,54 \pm 0,33
	2,00-5,00 (14,32)	1,00-2,00 (33,56)	0,27-0,58 (13,34)	2,00-2,00 (0,00)	2,00-3,00 (19,14)	1,97-3,20 (12,91)
IKA	3,82 \pm 0,73	1,39 \pm 0,51	0,52 \pm 2,12	6,36 \pm 0,67	4,18 \pm 0,40	2,88 \pm 0,21
	2,00-6,00 (19,06)	1,00-4,00 (37,05)	0,25-1,20 (22,80)	6,00-8,00 (10,60)	4,00-5,00 (9,69)	3,00-3,00 (0,00)
AGH	3,67 \pm 0,64	1,27 \pm 0,45	0,86 \pm 4,81	4,56 \pm 0,88	3,78 \pm 0,83	2,89 \pm 0,33
	2,00-5,00 (17,52)	1,00-3,00 (35,83)	1,00-3,00 (24,08)	4,00-6,00 (19,34)	2,00-5,00 (22,04)	2,00-3,00 (11,52)
RAB	4,26 \pm 0,86	1,45 \pm 0,41	0,35 \pm 0,11	3,45 \pm 0,69	3,27 \pm 0,79	2,64 \pm 0,50
	1,42-6,77 (20,17)	1,00-2,00 (28,43)	0,17-1,39 (29,90)	2,00-4,00 (19,94)	2,00-4,00 (24,04)	2,00-3,00 (19,13)
BS	4,53 \pm 0,92	1,54 \pm 0,53	0,35 \pm 0,14	2,64 \pm 0,67	2,00 \pm 0,00	2,06 \pm 0,13
	2,00-9,20 (20,34)	1,00-5,90 (34,57)	0,14-1,48 (39,57)	2,00-4,00 (25,57)	2,00-2,00 (0,00)	1,93-2,23 (6,22)
Moyenne	4,20 \pm 0,85	1,48 \pm 3,52	0,37 \pm 0,86	2,69 \pm 1,54	2,53 \pm 1,04	2,70 \pm 0,49
	1,00-15,00 (20,23)	0,80-5,90 (31,99)	0,12-1,48 (28,99)	1,00-8,00 (57,18)	1,00-5,00 (41,09)	2,00-4,00 (18,15)
F	62,934***	1,201	1,440	29,543***	9,746***	6,863***

0,001).

Tableau 13 : Caractères quantitatifs mesurés pour le fruit et les graines. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; coefficient de variation (CV) (%) et la signification de la variation (***, $p < 0,001$).

Pop	Trait	LGF	LRF	PF	R (LGF/ LRF)	NTG/F	PTG/F	PG	LRG	LGG	R (LGG/ LRG)
BOUH		10,77 \pm 1,52	1,65 \pm 1,09	4,18 \pm 1,29	1,43 \pm 0,26	4,78 \pm 2,52	38,37 \pm 25,47	12,00 \pm 5,40	3,13 \pm 0,43	4,01 \pm 0,48	1,29 \pm 0,09
		1,37-14,07 (14,16)	2,25-10,4 (14,25)	2,36-6,94 (30,86)	0,17-4,23 (18,49)	1,00-19,00 (52,73)	8,47-128,00 (25,47)	1,65-34,20 (44,98)	2,05-4,42 (13,63)	2,39-6,06 (11,95)	0,96-1,69 (6,94)
BRA		10,63 \pm 1,65	7,66 \pm 1,24	5,49 \pm 1,68	1,41 \pm 0,22	4,24 \pm 1,92	40,27 \pm 23,62	12,32 \pm 5,32	2,99 \pm 0,28	3,78 \pm 0,33	1,28 \pm 0,10
		7,24-19,77 (15,55)	3,21-11,03 (16,15)	3,86-10,10 (30,59)	0,87-3,64 (15,96)	1,00-14,00 (45,32)	9,80-150,00 (58,64)	1,74-38,00 (43,23)	2,26-4,12 (9,48)	2,89-4,67 (8,76)	1,07-1,71 (7,64)
BT		10,38 \pm 1,44	7,40 \pm 1,03	3,60 \pm 0,89	1,42 \pm 0,19	4,79 \pm 2,38	34,83 \pm 21,68	9,96 \pm 3,84	2,99 \pm 0,37	3,86 \pm 0,44	1,30 \pm 0,08
		1,37-13,08 (13,86)	4,34-9,43 (13,87)	2,36-4,93 (24,65)	0,17-2,69 (13,22)	1,00-15,00 (49,59)	8,47-113,40 (62,24)	1,65-21,45 (38,55)	2,05-4,13 (12,43)	2,39-4,82 (11,29)	1,09-1,52 (6,33)
DAR		10,91 \pm 1,31	8,17 \pm 1,04	5,19 \pm 0,81	1,35 \pm 0,19	4,53 \pm 2,37	42,76 \pm 30,00	15,37 \pm 6,28	3,40 \pm 0,46	4,30 \pm 0,53	1,28 \pm 0,12
		5,58-13,92 (11,98)	4,40-11,01 (12,67)	3,99-6,23 (15,55)	0,88-2,80 (13,95)	1,00-12,00 (52,28)	9,05-154,10 (70,16)	5,96-37,00 (40,88)	2,33-4,55 (13,55)	3,14-6,12 (12,32)	0,97-2,10 (9,26)
IZA		11,23 \pm 1,34	8,26 \pm 1,01	5,29 \pm 0,92	1,38 \pm 0,28	4,46 \pm 2,58	43,11 \pm 31,27	16,28 \pm 6,44	3,47 \pm 0,43	4,38 \pm 0,49	1,27 \pm 0,11
		5,58-14,07 (11,92)	2,25-11,01 (12,27)	3,99-6,94 (17,38)	0,88-4,23 (20,23)	1,00-19,00 (57,74)	9,05-154,10 (72,55)	5,96-37,00 (39,57)	2,51-4,55 (12,34)	3,39-6,12 (11,10)	0,96-1,71 (8,43)
GHA		10,52 \pm 1,66	7,64 \pm 1,20	5,75 \pm 1,83	1,39 \pm 0,15	7,99 \pm 4,15	66,52 \pm 31,14	9,43 \pm 3,22	2,73 \pm 0,33	3,46 \pm 0,37	1,28 \pm 0,09
		4,17-13,81 (15,74)	4,74-10,67 (15,72)	2,37-8,31 (31,87)	0,46-1,78 (11,04)	2,00-24,00 (51,98)	14,50-182,00 (46,82)	3,62-20,43 (34,13)	1,79-3,93 (12,13)	2,50-4,60 (10,81)	0,89-1,53 (6,96)
SAH		10,87 \pm 1,79	7,91 \pm 1,20	5,86 \pm 1,46	1,39 \pm 0,19	9,41 \pm 4,34	76,09 \pm 29,84	9,63 \pm 3,25	3,21 \pm 3,94	3,69 \pm 0,49	1,31 \pm 0,08
		3,15-14,74 (16,45)	5,71-13,67 (15,22)	3,34-7,56 (24,96)	0,31-1,83 (13,89)	2,00-32,00 (46,17)	6,60-232,50 (39,22)	3,94-19,60 (33,72)	2,06-45,49 (122,95)	2,73-4,87 (13,37)	1,06-1,57 (6,46)
ZRI		10,71 \pm 1,64	7,73 \pm 1,22	6,15 \pm 2,29	1,37 \pm 0,28	4,35 \pm 3,68	55,15 \pm 29,50	16,81 \pm 7,57	3,08 \pm 0,44	3,84 \pm 0,49	1,26 \pm 0,11
		3,33-21,91 (15,28)	5,11-12,56 (15,73)	3,78-13,00 (37,20)	0,47-3,11 (20,49)	1,00-22,00 (84,69)	13,50-213,70 (53,49)	6,78-43,30 (45,01)	2,17-4,32 (14,33)	2,90-5,50 (12,80)	1,00-1,85 (9,12)
IKA		8,57 \pm 1,60	6,13 \pm 1,06	7,08 \pm 8,67	1,41 \pm 0,26	4,63 \pm 2,63	64,83 \pm 40,71	15,01 \pm 4,32	3,08 \pm 0,29	3,99 \pm 0,76	1,32 \pm 0,27
		5,35-19,12 (18,62)	3,85-9,09 (17,23)	1,20-30,55 (122,35)	0,89-3,68 (18,05)	1,00-14,00 (56,77)	0,20-223,00 (62,80)	7,44-27,60 (28,77)	2,40-3,81 (9,35)	3,29-14,10 (18,94)	1,06-4,41 (20,16)
AGH		8,78 \pm 1,41	6,69 \pm 1,14	3,76 \pm 1,01	1,33 \pm 0,18	5,48 \pm 3,14	67,83 \pm 29,90	13,86 \pm 4,20	3,12 \pm 0,31	3,97 \pm 0,31	1,29 \pm 0,11
		3,51-12,46 (16,00)	4,10-10,36 (17,03)	2,55-6,08 (26,85)	0,56-2,00 (13,73)	1,00-28,00 (57,25)	1,92-199,30 (44,09)	7,28-28,77 (30,28)	2,51-3,99 (9,98)	3,25-5,71 (7,83)	1,01-1,60 (8,58)
RAB		11,24 \pm 1,66	8,80 \pm 1,55	8,38 \pm 2,63	2,00 \pm 0,61	6,05 \pm 4,30	76,15 \pm 50,10	14,83 \pm 4,79	3,05 \pm 0,35	3,88 \pm 0,42	1,28 \pm 0,12
		3,72-15,09 (14,75)	5,30-13,50 (17,63)	3,91-11,42 (31,40)	0,65-1,95 (12,18)	1,00-19,00 (71,09)	3,00-401,00 (65,80)	7,22-39,50 (32,32)	2,15-4,12 (11,36)	2,90-6,12 (10,91)	0,99-1,96 (9,61)
BS		10,98 \pm 1,40	7,82 \pm 1,09	4,36 \pm 1,32	1,43 \pm 0,29	4,90 \pm 2,74	40,92 \pm 27,54	12,99 \pm 5,68	3,22 \pm 0,42	4,13 \pm 0,46	1,29 \pm 0,10
		7,24-14,07 (12,72)	2,25-10,04 (13,99)	2,52-6,94 (30,31)	1,06-4,23 (20,28)	1,00-19,00 (55,88)	8,47-128,00 (67,29)	1,65-34,20 (43,76)	2,05-4,42 (13,19)	2,39-6,06 (11,11)	0,96-1,69 (7,37)
Moyenne		10,52 \pm 1,73	7,67 \pm 1,33	5,42 \pm 3,11	1,39 \pm 0,23	5,37 \pm 3,44	52,44 \pm 34,49	13,14 \pm 5,74	3,12 \pm 1,16	3,94 \pm 0,53	1,29 \pm 0,12
		1,37-21,91 (16,48)	2,25-13,67 (17,27)	1,20-30,55 (57,41)	0,17-4,23 (16,74)	1,00-32,00 (64,05)	0,20-401,00 (65,77)	1,65-43,30 (43,72)	1,79-45,49 (37,34)	2,39-14,10 (13,40)	0,89-4,41 (9,54)
F		67,055***	77,115***	52,655***	7,542***	63,035***	58,053***	55,355***	6,689***	66,481***	4,589***

2.2. Caractéristiques qualitatives

Les résultats de la comparaison des caractéristiques qualitatives pour les populations naturelles de *Myrtus communis* étudiées ont été présentés dans le tableau 14. L'analyse de ces résultats montre que toutes les populations se caractérisent par des arbustes à feuilles vertes (100%) en vigueur de la couleur des feuilles (CFe). La plupart des populations sont caractérisées par des individus à feuille à bord plat (BFe), à l'exception de la population IKA qui présente 9,1 % des individus à feuilles ondulées. Pour la forme de la feuille (FFe), on observe que la plupart des populations enregistre des valeurs élevées pour la forme ovale (>80%), puisque nous avons enregistré 65 % pour la population AGH et 100 % pour la population BOUH. La forme de la base de la feuille (FBFe) est plus atténuée (60,57 %), la forme obtuse représente 27,50 %, alors que la forme oblique est presque absente (0,05%). Les populations GHA, SAH, ZRI et IKA sont caractérisées par des individus à forme de la base de la feuille atténuée (100%), tandis que la forme obtuse est présente chez la population IZA (76,9%). La forme de l'apex de la feuille (FAFe) est plutôt acuminée (58,01%), mais les deux formes mucronée et mucronulée ont été observées avec des pourcentages de 22,47 % et 19,53% respectivement. Les populations GHA, SAH et ZRI se caractérisent par des arbustes à forme de l'apex de la feuille acuminée (100%), alors que la forme mucronée est présente chez la population BOUH (66,7%) et la forme mucronulée caractérise les individus de la population IZA (84,6%). La couleur de fruit (CF) est plutôt noire (68,12%), mais les couleurs violet foncé et violet ont été rencontrées avec des pourcentages de 9,70% et 14,61% respectivement. Les populations BOUH, BT, DAR, IZA, ZRI et BS se caractérisent par des individus avec une couleur de fruit noire (100%), la couleur violet foncé est présente chez la population GHA (72,7%) et la couleur violette est rencontrée chez les individus des populations AGH et IKA avec des pourcentages de 88,9% et 68,2% respectivement. En outre, la forme de fruit (FF) est plutôt arrondie (74,94%), mais les formes ovoïdes et allongées ont été observées chez 22,55% et 2,51% de l'ensemble des individus respectivement. La population BT présente des arbustes à une forme de fruit arrondie (100%), la forme ovoïde a été observée chez 71,8% des individus de la population RAB. La vigueur de la plante (VP) est dominée par la forme forte (67,89%), alors que la vigueur moyenne présente 31,28% et la vigueur faible est presque absente (0,83%). La vigueur moyenne a été observée chez la plupart des populations avec des pourcentages variant entre 15,8% (population BRA) et 46,7% chez la population BOUH. Cependant, les individus de la population RAB se caractérisent par une vigueur forte (100%), Tandis que la ramification (RAM) est plutôt dense (56,38%), mais la forme moyenne a été également observée

(42,98%). La forme clairsemée est presque absente (0,64%). Les populations BRA et GHA sont caractérisées par des individus à une ramification dense avec des pourcentages de 84,2% et 81,8% respectivement. Alors que les populations AGH et BS se caractérisent par des arbustes à une ramification moyenne avec des pourcentages de 77,8% et 72,7% respectivement. En outre, la dominance apicale (DA) est plutôt forte (72,62%), mais la forme moyenne de la DA a été également observée (26,09%). Les populations AGH et RAB se caractérisent par des individus à une dominance apicale forte (100%), alors que la DA moyenne est rencontrée chez les arbustes des populations BS, BT et BOUH avec des pourcentages de 63,6%, 54,5% et 46,7% respectivement.

Tableau 14 : Fréquences des traits qualitatifs catégorisés en 3-7 classes.

Trait	Niveau	BOUH	BRA	BT	DAR	IZA	GHA	SAH	ZRI	IKA	AGH	RAB	BS	Moyenne
CF	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	18,2	0	0	68,2	88,9	0	0	14,61
	3	0	5,3	0	0	0	72,7	0	0	27,3	11,1	0	0	9,70
	4	100	94,7	100	100	100	9,1	27,3	100	4,5	0	81,8	100	68,12
FF	1	99,3	57,4	100	94	94,6	85	56,4	95,9	56,8	41,7	19,1	99,1	74,94
	2	0,7	21,6	0	6	5,4	15	43,6	4,1	43,2	58,3	71,8	0,9	22,55
	3	0	21,1	0	0	0	0	0	0	0	0	9,1	0	2,51
BFe	1	100	100	100	100	100	100	100	100	90,9	100	100	100	99,24
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9,1	0	0	0	0,76
FFe	1	0	14,2	9,1	10	7,7	0	0,5	0	9,1	1,1	0,5	14,1	5,53
	2	0	0	9,1	0	0	18,2	0	81,8	10,5	33,9	18,2	0	14,31
	3	100	85,8	81,8	90	92,3	81,8	99,5	18,2	80,5	65	81,4	85,9	80,18
CFe	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FBFe	1	46,7	42,9	36,1	20	0	100	100	100	100	99,4	59,1	22,7	60,57
	2	33,3	41,3	54,8	60	76,9	0	0	0	0	0	22,7	40,9	27,50
	3	20,0	15,8	9,1	20	23,1	0	0	0	0	0	18,2	36,4	11,88
	4	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0,05
FAFe	1	20,0	67,6	18,2	20	0	100	100	100	96,8	88,9	69,1	15,5	58,01
	2	66,7	32,4	45,5	40	15,4	0	0	0	0	11,1	15	43,6	22,47
	3	13,3	0,0	36,4	40	84,6	0	0	0	3,2	0	15,9	40,9	19,53
VP	3	0,0	0,0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83
	5	46,7	15,8	36,4	50	38,5	27,3	27,3	36,4	18,2	33,3	0	45,5	31,28
	7	53,3	84,2	63,6	40	61,5	72,7	72,7	63,6	81,8	66,7	100	54,5	67,89
RAM	3	0	0	0	0	7,7	0	0	0	0	0	0	0	0,64
	5	40,0	15,8	54,5	50	23,1	18,2	27,3	27,3	63,6	77,8	45,5	72,7	42,98
	7	60,0	84,2	45,5	50	69,2	81,8	72,7	72,7	36,4	22,2	54,5	27,3	56,38
DA	3	0	0	0	0	15,4	0	0	0	0	0	0	0	1,28
	5	46,7	21,1	54,5	30	15,4	9,1	27,3	18,2	27,3	0	0	63,6	26,09
	7	53,3	78,9	45,5	70	69,2	90,9	72,7	81,8	72,7	100	100	36,4	72,62

2.3. Corrélations phénotypiques entre les caractères morphologiques

Les corrélations phénotypiques entre les traits morphologiques quantitatives mesurés pour les populations naturelles de *M. communis* du Maroc sont présentées dans le tableau 15. Ces résultats montrent qu'il existe plusieurs corrélations entre les caractères morphologiques. Cependant, ces corrélations ne sont pas toutes significatives. Une corrélation positive et significative a été notée entre la largeur de fruit (LRF) sa longueur (LGF) avec un coefficient de corrélation de $r = 0.94$. Le poids total des graines par fruit (PTG/F) est corrélé positivement avec le poids de 20 fruits (PF) et avec le nombre total des graines par fruit (NTG/F) avec des valeurs de coefficient de corrélation de $r = 0.61$ et $r = 0,68$ respectivement. Il est corrélé négativement et significativement avec le rapport entre la longueur de fruit et sa largeur ($R(LGF/LRF)$) avec une valeur de $r = -0,58$. Alors que le poids moyen des graines (PG) est corrélé négativement et significativement avec le nombre total des graines par fruit (NTG/F) ($r = -0,63$). Une corrélation significative et positive a été notée entre la longueur de la graine (LGG) et le poids moyen des graines (PG) et également la largeur de la graine (LRG) avec des coefficients de corrélation de $r = 0,66$ et $0,88$ respectivement. Alors que la longueur de la graine (LGG) est négativement corrélée avec le nombre total des graines par fruit (NTG/F) ($r = 0,63$). Tandis que, la longueur de la feuille (LGF_e) est corrélée négativement avec le poids total des graines par fruit (PTG/F) ($r = -0,80$) et positivement avec la longueur la longueur de la graine (LGG) ($r = 0,63$). Le rapport entre la largeur de la feuille et sa longueur (LRF_e/LGF_e) est corrélé négativement avec la longueur de fruit (LGF) ($r = -0,69$) et positivement significativement avec la largeur de la feuille (LRF_e) ($r = 0,91$). En outre, la longueur de l'arbuste (LGP) est négativement corrélée avec la longueur de fruit (LGF) et sa largeur (LRF) avec des valeurs de $r = -0,85$ et $r = -0,73$ respectivement. Cependant, la largeur de l'arbuste (LRP) est également corrélée d'une façon significative et négative avec la longueur et la largeur de fruit ($r = -0,78$ et $r = -0,62$ respectivement). Alors qu'elle est corrélée positivement avec le rapport entre la largeur de la feuille et sa longueur (LRF_e/LGF_e) et avec la longueur de l'arbuste ($r = 0,57$ et $r = 0,90$ respectivement).

Tableau 15 : Corrélation entre les traits quantitatifs mesurés pour l'arbuste, feuille, fruit et graines. *, significative à $p < 0.05$; **, significative à $p < 0.01$.

	LGF	LRF	P F	R (LGF/ LRF)	NTG/F	PTG/F	PG	LRG	LGG	R(LGG/LR G)	LGFe	LRFe	LRFe/LG Fe	LGP	LR P	DIA
LGF	1															
LRF	,940**	1														
P F	,101	,256	1													
R (LGF/ LRF)	-,038	-,367	-,447	1												
NTG/F	,105	,145	,202	-,165	1											
PTG/F	-,283	-,071	,617*	-,587*	,689*	1										
PG	-,043	,084	,335	-,380	-,633*	-,044	1									
LRG	,251	,281	-,129	-,087	-,299	-,274	,552	1								
LGG	,100	,131	-,204	-,020	-,631*	-,480	,660*	,883**	1							
R(LGG/LRG)	-,450	-,494	-,053	,352	,384	,242	-,527	-,135	-,176	1						
LGFe	,525	,440	-,319	,257	-,563	-,809**	,119	,451	,633*	-,155	1					
LRFe	-,564	-,400	-,435	-,355	-,215	,078	,157	,041	,200	-,041	-,155	1				
LRFe/LGFe	-,696*	-,523	-,247	-,406	,054	,399	,079	-,149	-,091	,032	-,544	,913**	1			
LGP	-,852**	-,734**	,243	-,081	-,137	,402	,197	-,215	-,005	,514	-,390	,422	,515	1		
LRP	-,789**	-,625*	,279	-,293	-,034	,554	,307	-,068	,018	,428	-,510	,433	,576*	,908**	1	
DIA	-,411	-,356	,149	-,089	,458	,518	-,295	-,313	-,439	,349	-,544	,087	,306	,295	,305	1

2.4. Variabilité morphologique

La variabilité phénotypique entre les populations pour presque tous les traits mesurés (à l'exception de quelques traits liés aux fruits et aux graines) est hautement significative comme le montrent les tests ANOVA unidirectionnels (tableaux 12, 13). L'analyse en composantes principales (ACP) montre que 74,33 % de la variation totale entre les populations naturelles de myrte au Maroc a été expliquée par les trois premières composantes (Fig. 21, Tableau 16). La première composante (PC 1), qui explique 35,27 % de la variation totale, présente des charges factorielles élevées pour les variables liées au poids total des graines par fruit (PTG/F), au rapport entre la largeur et la longueur des feuilles (LRF_e/LGF_e), à la hauteur de la branche principale (LGP), à la largeur de la branche principale (LRP) et au diamètre du rameau (DIA) (Tableau 17). La deuxième composante (PC 2), qui explique 22,41 % de la variation totale, est corrélée aux variables associées aux graines - poids moyen des graines (PG), longueur des graines (LGG), largeur des graines (LRG) - et la largeur des feuilles (LRF_e). La troisième composante (PC 3), qui explique 16,64 % de la variation totale, est corrélée avec les caractéristiques des fruits et des graines - largeur du fruit (LRF), poids de 20 fruits (PF), poids total des graines/fruit (PTG/F) et poids moyen des graines (PG). Ces résultats montrent les sources de variabilité phénotypique à l'intra et inter-populations.

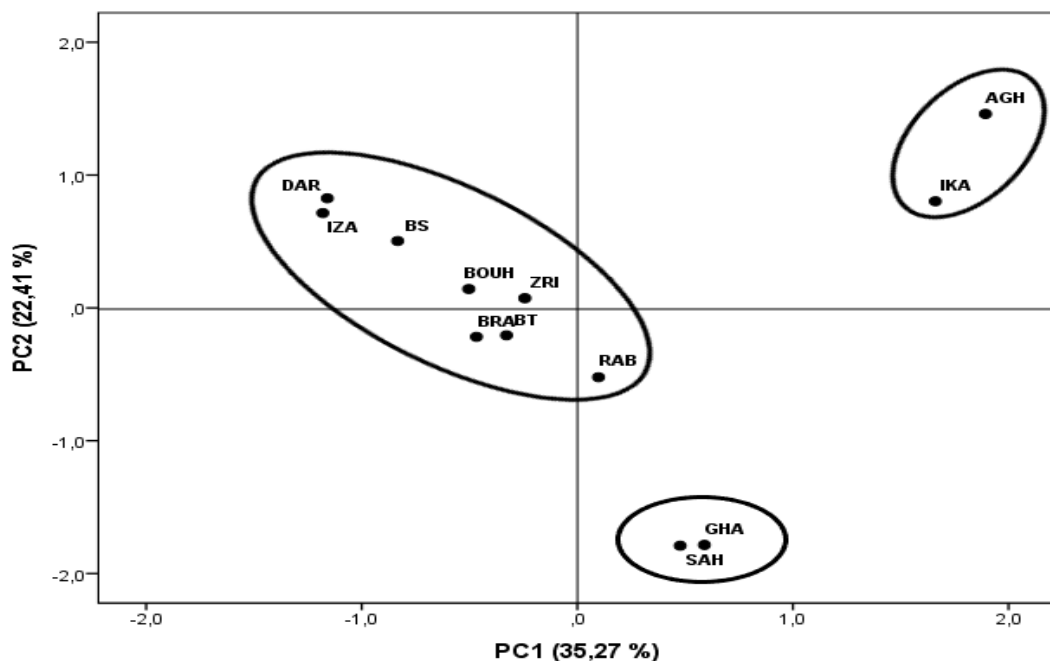


Figure 21 : Analyse en composantes principales des traits morphologiques mesurés pour 12 populations naturelles de myrte au Maroc.

Tableau 16: Variance totale des traits morphologiques mesurés expliquée par les composantes principales.

Composante	Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulé
PC 1	5.644	35.272	35.272
PC 2	3.586	22.411	57.682
PC 3	2.664	16.649	74.332
PC 4	1.655	10.345	84.676
PC 5	1.109	6.929	91.605

L'analyse des moyennes des caractéristiques morphologiques mesurées conduit à une classification hiérarchique par la méthode d'agrégation des populations étudiées (Fig. 22), aboutissant à l'identification de deux groupes principaux (A/B) (Fig. 22). Le premier groupe (A) est constitué de six accessions, quatre provenant du Rif (DAR, IZA, BT, BOUH) et deux du Plateau Central (BRA et BS) avec une légère différenciation de la population BT. Ces accessions sont caractérisées par une similitude des valeurs de la plupart des traits morphologiques, notamment par de faibles valeurs du diamètre des rameaux (DIA), qui est significativement corrélé à l'altitude. La population ZRI (du pré-Rif) est la moins similaire au reste des populations de ce groupe.

Le deuxième groupe (B) est composé de cinq populations, quatre populations du pré-Rif (SAH, IKA, AGH et GHA) et une population du plateau central (RAB). Ces accessions se distinguent des autres populations par des valeurs identiques et élevées du poids total des graines par fruit (PTG/F) et des valeurs plus faibles de la longueur des feuilles (LGF_e) (Fig. 21, Tableau 16). En considérant les caractéristiques des fruits (longueur et largeur), il semble qu'elles n'influencent pas la variabilité et le regroupement des populations étudiées.

Les différences entre les populations du Rif occidental sont dues aux traits PTG/F et LGP, qui sont fortement corrélés avec le PC1 (0,71 et 0,79 respectivement) (Fig.21, Tableau 17), avec les traits PG, LRG et LGG significativement corrélés avec le PC2, et les traits LRF et PF positivement corrélés avec le PC3. La variabilité entre les populations pré-Rif (Fig. 21) est due aux valeurs des traits liés aux fruits (LGF, LRF et PF), aux graines (NTG/F, PTG/F et PG) et à la taille des arbustes (LGP et LRP). De même, les populations du plateau central sont différenciées par les traits relatifs aux fruits (LGF, LRF et PF), aux graines (NTG/F, PTG/F, PG, LRG, LGG) et aux arbustes (LGP, LRP et DIA) (Fig.21, Tableau 17).

Tableau 17: Charges des traits morphologiques sur les trois premiers PC (les plus élevés (>0.5 seuil) sont en gras).

	PC1	PC2	PC3
LGF	-0.846	-0.415	0.259
LRF	-0.717	-0.347	0.520
P F	0.173	-0.301	0.709
R (LGF/ LRF)	-0.214	-0.067	-0.856
NTG/F	0.349	-0.790	0.107
PTG/F	0.709	-0.371	0.559
PG	-0.151	0.688	0.604
LRG	-0.461	0.526	0.238
LGG	-0.455	0.782	0.114
R(LGG/LRG)	0.490	-0.157	-0.489
LGFe	-0.807	0.306	-0.227
LRFe	0.454	0.615	-0.009
LRFe/LGFe	0.718	0.394	0.080
LGP	0.788	0.406	-0.029
LRP	0.802	0.399	0.187
DIA	0.627	-0.316	-0.029

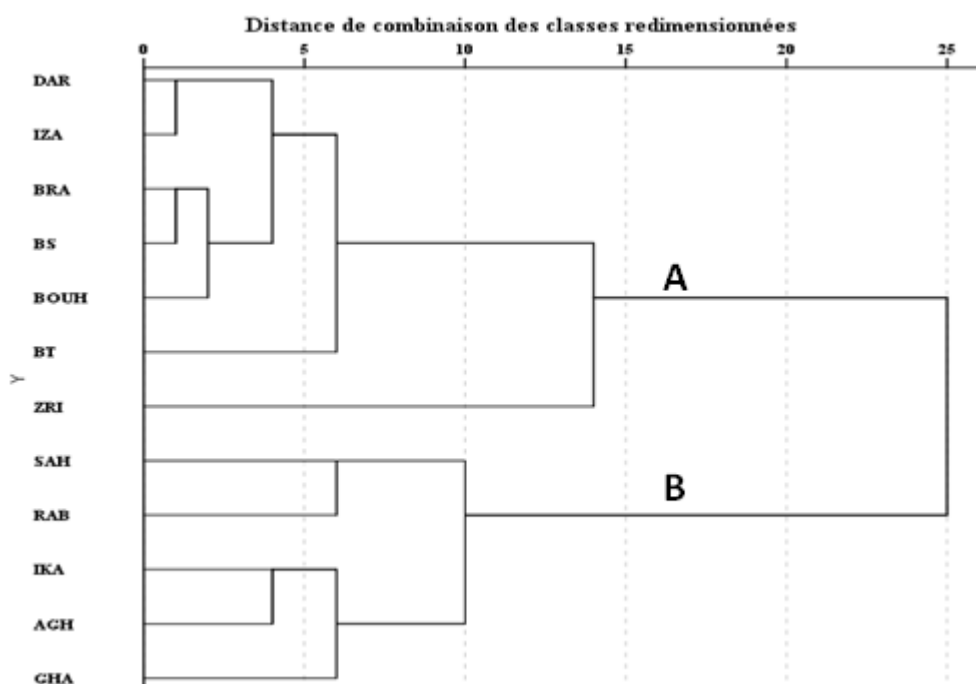


Figure 22 : Classification hiérarchiques des populations naturelles de myrte en utilisant la distance euclidienne basée sur les traits quantitatifs mesurés.

Les corrélations des caractères morphologiques et des PC1-PC3, avec l'altitude, la latitude, la longitude, la température et les précipitations sont présentées dans le tableau 18. Les traits des fruits (LGF et LRF) et la longueur des feuilles (LGFe) sont négativement corrélés avec la longitude (-0,70, -0,58 et -0,601, respectivement), c'est-à-dire que les fruits les plus gros et les feuilles les plus larges caractérisent les populations situées dans la partie la plus

occidentale (Plateau Central) de la distribution naturelle du myrte au Maroc. Le diamètre des rameaux (DIA) est positivement corrélé avec l'altitude (0,59). Une corrélation positive entre le poids de 20 fruits (PF) et Tmax a été observée (0,63), ce qui peut expliquer la présence de fruits relativement lourds dans les populations du pré-Rif et du Plateau Central qui se distinguent par des valeurs élevées de Tmax. La largeur des feuilles est corrélée positivement avec Tmin (0,66) et négativement avec Tmax (-0,85). Plusieurs traits ne sont pas corrélés aux paramètres géographiques, mais ils sont corrélés aux conditions climatiques, mais cette corrélation n'est pas statistiquement significative, c'est le cas de la température maximale du mois le plus chaud (Tmax) avec les traits LGF, LRF et NTG/F (0,21, 0,30, 0,24 respectivement) et la pluviométrie annuelle moyenne (Pr) avec LGFe et LGG (0,45 et 0,17 respectivement). PC1 (significativement corrélé avec PTG/F, LRP et DIA) était marginalement corrélé avec la longitude, qui était également positivement corrélée avec ces traits (0,43, 0,46 et 0,57 respectivement).

Tableau 18: coefficient de corrélation non paramétrique de Spearman entre les traits morphologiques et les composantes principales et les facteurs environnementaux (longitude, latitude, altitude, précipitations, et température. Les valeurs significatives sont représentées par $P < 0,05$: * ; $P < 0,01$: **

	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pr (mm)	T (°C)	Tmin	Tmax
LGF	-0.699*	-0.105	-0.441	-0.182	0.039	0.195	0.214
LRF	-0.580*	-0.070	-0.336	-0.210	0.039	0.105	0.305
P F	0.049	-0.266	-0.021	-0.364	0.086	-0.075	0.632*
R (LGF/ LRF)	-0.266	0.028	-0.084	0.203	-0.253	-0.105	-0.189
NTG/F	0.105	-0.266	0.294	0.042	0.160	0.240	0.239
PTG/F	0.343	-0.364	0.182	-0.350	0.385	0.255	0.460
PG	0.049	0.182	-0.126	-0.182	-0.004	-0.060	-0.070
LRG	-0.133	0.287	-0.042	0.091	0.253	0.090	-0.042
LGG	-0.336	0.343	-0.119	0.168	-0.136	0.180	-0.379
R(LGG/LRG)	0.154	-0.028	0.434	0.147	-0.253	0.075	-0.091
LGFe	-0.601*	0.497	-0.091	0.448	-0.471	-0.270	-0.225
LRFe	-0.392	-0.231	-0.448	-0.280	-0.202	0.661*	-0.846**
LRFe/LGFe	0.469	-0.566	-0.091	-0.510	0.257	0.375	-0.049
LGP	0.077	-0.385	-0.056	-0.252	-0.226	0.436	-0.393
LRP	0.462	-0.049	0.161	-0.140	0.101	0.120	-0.049
DIA	0.573	0.112	0.594*	0.231	0.373	-0.120	0.407
PC 1	0.322	-0.077	0.056	-0.056	-0.187	0.120	-0.467
PC 2	0.420	-0.280	0.105	-0.399	0.342	0.075	0.453
PC 3	-0.343	0.343	0.000	0.189	0.016	0.120	-0.056
PC 4	0.315	0.056	0.538	0.378	0.175	-0.045	0.239
PC 5	0.182	0.259	0.091	0.322	0.222	0.015	-0.298

3. Discussion

Les résultats de la présente étude ont montré un niveau élevé de variation entre les populations naturelles de *Myrtus communis* marocain pour les caractères morphologiques. L'analyse de la variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes des caractères étudiés par le calcul des coefficients de variation (CV), ont montré les variations les plus importantes, et ceci en accord avec les résultats des études précédentes ([Mulas et al., 2002](#) ; [Ruffoni et al., 2003](#) ; [Messaoud et al., 2007](#)). Cette variation entre les populations pourrait être expliquée par l'effet de provenance (Pré-Rif, Rif occidental et Plateau central). La provenance est caractérisée par des variations extrêmes en termes de conditions environnementales, notamment climatiques, qui agissent sur le phénotype du myrte ([Wahid et al., 2016](#)). Les populations du Rif occidental (IZA, BOUH, DAR et BT) présentent des valeurs élevées pour la taille des feuilles (LGFe et LRFe), tandis que les populations du Plateau central (RAB, BRA et BS) présentent des valeurs modérées pour ces traits, alors que les populations pré-Rif (GHA, SAH, ZRI, IKA et AGH) présentent les valeurs les plus faibles. La comparaison des conditions climatiques de ces provenances montre que les populations de Rif occidental enregistrent des taux élevés des précipitations moyennes annuelles (entre 742 et 984 mm/an) et une température moyenne annuelle entre 15,9 et 18,5 °C, tandis que celles de plateau central enregistrent environ 470 et 484 mm/an de précipitations et 16,7 et 17,2°C de température moyenne annuelle. Les populations de pré-Rif enregistrent un taux de précipitations entre 595 et 772 mm/an et une température moyenne annuelle comprise entre 17,2 et 18,1 °C.

Les résultats des tests de corrélation révèlent une relation entre les traits morphologiques et les paramètres climatiques des populations étudiées. Cette comparaison montre que les populations de l'ouest du Rif qui ont des feuilles longues et larges tolèrent des niveaux d'humidité (précipitations) plus élevés et une température annuelle moyenne relativement basse, par rapport aux populations du pré-Rif qui sont caractérisées par des feuilles plus courtes et plus étroites et peuvent tolérer des niveaux de température élevés et une humidité modérée, ce qui a été constaté dans l'étude de [Wahid et al. \(2016\)](#). De même, les autres traits quantitatifs mesurés sont étroitement liés aux conditions environnementales des provenances des individus échantillonnés, puisqu'ils présentent des variations le long du gradient géographique et écologique comme celles notées pour la taille des feuilles (LGFe et LRFe). A l'exception de certains caractères pomologiques des fruits (PF, NTG/F, PTG/F et PG), la plupart des caractères quantitatifs enregistrent des valeurs élevées pour les populations du Rif occidental, suivies des populations du Plateau central puis des populations pré-Rif. Ces variations pourraient être

expliquées par le fait que ces traits sont contrôlés par les conditions climatiques environnementales (Wahid et al., 2012). En effet, le rôle important de la zone biogéographique dans la détermination de la diversité génétique de cette espèce a été démontré par des études précédentes utilisant des marqueurs moléculaires (Messaoud et al., 2007 ; Melito et al., 2014).

Une forte corrélation positive a été observée entre les différents traits morphologiques. Ce sont les mêmes résultats obtenus par Wahid et al. (2016). Par ailleurs, des corrélations négatives ont également été observées entre les différents traits morphologiques de différentes parties de la plante (feuille, fruit et graine). Ces relations établies entre certains traits morphologiques pourraient aider à avoir des idées claires et à fixer des objectifs pour la sélection et la production de variétés plus performantes de point de vue adaptation et rentabilité.

Enfin, les résultats de l'ACP ont montré que les trois premières composantes expliquent 74,33% de la variation totale entre les populations. Parmi les caractères à forte charge factorielle qui contribuent à la formation des composantes principales, on trouve : le poids total des graines par fruit, le poids moyen des graines, la longueur et la largeur des graines, la largeur des fruits, le poids des fruits, le diamètre des rameaux et la hauteur et la largeur des branches principales. Ces résultats et ceux de la corrélation entre les traits morphologiques et les facteurs géographiques des provenances, ainsi que la classification hiérarchique ont permis de classer les populations étudiées en deux groupes principaux indépendamment de leur origine géographique. Ces résultats montrent que d'autres facteurs que les conditions environnementales peuvent être à l'origine de ce regroupement, et nous pouvons suggérer l'hypothèse d'une consanguinité entre les populations étudiées, ce qui peut être vérifié en évaluant la diversité génétique de cette espèce à l'aide de marqueurs moléculaires.

Conclusion

Il existe une variation significative entre les individus (intra-population) et entre les populations (inter-population) pour la plupart des traits morphologiques étudiés. La variance entre les populations est due à la provenance (Pré-Rif, Rif occidental et Plateau central). A l'exception de certains caractères morphologiques (par exemple PF, NTG/F, PTG/F et PG), la plupart des caractères quantitatifs enregistrent des valeurs élevées pour les populations du Rif Occidental, suivies par les populations du Plateau Central et ensuite par les populations du Pré-Rif. Nos résultats montrent également qu'il existe une forte corrélation positive entre les différents traits morphologiques de la feuille, du fruit, de la graine et de la hauteur de la branche principale. Ces corrélations pourraient être exploitées comme des bio-indicateurs pour des tests

de plantation ex-situ pour les programmes de sélection du myrte au Maroc. Sur la base de la classification hiérarchique, on peut conclure que les populations naturelles de myrte au Maroc peuvent être divisées en deux groupes. Les populations du Plateau Central (BS et BRA) ont formé le même groupe avec la population ZRI du pré-Rif et les populations du Rif Occidental (IZA, BOUH, DAR, BT), et les populations du Pré-Rif (IKA, AGH, SAH, GHA) ont formé un groupe avec la population RAB du Plateau Central. L'analyse en composantes principales (ACP) ainsi que les corrélations entre les traits morphologiques et les facteurs géographiques ont suggéré que la variation entre les populations est due à l'effet de la provenance. L'étude suggère que toute variabilité génétique au sein de l'espèce pourrait être liée à la distribution géographique.

CHAPITRE V :
CARACTERISATION CHIMIQUE DES
POPULATIONS NATURELLES DU MYRTE

Introduction

Grace à son intérêt, les huiles essentielles (HE) obtenus à partir des plantes aromatiques et médicinales (PAM) deviennent de plus en plus une alternative ressource de molécules bioactives utilisées dans le domaine médical, thérapeutique, cosmétique, agro-alimentaire et agriculture (Bnouham et al., 2006 ; Zoubiri and Baaliouamer, 2011 ; Ju et al., 2018 ; Bakha et al., 2018). Le secret de ce recours aux HE est niché dans leurs vertus issues d'une composition chimique complexe et variée.

En fait, le profil phytochimique et la composition chimique des huiles essentielles peuvent être exploités à côté des traits morphologiques et moléculaires pour évaluer la variabilité intraspécifique d'une plante aromatique et médicinale (Sacchetti et al., 2007 ; Lopez et al., 2008 ; Wahid et al., 2016 ; Fadil et al., 2017). Cependant, les études de la variation de rendement et de la composition chimique des huiles essentielles de myrte au Maroc sont limitées, fragmentaires et elles ne couvrent pas toutes les zones biogéographiques de la répartition des populations naturelles de ladite espèce. Toutefois, certaines études se focalisent sur une zone biogéographique donnée dans leurs travaux (Wahid et al., 2016 ; Fadil et al., 2017 ; Harassi et al., 2019). Dans ce contexte, notre travail est considéré le premier qui vise à étudier la variabilité quantitative et qualitative des HE de myrte extraite à partir des échantillons provenant de toute l'aire de répartition biogéographique au Maroc.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Matériel végétal

(Voir chapitre IV, partie : 1.1 matériel végétal)

1.2. Extraction des huiles essentielles

Les feuilles de myrte étaient séchées à l'ombre puis soumises à une hydrodistillation pendant 3h à l'aide d'un dispositif de type Clevenger (Fig. 23) (Clevenger, 1928).



Figure 23 : Montage d'hydrodistillation utilisé.

100 g de feuilles sont utilisés pour la distillation. Les rendements en huiles essentielles ont été exprimés en % par la formule rapportée par [Marion et al. \(1994\)](#), poids des HE (g) pour 100 g de matière végétale sèche :

$$\text{Rdt HE (\%)} = \frac{\text{Poids de l'HE obtenue par distillation (g)}}{\text{Poids de biomasse séchée (g)}} \times 100$$

L'huile essentielle obtenue a été conservée au réfrigérateur à 4 °C dans des tubes en verre foncé hermétiquement fermés jusqu'à son utilisation.

1.3. Analyse des huiles essentielles par GC/MS

L'analyse des huiles essentielles par la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/MS) (Fig. 24) a été effectuée dans le centre national de recherche scientifique et technique du Maroc (CNRST-Maroc), auprès de l'Unités d'Appui Technique à la Recherche Scientifique (UATRS). L'analyse par GC/MS a été réalisée par un chromatographe en phase gazeuse TRACE 1300 couplé à un spectromètre de masse TSQ 8000 evo. La colonne utilisée était une colonne capillaire VB-5. Le gaz vecteur est de l'hélium dont le débit est fixé à 1,2 ml.min⁻¹. La température de la ligne de transfert est fixée à 250 °C et la température de la source d'ion était 200 °C. Le mode d'injection était fractionné et le volume injecté était d'environ 1 µl, à l'aide d'un injecteur splitté réglé à 220 °C. L'énergie d'ionisation était de 70 eV et la température de la ligne de transfert était fixé à 250°C. Pour l'analyse chromatographique, les huiles essentielles ont été diluées dans l'éthanol (1/10 v/v).



Figure 24 : Appareil de chromatographie en phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse.

1.4. Identification des composés des huiles essentielles

Les composants des huiles essentielles ont été identifiés en se basant sur leurs indices de rétention déterminés en référence à des homologues réalisées dans les conditions utilisées dans l'analyse GC pour ces huiles essentielles, et par comparaison de leurs modèles de fragmentation spectrale de masse avec ceux rapportés dans la littérature (Adams, 2007).

1.5. Analyse des données

Les données obtenues ont fait l'objet à des analyses statistiques. Ainsi, les statistiques descriptives ont pour objectif d'évaluer la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation du rendement des huiles essentielles (Rdt HE). L'analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur, ainsi que le test de corrélation de Pearson entre les rendements en HE, le taux des composants chimiques des HE et les facteurs écologiques ont permis de déterminer les facteurs qui influence la variation du rendement et de la composition chimiques des HE entre les populations. L'analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique ont permis de regrouper les populations en fonction des pourcentages des composés majoritaires des HE et des rendements en HEs. Ces analyses ont été effectuées par les logiciels IBM SPSS Statistics pour Windows, version 20.0 (2011) et R version 3.6.0 (R Core Team, 2017).

2. Résultats

2.1. Caractérisation du rendement en HEs des populations naturelles du myrte au Maroc

L'analyse des résultats statistiques descriptives du rendement en HE obtenus des feuilles du myrte, collectées de différentes provenances au Maroc, montre une variation du rendement entre les populations (Tableau 19). Par ailleurs, la teneur moyenne en HE varie entre $0,25 \% \pm 0,13$ pour la population IKA, appartenant au rif occidental, et $0,60 \% \pm 0,20$ pour la population BS dans la région du plateau central. Une variation du rendement en HE entre les populations de la même région est bien notée. Ainsi, le rendement des HE dans le plateau central varie de $0,36\% \pm 0,16$ (BRA) à $0,60 \pm 0,20$ (BS), alors qu'il est entre $0,30\% \pm 0,14$ (DAR) et $0,44\% \pm 0,20$ (BT) dans le rif occidental. Pour le pré-rif, il varie entre $0,25 \% \pm 0,13$ (IKA) et $0,41 \pm 0,14$ (AGH). Également, la présentation à l'aide du diagramme en boîtes à moustache de la médiane du rendement en HE des populations naturelles du myrte, provenant des différentes régions géographiques, révèle une variation du rendement en HE entre les populations (Fig. 25).

Tableau 19 : Statistiques descriptives du rendement des huiles essentielles du myrte.

Population	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	CV
DAR	0,12	0,50	0,30	0,14	46,66
BT	0,22	0,89	0,44	0,20	46,86
BOUH	0,11	0,83	0,37	0,20	53,93
IZA	0,17	0,83	0,35	0,23	65,45
GHA	0,22	0,57	0,36	0,10	27,32
SAH	0,18	0,53	0,31	0,11	33,67
AGH	0,22	0,61	0,41	0,14	34,54
IKA	0,09	0,47	0,25	0,13	51,05
ZRI	0,22	0,58	0,41	0,12	28,60
BRA	0,17	0,83	0,36	0,16	45,79
RAB	0,19	0,55	0,32	0,12	38,59
BS	0,36	0,88	0,60	0,20	32,93
Total	0,09	0,89	0,37	0,18	47,32

Cette variation du rendement en HE entre les populations est d'environ 47,32 %. La contribution de la variation intra-population à la variation entre les populations est bien notait ; soit un coefficient de variation $CV = 27,32 \%$ enregistré chez la population GHA de la région Pér-Rif. Alors que le $CV = 65,45 \%$ le plus élevé est observé chez la population IZA appartenant à la région de Rif occidental.

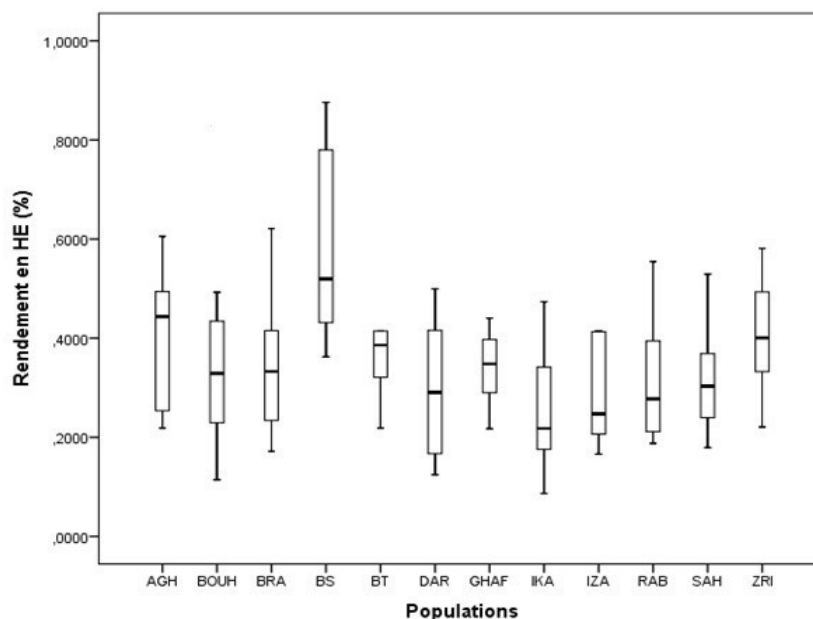


Figure 25 : Rendement en huiles essentielles des provenance étudiées.

2.2. Caractérisation de la composition chimique des HEs des populations naturelles du myrte au Maroc

L'analyse par CG/MS, porté sur les échantillons des HE du myrte collecté des population naturelles au Maroc, a permis d'identifier 40 composants chimiques représentant un pourcentage de 93,72-99,98 % de la totalité de la composition des huiles (Tableau 20). Pour la composition chimique totale de l'ensemble des échantillons analysés par population, les HEs sont caractérisés par leur richesse en monoterpènes oxygénés (59.95-82.91%) et hydrocarbures monoterpènes (11.60-31.87%). En revanche, des faibles taux en hydrocarbures sesquiterpènes (0.18-1.53%) et sesquiterpènes oxygénés (0.99-4.35%) ont été observées. Les principaux composants de ces huiles essentielles étaient le 1,8-cinéol (24,50-39,12%), myrtenyl acétate (8.53-36.32%), α -Pinène (6.48-21.03%), D-limonène (4.99-11.02%), α -terpinéol (2.18-6.63%), linalool (1.04-9.03%), méthyleugenol (1.31-4.34%) et acétate géranyle (non détecté – 6.12%) (Fig. 26, Tableau 21).

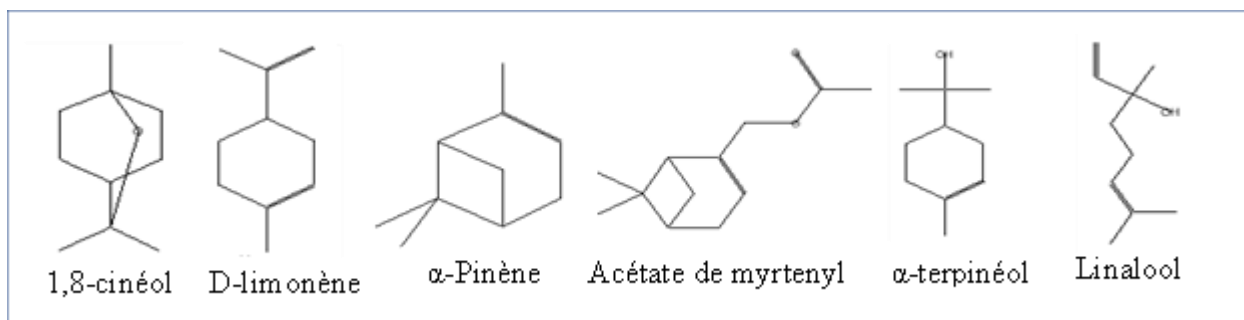


Figure 26 : Structures chimiques de certains composants des huiles essentielles du myrte.

Au niveau du taux des composés majoritaires, on enregistre une variation entre les populations étudiées. Ainsi, α -Pinène varie de 9,24 % (BS) à 21,03 % (BRA) dans le plateau central. Il varie entre 9,36 % (BT) et 17,70 % (DAR) dans le rif occidental, et de 6,48 % (ZRI) à 20,24 % (AGH) dans le pré-rif. Le D-limonène varie de 6,40 % (BS) à 10,35 (BRA) chez les populations du plateau central et de 7,15 % (BT) à 11,02 % (DAR) dans le rif occidental, alors qu'il est entre 4,99 % (ZRI) et 9,65 % (AGH) chez les populations de pré-rif. Pour le 1.8-cinéol, les valeurs allant de 25,60 % (RAB) jusqu'à 36,48 % (BS) dans le plateau central, de 30,19 % (BOUH) à 33,81 % (DAR) dans le rif occidental, tandis que qu'il est entre 24,50 % (GHAF) et 31,12 % (SAH) dans la zone de pré-rif. Toutefois, l'acétate myrtényle enregistre des valeurs élevées dans la région de rif occidental, puisqu'il varie de 22,77 % (DAR) à 36,32 % (BOUH), tandis qu'il est entre 10,43 % (SAH) et 25,58 % (GHAF) dans le pré-rif, en revanche, il enregistre des valeurs relativement faibles chez les populations du plateau central (8,53 % (BS) et 9,28 % (RAB)).

Tableau 20 : Composition chimiques des HE des populations étudiées.

Ordre	Composant	Plateau central						Rif occidental				Pré-rif			
		SI	RSI	BRA	RAB	BS	BT	BOUH	IZA	DAR	AGH	Ghaf	IKA	SAH	ZRI
	<i>Hydrocarbures monoterpènes</i>														
1	α-Pinene	933	936	21,03	17,47	9,24	9,36	9,67	11,92	17,70	20,24	14,19	12,46	12,40	6,48
2	Camphene	822	914	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,03	0,03	0,02
3	Decane	948	958	0,08	0,04	0,03	0,08	0,05	0,07	0,05	0,09	0,07	0,03	0,07	0,03
4	Isobutyl 2-methylbutyrate	847	938	0,36	0,36	0,23	0,16	0,21	0,21	0,17	0,19	0,37	0,22	0,22	0,08
5	D-Limonene	914	914	10,35	9,75	6,40	7,15	9,51	9,19	11,02	9,54	9,65	8,86	7,43	4,99
	<i>Monoterpènes oxygénés</i>														
6	1,8-cinéol	945	945	27,60	25,60	36,48	29,58	30,19	31,47	33,81	34,11	24,50	31,23	39,12	35,96
7	α -Terpinene	857	901	0,15	0,12	0,07	0,07	0,07	0,04	0,11	-	0,12	0,05	0,17	0,06
8	Nerol	664	758	0,36	0,59	0,54	0,13	0,62	2,80	0,12	0,55	3,70	0,31	3,35	0,36
9	α -Terpinolene	839	888	0,23	0,20	0,11	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,15	0,11	0,13	0,09
10	Linalool	913	915	3,16	9,03	10,72	2,21	1,09	1,86	1,04	2,68	2,69	7,28	5,64	8,52
11	Trans- γ -Caryophyllene	823	915	-	0,07	0,07	0,03	0,03	-	-	0,02	-	0,05	0,05	0,05
12	α -Campholenal	863	908	0,08	0,05	-	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	-	0,03
13	Isoborneol	749	783	-	0,21	0,33	0,37	-	-	-	0,25	0,29	0,27	0,26	0,28
14	Trans-Pinocarveol	904	915	0,65	0,35	-	0,19	0,18	0,12	0,08	0,61	0,29	0,34	0,24	0,38
15	Dodecane	815	899	0,36	-	-	0,30	0,16	0,20	0,17	0,28	0,37	-	0,31	-
16	Terpinen-4-ol	864	869	0,33	0,37	0,46	0,29	0,21	0,17	0,19	0,21	0,31	0,38	0,32	0,54
17	p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol	824	867	0,22	-	0,11	0,04	0,07	0,07	0,05	-	0,08	0,11	0,05	0,15
18	α-Terpineol	926	927	3,77	3,81	5,00	3,88	3,30	2,18	2,69	2,63	3,82	4,62	4,27	6,63
19	(-)-Myrtenol	879	885	0,50	0,48	1,15	0,87	0,41	0,55	0,46	0,18	0,92	0,58	0,44	1,56
20	Trans-Carveol	747	834	0,11	-	-	-	0,08	-	-	0,06	0,09	-	-	-
21	Pulegone	922	923	-	-	-	-	-	-	-	1,50	-	-	-	-
22	Acétate de Linalyle	895	896	-	-	-	-	-	-	-	0,78	-	-	-	-

23	Geraniol	879	895	0,32	0,53	0,52	0,42	0,23	0,21	0,28	0,19	0,40	0,59	0,34	0,80
24	Acétate d'isobornyl	823	865	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	-	-	0,05	-	-	0,04
25	p-Menthane-1,2,3-triol	603	674	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-
26	Acétate de Myrtényle	956	957	8,86	9,28	8,53	32,91	36,32	34,33	22,77	12,56	25,58	15,29	10,43	17,91
27	Acétate de Carvyle	894	905	0,19	0,09	0,17	0,26	0,22	0,22	0,16	-	0,19	0,14	0,10	0,15
28	Acétate de α -Terpineol	943	947	2,14	2,73	1,83	0,85	-	0,26	1,05	2,43	1,35	1,43	1,24	1,84
29	Eugenol	861	898	-	-	0,30	-	-	-	-	0,14	-	0,43	2,78	-
30	Acétate de Géranyle	955	956	6,11	6,12	4,22	3,60	2,96	-	3,91	3,78	-	4,87	-	4,28
31	Acétate de trans-Myrtanyl	879	885	0,82	-	1,23	-	-	-	-	0,45	-	-	-	-
32	Acétate de trans-Pinocarvyle	705	792	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	-	-	-
33	Methyleugenol	934	944	3,95	4,34	3,90	2,78	1,51	1,31	2,41	2,46	3,91	3,50	3,42	3,31
	<i>Hydrocarbures sesquiterpènes</i>														
34	Caryophyllene	878	903	0,89	0,97	-	0,30	0,17	0,19	0,27	0,39	0,51	0,45	0,36	0,33
35	β -Bisabolene	792	869	0,07	-	-	0,09	0,09	0,06	0,05	-	0,08	0,06	0,05	-
36	Humulene	844	913	0,34	0,56	0,18	0,10	0,13	0,09	0,12	0,19	0,22	0,29	0,17	0,20
	<i>Sesquiterpènes oxygénés</i>														
37	Geranyl isobutyrate	710	863	0,24	0,15	-	0,19	0,16	0,11	0,17	0,04	0,20	0,19	0,10	0,17
38	Durohydroquinone	695	814	2,68	2,51	1,35	1,56	0,46	0,42	0,40	1,74	2,89	2,49	2,37	2,48
39	Asarone	680	729	0,29	0,22	0,13	0,36	-	-	0,18	0,12	0,22	0,17	0,14	0,16
40	Caryophyllene oxide	862	900	1,15	1,25	0,35	0,45	0,37	0,40	0,47	0,31	0,36	0,51	0,24	0,39
	Hydrocarbures monoterpènes (%)			31,87	27,66	15,94	16,78	19,47	21,41	28,98	30,10	24,33	21,59	20,15	11,60
	Monoterpènes oxygénés (%)			59,95	63,96	75,77	78,86	77,74	75,89	69,36	66,11	68,82	71,60	72,66	82,91
	Hydrocarbures sesquiterpènes (%)			1,30	1,53	0,18	0,49	0,38	0,33	0,43	0,58	0,80	0,80	0,58	0,53
	Sesquiterpènes oxygénés (%)			4,35	4,12	1,84	2,56	0,99	0,94	1,21	2,20	3,66	3,37	2,85	3,21
	Total (%)			97,46	97,26	93,72	98,69	98,58	98,57	99,98	98,99	97,61	97,35	96,23	98,25

Tableau 21 : Statistiques descriptives des composés majoritaires des huiles essentielles du myrte.

	Plateau central				Rif Occidental				Pré-Rif			
	Min	Moyenne	Max	Ecart type	Min	Moyenne	Max	Ecart type	Min	Moyenne	Max	Ecart type
α-Pinène	9,24	15,91	21,03	6,05	9,36	12,16	17,70	3,86	6,48	13,15	20,24	4,92
D-Limonène	6,40	8,83	10,35	2,13	7,15	9,22	11,02	1,59	4,99	8,09	9,65	1,95
1,8-cinéol	25,60	29,89	36,48	5,79	29,58	31,26	33,81	1,87	24,50	32,98	39,12	5,54
Nerol	0,36	0,50	0,59	0,12	0,12	0,92	2,80	1,28	0,31	1,65	3,70	1,71
Linalool	3,16	7,64	10,72	3,96	1,04	1,55	2,21	0,58	2,68	5,36	8,52	2,65
α-Terpinéol	3,77	4,19	5,00	0,70	2,18	3,01	3,88	0,74	2,63	4,39	6,63	1,46
Acétate de Myrtényle	8,53	8,89	9,28	0,37	22,77	31,58	36,32	6,04	10,43	16,36	25,58	5,88
Acétate de α-Terpinéol	1,83	2,23	2,73	0,46	0,26	0,72	1,05	0,41	1,24	1,66	2,43	0,49
Acétate de Géranyle	4,22	5,48	6,12	1,09	2,96	3,49	3,91	0,48	3,78	4,31	4,87	0,54
Méthyleugenol	3,90	4,06	4,34	0,24	1,31	2,00	2,78	0,71	2,46	3,32	3,91	0,53
Durohydroquinone	1,35	2,18	2,68	0,72	0,40	0,71	1,56	0,56	1,74	2,39	2,89	0,42

2.3. Effet de la provenance sur le rendement et le taux de la composition chimique des HEs des populations naturelles du myrte au Maroc

La collecte de la matière végétale du myrte est échantillonnée de différentes populations réparties dans des régions biogéographiquement différentes. Cette différence est reflétée sur le rendement en HE entre les populations (Tableau 19). Par ailleurs, les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur, montrent que la variance entre populations est supérieure à la variance intra-populations (Tableau 21). Donc la population contribue à la variation du rendement en HE du myrte au Maroc d'une façon hautement significative ($P < 0,001$). Aussi, la somme de la moyenne du rendement en HE des populations par région ensuite l'analyse de la variance de l'effet de provenance montre que le rendement en HE est variable d'une région à l'autre, mais avec un niveau de signification moins que celui de la population (Tableau 22). Ces résultats montrent que la provenance de la matière végétale a un effet significatif sur le rendement en HE. Ceci révèle des populations élites en rendement des HE par rapport à d'autres.

Tableau 22 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur le rendement en huiles essentielles.

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Par population	Inter-populations	0,919	11,000	0,084	3,145	0,000***
	Intra-populations	3,482	131,000	0,027		
Par région	Inter-populations	0,104	2,000	0,052	1,694	0,187
	Intra-populations	4,297	140,000	0,031		

Également, la variabilité de la provenance de la matière végétale est traduite même par une variabilité au niveau de taux des composés chimiques des HE. En fait, l'analyse de la variance à un seul facteur de l'effet de la provenance sur le taux de la composition chimique des HE, montre une variance hautement significative ($P < 0,001$) entre les taux des composés majoritaires des HE de myrte entre les populations échantillonnées (Tableau 23). Ces résultats ont fait une distinction entre les populations qui sont riches en 1,8-cinéol, α -Pinène, et le myrtenyl acétate et par conséquent la détermination des chémotypes des HE du myrte au Maroc.

Tableau 23 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur la composition chimique des HES du myrte.

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
α-pinène	Inter-populations	1 012,063	11	92,006	3,681	0,001***
	Intra-populations	899,750	36	24,993		
D-Limonène	Inter-populations	147,667	11	13,424	4,202	0,001***
	Intra-populations	115,000	36	3,194		
1,8-cinéol	Inter-populations	955,417	11	86,856	3,896	0,001***
	Intra-populations	802,500	36	22,292		
Nerol	Inter-populations	91,229	11	8,294	18,957	0,000***
	Intra-populations	15,750	36	0,438		
Linalool	Inter-populations	509,229	11	46,294	13,413	0,000***
	Intra-populations	124,250	36	3,451		
α-Terpinéol	Inter-populations	68,500	11	6,227	2,893	0,008**
	Intra-populations	77,500	36	2,153		
Acétate de myrtényle	Inter-populations	4 864,667	11	442,242	25,473	0,000***
	Intra-populations	625,000	36	17,361		
Acétate de α-Terpinéol	Inter-populations	24,650	10	2,465	7,728	0,000***
	Intra-populations	9,250	29	0,319		
Acétate de géranyle	Inter-populations	36,222	8	4,528	3,327	0,009**
	Intra-populations	36,750	27	1,361		
Méthyleugenol	Inter-populations	49,229	11	4,475	4,268	0,000***
	Intra-populations	37,750	36	1,049		
Durohydroquinone	Inter-populations	46,167	11	4,197	4,954	0,000***
	Intra-populations	30,500	36	0,847		

2.4. Corrélations phénotypiques

Le rendement des populations naturelles du myrte en HE présente une légère corrélation avec les conditions écologiques (Tableau 24). Par contre, il est significativement et positivement corrélé avec le 1,8-cinéol ($r= 0,62$; $P \leq 0,05$). Une corrélation modérée et négative est enregistrée entre le rendement en HE et le myrtenyl acétate ($r= - 0,31$).

Au niveau de la composition chimique des HE, on observe des corrélations significatives entre les composés (Tableau 24). Ainsi, des corrélations significatives sont bien notées entre le α -Pinène et D-limonène ($r= 0,86$; $P \leq 0,01$), et entre l' α -Terpinéol ($r= - 0,59$; $P \leq 0,05$). Aussi le composé α -Pinène présente des corrélations phénotypiques modérées avec Acétate de α -Terpinéol ($r= 0,40$), Durohydroquinone ($r= 0,37$), 1,8-cinéol ($r= -0,33$), Linalool ($r= -0,23$), et l'acétate de myrtényle ($r= - 0,27$). Le D-Limonène est très corrélé avec le l' α -Terpinéol ($r= - 0,69$; $P \leq 0,05$), 1,8-cinéol ($r= -0,55$), et le Linalool ($r=-0,41$). Une corrélation élevée et négative est notée entre 1,8-cinéol et le Durohydroquinone ($r= -0,57$). De même le Nerol et l'acétate de géranyle présentent une corrélation élevée et négative ($r= -0,57$). Le Linalool révèle des

corrélations significatives avec un ensemble des composés chimiques des HE ; soit l' α -Terpinéol ($r= 0.74$; $P\leq 0,01$), acétate de myrtényle ($r= -0.76$; $P\leq 0,01$), Méthyleugenol ($r= 0.76$; $P\leq 0,01$), Acétate de α -Terpinéol ($r= 0.7$; $P\leq 0,05$), acétate de géranyle ($r= 0,54$), et le Durohydroquinone ($r= 0,35$). L' α -Terpinéol est corrélé moyennement avec l'acétate de myrtényle acétate ($r= -0,36$) et le Méthyleugenol ($r= 0,49$). L'acétate de myrtényle est fortement corrélé avec les trois composés chimiques suivants : acétate de α -Terpinéol ($r= -0,79$), Méthyleugenol ($r= -0,72$), et l'acétate de géranyle ($r= -0,60$). Aussi, l'acétate de α -Terpinéol présente des corrélations avec l'acétate de géranyle ($r= 0,71$), Méthyleugenol ($r= 0,69$), et Durohydroquinone ($r= 0,50$). L'acétate de géranyle a une relation phénotypique avec le Méthyleugenol ($r= 0,55$). Un coefficient de corrélation proche à 0,69 est enregistré entre le Méthyleugenol et le Durohydroquinone.

Les résultats de test de corrélation montrent une corrélation significative entre certains composés chimiques des HE et les facteurs écologiques des populations (Tableau 24). Ceci indique que la variation des composés chimiques en HE suite un gradient de variation liée à l'écologie (Précipitation, température et l'altitude). Ainsi, le Nerol est fortement corrélé avec la température de la provenance ($r= 0,71$; $P\leq 0,01$). Tandis que le Myrtenyl acétate présente à la fois des corrélations phénotypiques élevée à modérée avec la précipitation ($r= 0,90$; $P\leq 0,01$), l'altitude ($r= 0,36$) et la température ($r= 0,41$). Alors que les composés, Linalool ($r= -0,73$; $P\leq 0,01$), α -Terpinéol acétate ($r= -0,84$; $P\leq 0,01$), Méthyleugenol ($r= -0,62$; $P\leq 0,05$), et Geranyl acétate ($r= -0,6$; $P\leq 0,05$), sont corrélés négativement aux précipitations. Il est à noter que le Geranyl acétate est assez corrélé avec la température ($r= -0,50$) et l'Altitude ($r= -0,37$).

Tableau 24 : Corrélation entre les rendements en HE, composition chimique et les facteurs écologiques.

	Altitude (m)	Pr (mm)	T (°C)	Rdt HE	α -Pinène	D-Limonène	1,8-cinéol	Nerol	Linalool	α -Terpinéol	Acétate de myrtényle	Acétate de α -Terpinéol	Acétate de géranyle	Méthyleugenol	Durohydroquinone
Altitude (m)	1														
Pr (mm)	,608*	1													
T (°C)	-,056	,109	1												
Rdt	,112	-,182	,095	1											
α -pinène	,014	-,245	-,077	,007	1										
D-Limonène	-,161	-,028	-,049	-,224	,860**	1									
1,8-cinéol	,070	-,196	,011	,622*	-,329	-,545	1								
Nerol	-,210	-,070	,712**	,252	,035	,056	-,098	1							
Linalool	-,273	-,727**	-,112	,252	-,231	-,413	,168	,049	1						
α -Terpinéol	,105	-,203	-,186	,245	-,594*	-,692*	,259	-,196	,741**	1					
Acétate de myrtényle	,357	,895**	,411	-,315	-,266	-,021	-,245	,084	-,755**	-,364	1				
Acétate de α -Terpinéol	-,343	-,839**	-,165	,077	,406	,147	-,035	-,091	,692*	,224	-,790**	1			
Acétate de géranyle	-,366	-,599*	-,502	-,239	,197	,155	-,155	-,570	,542	,275	-,606*	,711**	1		
Méthyleugenol	-,245	-,615*	-,242	0,000	,210	,133	-,364	,084	,755**	,490	-,720**	,692*	,549	1	
Durohydroquinone	,007	-,273	,267	-,238	,371	,266	-,573	,238	,350	,203	-,217	,503	,275	,685*	1

2.5. Analyse de la structure de la variabilité du rendement et des chémotypes des HE

L'analyse en composantes principales (ACP), a été réalisée en se basant sur le rendement et le taux de 11 composés majoritaires de tous les échantillons ayant un pourcentage moyen supérieur à 0.5 % (1.8-cinéol, α -Pinène, myrtenyl acétate, Linalool, D-limonène, α -terpinéol acétate, Geranyl acétate, α -Terpinéol, α -Terpinéol acétate, Méthyleugenol, Durohydroquinone). Les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) expliquent significativement la variance totale des données (68.38 %, Fig. 27). En fait, la distribution des populations ayant les mêmes taux de composés majoritaires est fortement corrélée à la première composante principale (PC1= 42.07 %) qui a montré une corrélation positive et significative avec α -terpinéol acétate, Méthyleugenol, Durohydroquinone, Linalool et Geranyl acétate, ainsi qu'elle est corrélée négativement avec les teneurs en myrtenyl acétate. D'autre part, la PC2 est positivement liée à l' α -Terpinéol et le Linalool et négativement aux teneurs en α -Pinène et D-limonène. Ces résultats aboutissent à la détermination de quatre groupes chimiques (chémotypes) des HE de myrte au Maroc.

En considérant la distribution géographique des quatre chémotypes de myrte, le 1.8-cinéol est le chémotype le plus fréquent dans les populations de plateau central avec une légère présence de chémotype α -Pinène. En outre, le chémotype myrtenyl acétate/1.8-cinéol a été détecté chez quatre populations de Rif occidental (BOUH, BT, IZA et DAR) et la population GHA dans les montagnes de pré-Rif dont ils ont une abondance dans le taux de myrtenyl acétate à l'exception de la population DAR qui se caractérise par l'abondance de 1.8-cinéol. D'autre part, le chémotype 1.8-cinéol/ α -Pinène/D-limonène/Geranyl acétate est distribué fréquemment dans les deux populations RAB et BRA de plateau centrale et la population AGH de pré-Rif. En revanche, le quatrième chémotype de 1.8-cinéol/Linalool/ α -Pinène se caractérise par une distribution spécifique. Ce chémotype est présent dans toutes les zones de distribution naturelles de myrte, mais avec une variabilité nette dans les taux des composés qui donnent des combinaisons différentes d'une zone à l'autre.

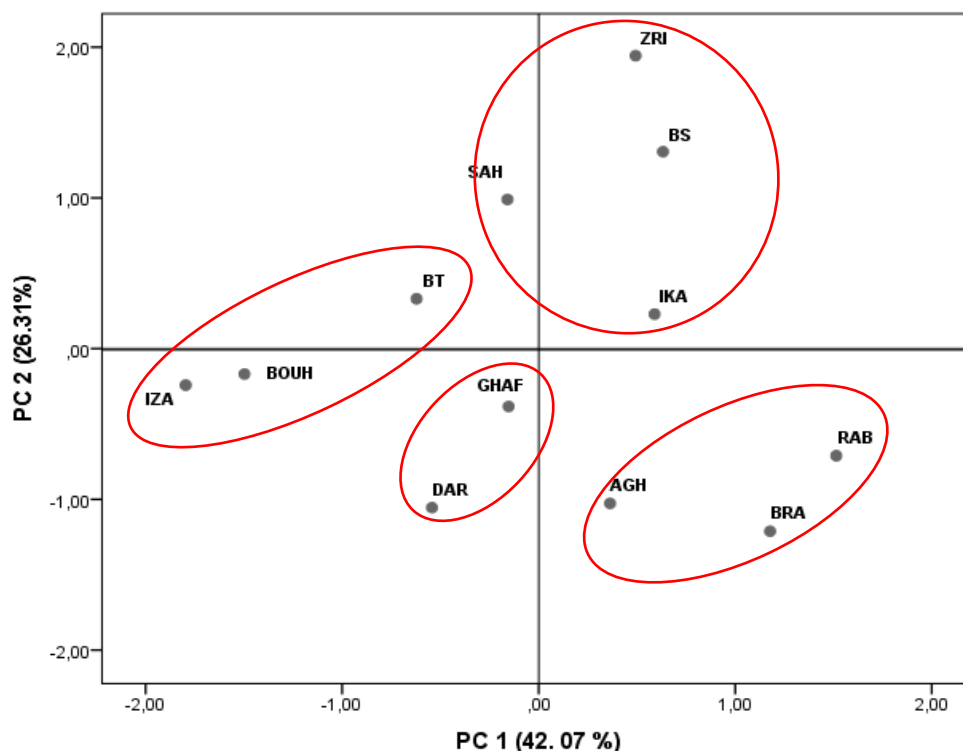


Figure 27 : Analyse en composantes de la variabilité chimique des HE des populations naturelles de myrte étudiée.

La figure 28 représente le dendrogramme correspondant tandis que les pourcentages des composés majoritaires (moyenne, min-max) de provenance sont présentés dans les tableaux 20 et 21.

Le groupe I : correspond aux HE des populations qui sont riches en myrtenyl acétate (32.91 – 36.32 %), il s’agit des populations IZA, BOUH et BT de Rif occidental dont la population BOUH est la plus riche en ce composé. Également, ce groupe est caractérisé par des valeurs importantes de 1.8-cinéol (29.58 – 31.47 %). En revanche, il est noté que ces populations sont pauvres en α -Terpinéol acétate.

Le groupe II : comprise les HE de la population GHA de pré-Rif et la population DAR de Rif occidental qui sont riches en 1.8-cinéol (24.50 % et 33.81 % respectivement). Le second composé majoritaire de ce groupe est le myrtenyl acétate (22.77 - 25.85%). Ce groupe est caractérisé également par sa richesse en α -Pinène dont les valeurs comprises entre 14.19 % et 17.70 %.

Le groupe III : est constitué par les HE des populations RAB et BRA de plateau centrale et la population AGH de pré-Rif ayant comme composés majoritaires le 1.8-cinéol (25.60 %, 22.77 % et 25.85 % respectivement).

27.60% et 34.11 % respectivement) et l' α -Pinène (17.47 %, 21.03 % et 21.24 % respectivement). Il est noté que ce groupe est riche également en D-limonène (9.54 % - 10.35 %), myrtenyl acétate (8.86 % - 12.56 %) et Geranyl acétate (3.78 % - 6.12%) En revanche il est pauvre en Nerol (0.36% - 0.59 %).

Le groupe IV : correspond aux HE des populations BS (Plateau central), les populations SAH, IKA et ZRI de pré-Rif qui sont caractérisés par l'abondance de 1.8-cinéol comme premier composé majoritaire (31.23 % - 40.12 %) dont la population SAH est la plus riche en ce composé (40.12%). Pour la population BS le deuxième composé majoritaire est le Linalool (10.72%), et la population SAH a l' α -Pinène comme deuxième composé majoritaire (12.40 %). En revanche, les populations IKA et ZRI présentent comme composé majoritaire le myrtenyl acétate (15.29 % et 17.91 % respectivement).

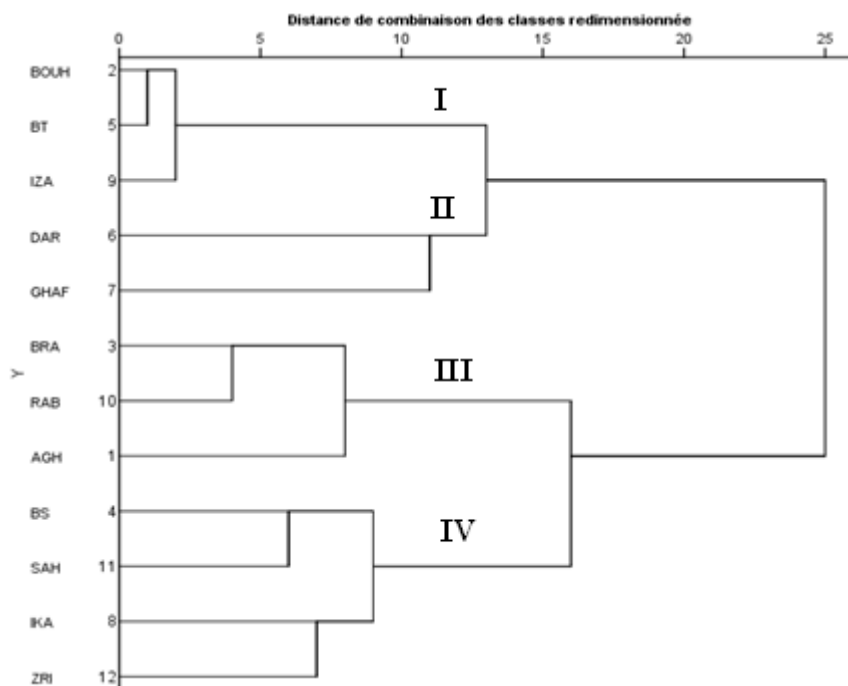


Figure 28 : Classification hiérarchiques des populations naturelles de myrte en utilisant la distance euclidienne basée sur la composition chimique des HE.

3. Discussion

L'importance de la quantité et la qualité nutritionnelle des huiles essentielles augmente régulièrement. Les marchés national et international sont de plus en plus conscients d'assurer une sécurité en HE dans un cadre de développement durable. Il est nécessaire d'établir de nouveaux systèmes de culture pour protéger les caractéristiques des huiles essentiels ainsi que

de développer de nouvelles variétés de myrte de haute qualité. En fait, il est important de connaître la variabilité des populations de myrtes naturelles en HE en faveur de tout programme d'amélioration mais aussi de conservatin génétique. La présente étude est conçue pour montrer l'effet de la provenance sur la variation du rendement et le profil phytochimique des huiles essentielles de myrte issues de différentes régions biogéographiquement distinctes. On s'intéresse de révéler le patron de variation de la qualité et la quantité des HE en relation avec les conditions écologiques.

3.1. Caractérisation de la variation du rendement et de la composition chimique des HE

Nos résultats ont révélé une variation spatiale notable du rendement en HE du myrte. Les différences bioclimatiques entre les 3 régions (relative au 12 populations naturelles) étudiées semblent avoir un effet significatif sur la teneur en HE. Le rendement en HE calculé sur les feuilles sèches varie entre 0.25 % et 0.60 %. Ce résultat est en concordance avec des études antérieures qui ont travaillé d'une façon fragmentaire sur les mêmes zones (Satrani et al., 2006 ; Wahid et al., 2016). En revanche d'autres études montrent des valeurs relativement supérieures et elles sont de l'ordre de 0,48 et 1,06 % (Ghanmi et al., 2011 ; Fadil et al., 2016 ;2017). A l'échelle du Maghreb, les valeurs de rendement en huiles essentielles du myrte au niveau de l'Algérie (0,32 %) et de la Tunisie (0,61 %) est en concordance avec les résultats enregistrés pour le myrte marocain. Alors, qu'il est faible par rapport aux rendements enregistrés en Italie (allant de 0,22 % à 0,90 % ; Tuberoso et al., 2006), et en Portugal (Pereira et al., 2009) (allant de 0,33 % et 0,74 %). En Grèce et Iran, il enregistre des valeurs élevées par rapport au résultat trouvé au niveau du myrte du Maroc, qui varient de 1,20 % et 1,45 % et de 0,53 %-1,75 % respectivement (Gardeli et al., 2008 ; Rahimmalek et al., 2013).

Cette variation en rendement des huiles essentielles entre les populations naturelles marocaines du myrte pourrait être due aux facteurs génétiques à la période de collète de la matière végétale comme il a été prouvé par Bradesi et al. (1997) et aussi au stade végétatif selon Jamouusi et al. (2005) qui ont montré que le maximum de rendement en huiles essentielles pourrait être obtenue en stade de floraison. En plus de ses facteurs intrinsèques, les conditions environnementales des provenances pourraient être également à l'origine de cette variation comme il a été prouvé par Szakiel et al. (2010). Ainsi que les stressés liés à l'environnement influence la production des huiles essentielles (Sharma et al., 2012 ; Fadil et al., 2016). Dans notre étude, la variation des conditions environnementales est bien évidente, tant que les populations étudiées appartenant à des zones bioclimatiques (humide et sub-humide) et

biogéographiques (Rif, pré-rif et plateau central) distinctes. Ceci montre que la provenance de la matière végétale du Myrte au Maroc a un effet significatif sur le rendement en HE.

La caractérisation qualitative des HE des populations naturelles du myrte au Maroc, a montré la présence d'une composition majoritaire avec des pourcentages différents des produits suivant : 1,8-cinéol, myrtenyl acétate, α -Pinène, D-limonène, α -terpinéol, linalool, méthyleugenol et geranyl acétate. Ces résultats sont notés par plusieurs études précédentes portées sur la variation de la composition chimique du myrte (Yadegarinia et al., 2006 ; Gardeli et al., 2008 ; Petretto et al., 2015). En fait, nos résultats montrent la dominance de 1,8-cinéol (24,50-39,12% suivi par le myrtenyl acétate (8,53-36,32%) et α -pinène (6,48-21,03%) qui sont en concordance avec les résultats rapportés par Fadil et al. (2017). Par contre, certains auteurs rapportent que les HE du myrte sont souvent dominés par α -Pinène comme composé principal (Flamini et al., 2004 ; Bouzabata et al., 2013 ; 2015 ; Rahimmlaek et al., 2013). Ces différences pourraient s'expliquer par les effets environnementaux et/ou génétiques.

Au niveau de la variabilité qualitative des HE entre les populations naturelles du myrte au Maroc, cette étude montre un effet de la provenance. Ainsi, les populations du myrte provenant du Rif Occidental se caractérisent par une prédominance de myrtenyl acétate (22,77%-36,32%) et 1,8-cinéol (29,58-33,81%). Cependant, les populations naturelles du pré-Rif et le Plateau Central sont caractérisées par l'abondance en 1,8-cinéol (24,50%-39,12% ; 25,60%-36,48% respectivement) et α -Pinène (6,48%-20,24% ; 9,24%-21,03% respectivement) et parfois par le D-limonène (4,99%-9,64% ; 6,40%-10,35%). Selon Bakha et al. (2018), les facteurs géographiques et climatiques pourraient influencer la variabilité des processus de la biosynthèse des HE et par conséquent agit sur la qualité et la quantité de ces HE. Plusieurs études ont démontré que le polymorphisme chimique des HE du myrte pourrait être due non seulement à l'origine géographique et de leur environnement, mais également aux facteurs génétiques (Rahimmlaek et al. 2013, Flamini et al. 2004). Alors que Pereira et al. (2009) ont montré que le rendement et la composition des HE de myrte sont dus au cycle végétatif des échantillons.

3.2. Les corrélations phénotypiques

Cette étude montre des corrélations significativement et positivement entre le rendement en HE et le 1,8-cinéol ($r= 0,62$). Cette corrélation élevée suggère que certaines populations, pourraient avoir un rendement en HE assez important tout en ayant des valeurs élevées en 1,8-cinéol. D'autre part, une corrélation modérée et négative est observée entre le rendement et le

myrtenyl acétate ($r = -0,31$). À l'inverse du 1,8-cinéol, et le myrtenyl acétate pourrait diminuer tout en ayant des quantités élevées en rendement en HE. En plus, une forte relation entre le pourcentage du myrtenyl acétate et les précipitations est observée dans la présente étude ($r = 0,96$). Par ailleurs, les populations du myrte provenant du Rif Occidental qui est la plus arrosée, sont riches en myrtenyl acétate et moins en rendement des HE. Alors que les zones du Plateau Central et de pré-Rif présentant un taux modéré en précipitation, sont riches en 1.8-cinéol et en rendement des HE, mais moins avec le myrtenyl acétate. Dans cette étude, le rendement des HE ne présente pas des corrélations directes avec les conditions écologiques. Mais il est lié négativement au myrtenyl acétate et indirectement à la précipitation. A savoir que plusieurs études ont montré que ces conditions sont en corrélation avec le rendement en huiles essentielles (Bakhy et al., 2014 ; Bakha et al., 2018). Ce résultat illustre, donc, l'intérêt de la prise en considération des conditions écologiques de la provenance du Myrte pour la sélection indirecte du meilleur potentiel en rendement en HE.

Dans la présente étude, on observe des corrélations significatives entre les composés chimiques des HE. Une sélection d'une population riche en un composé chimique peut agir sur la présence ou l'absence des autres composés d'intérêt économique ou thérapeutique. Par exemple les populations riches en myrtenyl acétate sélectionnées seront pauvres en α -terpinéol acétate ($r = -0,79$), méthyleugenol ($r = -0,72$), et en geranyl acétate ($r = -0,60$). De même, la sélection des populations basées sur la richesse en 1,8-cinéol, sera en déficit de D-Limonène ($r = -0,55$), et le Durohydroquinone ($r = -0,57$). Des populations riches en α -Pinène, elles seront, aussi, riches en D-limonène ($r = 0,86$), mais pauvres en α -Terpinéol ($r = -0,59$). La corrélation phénotypique démontrée dans la présente étude entre les composés chimiques des HE du Myrte au Maroc et les conditions écologiques montre que le facteur précipitation est déterminant pour la plupart des composés chimiques. Ceci suggère que la répartition des chémotypes caractéristiques des populations naturelles du myrte suit un patron de variation écologique de la précipitation. A savoir, les populations du myrte provenant du Rif occidental se développent dans un climat humide caractérisé par un taux de précipitation annuel plus important que la zone de plateau central et le pré-Rif. Ces dernières sont caractérisées par un climat sub-humide qui se traduit par des températures moyennes annuelles relativement élevées et un taux de précipitation modéré.

3.3. Structure de la variabilité du rendement et de la composition chimique du myrte

Les résultats de l'ACP et la classification hiérarchique des populations en se basant sur le taux des composés majoritaires des HE à savoir : 1,8-cinéol, myrtenyl acétate, α -pinène, D-

limonène, linalool et α -terpinéol, ont permis de classer des populations selon des groupes chimiques et par conséquent d'attribuer quatre chémotypes aux HE du myrte marocain. Le chémotype à myrtenyl acétate/1,8-cinéol représentant les HE des populations de montagnes de Rif occidental (BOUH, BT, IZA, DAR) et la population GHA de pré-Rif. Il a été déjà rapporté par [Fadil et al. \(2017\)](#) dans la région de Taounate (Barrage Sahla). Les deux populations DAR et GHA sont riches en 1,8-cinéol par rapport au myrtenyl acétate et par conséquent elles sont classées dans un groupe isolé des autres populations (BOUH, IZA et BT). Ces populations appartenant à l'étage bioclimatique humide à l'exception de la population GHA qui se localise dans une zone à climat sub-humide, mais si on considère les facteurs climatiques locales on pourrait la classer dans le climat humide. Elles sont caractérisées par un taux annuel élevé et identique des précipitations. Le chémotype à 1,8-cinéol/ α -pinène, avec une présence modeste de D-limonène et Geranyl acétate, qui a été rapporté par [Bradesi et al. \(1997\)](#) et [Flamini et al. \(2004\)](#) représente les populations BRA et RAB de plateau central et la population AGH de pré-rif qui sont caractérisées par des valeurs similaires des températures moyennes annuelles et de précipitations annuelles. Le chémotype à 1.8-cinéol/Linalool/ α -Pinène correspond aux HE des populations SAH, ZRI et IKA de pré-rif et la population BS de plateau central ayant des valeurs identiques et modérées des précipitations annuelles ce qui contribue à leur classification dans le climat sub-humide.

L'attribution de différents chémotypes aux huiles essentielles des provenances étudiées pourrait être expliqué par la variation des voies de synthèse de ces métabolites secondaires spécialisés d'une zone à l'autre à cause, soit, des facteurs intrinsèques génétiques contrôlés par l'expression de certains gènes misent en œuvre dans le contrôle de différents phénomènes physiologiques de la plante, tel que l'adaptation au stress hydrique ou/et thermique, ainsi qu'au stress oxydatif ([Selmar et Kleinwächter, 2013](#)), soit par des facteurs externes qui se manifestent par le changement des conditions environnementales des milieux naturels des populations de cette plante d'une part. D'autre part, la variabilité des conditions climatiques pourrait être à l'origine de cette variabilité de chémotype. Toutefois, les populations naturelles de myrte se répartissent dans deux types de bioclimats avec une différenciation dans les taux des facteurs climatiques à savoir les précipitations, la température, l'humidité, etc. qui crée une multitude de microclimats plus particulières pour chaque zone. En fait, les populations de pré-rif et de plateau centrale se développent dans le climat sub-humide (Tableau 10), mais avec une différence entre le taux de précipitation entre les deux zones. Par contre les populations de rif qui s'adaptent au climat humide qui est caractérisé par un taux élevé de précipitation et

d'humidité. Alors comme réaction à ces conditions, les plantes changent leur comportement morphologique et surtout physiologique et biochimique, ce qui leur permet de maintenir leur développement et leur production soit en quantité qu'en qualité (Rizhsky, et al., 2002 ; Liu et al., 2005 ; Madhava Rao et al., 2006 ; Mittler, 2006 ; Li et al., 2010).

Conclusion

Les résultats de la présente étude montrent une variabilité quantitative et qualitative importantes pour les HE du myrte dans son aire de répartition naturelle. En effet nous avons constaté que les populations de plateau central (0.36-0.60 %) sont plus riches en huiles essentielles par rapport aux populations de Rif occidental (0.30-0.44%) et de pré-Rif (0.25-0.41%). D'autre part, nous avons remarqué un polymorphisme chimique important au niveau de la composition des HE des populations étudiées. En se basant sur le taux des composés majoritaires à savoir : 1,8-cinéol, myrtenyl acétate, α -pinène, D-limonène, linalool, α -terpinéol et Geranyl acétate, nous avons pu distinguer quatre chémotypes de myrte marocain. L'ACP et la classification hiérarchique ont abouti à la répartition de ces chémotypes comme suit : (I) Le chémotype à myrtenyl acétate/1,8-cinéol dans les populations de Rif occidental (BOUH, BT, IZA, DAR) et la population GHA de pré-Rif, (II) le chémotype à 1,8-cinéol/ myrtenyl acétate dans la population DAR (Rif occidental) et GHA (pré-Rif), (III) Le chémotype à 1,8-cinéol/ α -pinène/D-limonène/Geranyl acétate, dans les populations BRA et RAB (plateau central) et la population AGH (pré-Rif) et (IV) Le chémotype à 1,8-cinéol/Linalool/ α -Pinène dans les populations SAH, ZRI et IKA de pré-rif et la population BS de plateau central. Ces données et les résultats de corrélation entre le rendement et la composition chimique des HE montre que la provenance de matériel végétal a un effet significatif sur la variabilité qualitative et quantitative des HE du myrte au Maroc. Par conséquent, les données géographiques, environnementales et climatiques constituent des paramètres importants pour une meilleure évaluation de la biosynthèse des huiles essentielles des plantes aromatiques qui se produisent dans des conditions différentes. Cette richesse phytochimique du myrte offrir entre autres des possibilités de sa valorisation dans le domaine agroalimentaire que dans le domaine médical et également offrir de multiples possibilités d'applications dans d'autres domaines. D'autre part, le polymorphisme de profile chimique des huiles essentielles de myrte pourrait constituer une base de données intéressante dans la sélection de meilleur matériel génétique à impliquer dans tout programme de sélection et d'amélioration de cette espèce.

Conclusion générale

Le myrte commun (*Myrtus communis* L.) est considéré actuellement parmi les PAM d'un intérêt national qu'international. Grâce à ces vertus et sa richesse de point de vue composition chimique de ces extraits surtout ces huiles essentielles, il occupe une place primordiale dans le marché internationale et la demande ne cesse qu'augmenter.

L'enquête ethnobotanique réalisée dans la région Béni Mellal-Khénifra sur l'utilisation des ressources de myrte dans une zone en dehors de son milieu naturel a révélé des résultats intéressants ainsi qu'une relation étroite entre la population locale et cette espèce. Ainsi, les femmes, âgé entre 40 et 50 ans, sont dépositaires d'un savoir-faire important concernant l'utilisation de myrte dans la médecine traditionnelle. En considérant l'importance de l'utilisation du myrte au Maroc ou à l'international et suite à ses vertus cosmétiques et thérapeutiques, il est temps de sensibiliser et d'enrichir le savoir-faire traditionnel de cette espèce dans la région de Béni Mellal-Khénifra dans un cadre de durabilité et de mettre en perspective le développement de cette espèce, à travers des produits destinés à la l'industrie cosmétique et à la parfumerie, à la phytothérapie et pharmaceutique, mais surtout à l'industrie alimentaire. La population locale de la région devrait être encouragée à cultiver cette espèce et introduire des variétés améliorées ayant une valeur économique et d'importants avantages sociaux et écologiques.

Les séries de prospection menée dans l'aire de répartition naturelle de myrte (le Plateau Central, Pré-Rif et le Rif Occidental) ont permis de déterminer les exigences environnementales de cette espèce en mettant l'accent sur les zones bioclimatiques où elle se développe à savoir : sub-humide, humide et hyper-humide, dans des altitudes entre 220 et 1150 m et des températures annuelles qui varie de 5°C jusqu'à 20°C, alors que la pluviométrie annuelle est entre 300 mm et 1000 mm. Ceci correspond à l'étage de végétation thermo-méditerranéen et la partie inférieure de méso-méditerranéen.

Également, dans ce travail de thèse, 144 génotypes de myrte commun provenant de différentes zones de sa répartition naturelle, le Rif occidental, le pré-Rif (montagne) et le plateau central (plaine) ont été caractérisé afin d'évaluer l'effet de la provenance sur la variabilité morphologique, la quantité et la composition chimique des huiles essentielles, dans la perspective sélectionner des variétés les plus performantes et adaptatives.

Les résultats de la caractérisation phénotypique ont montré l'existence d'une variation significative entre les individus (intra-population) et entre les populations (inter-population) pour la plupart des caractères morpho-pomologiques étudiés. Ce qui montre que les individus de myrte réagissent différemment à l'environnement de leur milieu physique. Cependant, les variations observées entre les individus de la même population sont liées souvent aux facteurs génétiques. En plus des facteurs génétiques, la variance entre les populations est sous l'effet de provenance (pré-Rif, Rif Occidental et Plateau central). On conclut que la sélection naturelle et l'adaptation de l'espèce peuvent jouer un rôle important dans l'expression des caractères morphologiques. D'autre part, nous avons observé de forte corrélation positive entre les différents traits morphologiques de chacun des organes des feuilles, fruits, graines et d'arbuste. Ces corrélations pourraient être exploitées comme des bio-indicateurs pour les tests de plantation ex-situ en faveur de programmes de sélection de myrte au Maroc.

La caractérisation quantitative et qualitative des huiles essentielles du myrte montre une variabilité importante dans sa répartition naturelle. En effet nous avons constaté que les populations de plateau central sont plus riches en huiles essentielles par rapport aux populations de Rif occidental et de pré-Rif. Les huiles essentielles du myrte sont riches en 1,8-cinéol, myrtenyl acétate, α -pinène, D-limonène, linalool, α -terpinéol et Geranyl acétate. D'autre part, nous avons remarqué un polymorphisme chimique important au niveau de la composition des huiles essentielles entre les populations étudiées ce qui aboutit à la classification de ces dernières en quatre chémotypes en se basant sur le taux des composés majoritaires. Une corrélation significative a été observé entre le rendement, la composition chimiques des huiles essentielles et la provenance de matériel végétal ce signifie que l'origine des échantillons a un effet sur la quantité et la qualité de ces huiles.

Vu l'importance socio-économique qu'écologique de myrte commun au Maroc, ainsi que sa diversité phénotypique et biochimique, son amélioration génétique et la sélection des variétés plus performantes sont très recommandées. Dans ce contexte, et en considérant les exigences de sa forte demande auprès des industries pharmaceutique, cosmétique et agro-alimentaire, il faut déployer des efforts pour la sélection des variétés performantes et bien adaptées aux différentes zones géographiques marocaines et aux changements climatiques.

A la lumière des résultats de ce travail, nous suggérons les perspectives suivantes :

Sur le plan du développement et de l'économie :

- Encourager la culture des différentes populations de cette espèce ayant une valeur économique et des bénéfices sociaux et écologiques comme une nouvelle filière de produits de terroir et étudier la chaîne de valeur de cette espèce.
- Valoriser les ressources de myrte à travers des produits destinés aux industries de la cosmétique, de la parfumerie, de la phytothérapie, de la pharmacie et de l'industrie alimentaire

Sur le plan agronomique et biochimique :

- Evaluer de l'effet de domestication sur les aspects morphologique et biochimique du myrte.
- Evaluer l'effet de la période de collecte et les techniques d'extraction sur le rendement et la composition chimiques des huiles essentielles.

Sur le plan génétique :

- Etudier la variabilité génétique des populations naturelles du myrte à travers les marqueurs moléculaires.
- Rechercher les substances ou les molécules à intérêt économique.

Références bibliographiques

A

- Aafi, A. (2012). Valorisation des Produits Forestiers Non ligneux du Maroc (PFNL). Laayoune.14-15 Mai 2012.
- Aafi, A., Taleb, M.S., Fechtal, M. (2002). Espèces remarquables de la flore du Maroc. *Centre national de la recherche forestière*, Rabat, Maroc. p. 85.
- Aafi, A., Achhal EL Kadmiri, A., Benabid, A., Rochdi, M. (2005). Richesse et diversité floristique de la suberaie de la Mamora (Maroc). *Acta Botanica Malacitana*. 30, 127-138.
- Abbes, A. (2014). Evaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles d'*Ammoides Verticillata* « NOUKHA » de la région de Tlemcen. Université Abou Bekr Belkaid, Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Tlemcen. Algérie.
- Abu-Darwish M.S., Abu-Dieyeh Z.H.M. (2009). Essential Oil Content and Heavy Metals Composition of *Thymus vulgaris* Cultivated in Various Climatic Regions of Jordan. *International Journal of Agriculture & Biology*. 11, 59–63,
- Adams, R.P. (2007). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured Publ. Corp, Carol Stream, IL, USA
- AFNOR. (2000). « Recueil de normes : les huiles essentielles. Tome 2. Monographies relatives aux huiles essentielles ». AFNOR. Paris. 661-663.
- AFSSAPS. (2008). Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles Contribution pour l' évaluation de la sécurité Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. France.
- Agrimonti, C., Bianchi, R., Bianchi, A., Ballero, M., Poli, F., Marmiroli, N. (2007). Understanding biological conservation strategies: a molecular- genetic approach to the case of myrtle (*Myrtus communis* L.) in two Italian Regions: Sardinia and Calabria. *Conservation Genetics*. 8, 385-396.
- Aidi Wannes, WA., Mhamdi, B., Marzouk, B. (2009). Variations in essential oil and fatty acid composition during *Myrtus communis* var. *italica* fruit maturation. *Food Chemistry*. 112, 621–626.
- 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 antiacetyl- cholinesterase activities. *Ind. Crops Prod*. 91, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.025>.
- Aitken, SN., Yeaman, S., Holliday, JA., Wang, T. (2008) Adaptation migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evol Appl* 1, 95–111
- Albaladejo, R.G., Carrillo, L.F., Aparicio, A., Fernández-Manjarrés, J.F. & González-Varo, J.P. (2008). Population genetic structure in *Myrtus communis* L. in a chronically fragmented landscape in the Mediterranean: can gene flow counteract habitat perturbation? *Plant Biology*, 11, 442-453.

Anyinam, C. (1995). Ecology and ethnomedicine. Exploring links between current environmental crisis and indigenous medical practices. *Social Science and Médecine* 4, 321-329.

Aquaron, M. (2005). Relation entre les hommes et les plantes médicinales, les Causeries en Montagne, Sabenca de la Valéia, Barcelonnette, France.

Arhinful, A.M. (2017). Evaluation des potentialités de production et mesures de conservation des plantes aromatiques et médicinales dans le bassin versant de l'Ourika. Ecole nationale forestière d'ingénieurs, Salé, Maroc.

Audigié, C., Dupont, G., Zonszain, F. (1998). Principes des méthodes d'analyse biochimique. Doin Editions. France. Pp 207.

Aussenac, G. (1984). Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131, 2-4. <https://doi.org/10.1080/01811789.1984.10826679>

Azzouzi, F.E., Zidane, L. (2015). La flore médicinale traditionnelle de la région de Béni-Mellal. *Journal of Applied Biosciences*, 8493 – 8502.

B

Bachar, M., Zidane, L., Rochdi, A. (2016). Ethno- medicinal and traditional Phytotherapy of plants used in Bouhachem Natural Regional Park (Rif of Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science* 11, 4175-4204.

Bakha, M., El Mtili, N., Machon, N., Aboukhalid, K., Amchra, FZ., Khiraoui, A., Gibernau, M., Tomi, F., et Al Faiz, C. (2018). Intraspecific chemical variability of the essential oils of Moroccan endemic *Origanum elongatum* L. (Lamiaceae) from its whole natural habitats *Origanum elongatum* L. (Lamiaceae). *Arabian Journal of Chemistry* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.08.015>

Bakhy, K., Benhabib, O., Bighelli, A., Casanova, J., Tomi, F., Al Faiz, C. (2014). Yield and chemical variability of the essential oil isolated from aerial parts of wild *Origanum compactum* Benth. From Moroccan Western Rif. *Am. J. Essential Oils Natural Prod.* 1(4), 9–17.

Barbéro, M., Quézel, P., Rivasmartínez, S. (1981). Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. *Phytocoenologia*. 9(3), 311- 412.

Barboni, T., Venturini, N., Paolini, J., Desjobert, J.M., Chiaramonti, N., Costa, J. (2010). Characterisation of volatiles and polyphenols for quality assessment of alcoholic beverages prepared from Corsican *Myrtus communis* berries. *Food Chemistry*, 122, 1304-1312.

Bego, GV. (2003). Connaître l'essentiel sur les huiles essentielles. Ed. MDB.

Belaiche, P. (1982). Guide familial de la médecine par les plantes. 7e édition, Hachette, Paris, p 281.

Belaiche, P. (1979). Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. Tom 1 : L'aromatogramme, éd Maloine, 280 P.

Bellakhdar, J., Claisse, R., Fleurentin, J., Younos, C. (1991). Repertory of standard herbal drugs in the Moroccan pharmacopoea. *Journal of Ethnopharmacology* 35, 123-143.

Bellakhdar, J. (2006). Plantes Médicinales au Maghreb et soins de base, (Ed) le Fennec, Casablanca, Maroc.

Bellakhdar, J. (1997). La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. (Ed) Le Fennec, Casablanca/ Ibis Press. 764 p. Paris.

Benabid, A. (1985). Les écosystèmes forestières, pré-forestières et pré-steppiques du Maroc. *Forêt Méditerranéenne*, 1(2), 324–330.

Benabid, A., Fennane, M. (1994). Connaissances sur la végétation du Maroc : Phytogéographie, phytosociologie et séries de végétation. *Lazarooa*, 14, 21-97.

Benayad, N. (2013). Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines ; Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse, Thèse de doctorat, Université Mohammed V – Agdal Faculté des Sciences, Rabat, Maroc.

Benkhnigue, O., Zidane, L., Fadli, M., Elyacoubi, H., Rochdi, A., Douira, A. (2011). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc). *Acta^o Botanica Barcelona* 53, 191-216.

Benlamdini, N., Elhafian, M., Rochdi, A., Zidane L. (2014). Étude Floristique et Ethnobotanique de La Flore Médicinale Du Haut Atlas Oriental (Haute Moulouya). *Journal of Applied Bioscience* 78(20), 6771-6787.

Berka-Zougali, B., Ferhat, M.A., Hassani, A., Chemat, F., Allaf, K.S. (2012). Comparative study of essential oils extracted from Algerian *Myrtus communis* L. leaves using microwaves and hydrodistillation. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 4673–4695.

Bnouham, M., Merhfour, F.Z., Elachoui, M., Legssyer, A., Mekhfi, H., Lamnaouer, D., Ziyat, A. (2006). Toxic effects of some medicinal plants used in Moroccan traditional medicine. *Moroccan J. Biol.* 2, 21–30.

Boelens, M.H., Valverde, F., Sequeiros, L., Jimenez R. (1990). Ten years of hydrodistillation of oils. *Perfumer and Flavorist*, 15, 11-14.

Boelens, M.H., Jimenez, R. (1991). The chemical composition of Spanish Myrtle oils. Part I. *J. Essent. Oil Res.* 3, 173–177.

Bouguerra, A. (2011). Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare* Mill. en vue de son utilisation comme conservateur alimentaire. Université Mentouri Constantine. Algérie.

Bouzabata, A., Castola, V., Bighelli, A., Abed, L., Casanova, J., Tomi, F. (2013). Chemical variability of Algerian *Myrtus communis* L. *Chem Biodivers.* 10, 129-137.

Bouzabata, A. (2015). Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique : *Myrtus Communis* L. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Bradesi, P., Tomi, F., Casanova, J., Costa, J., Bernardini, A.F. (1997). Chemical composition of myrtle leaf essential oil from Corsica (France). *J. Essent. Oil Res.* 9, 283–288.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes médicinales. 3e édition. (Ed) Tec et doc. Paris.

Bruneton, J. (2009). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. 4e édition (Ed) Tec et doc. Paris. 1269-1288.

C

Cakir, A. (2004). Essential oil and fatty acid composition of the fruits of *Hippophae rhamnoides* L. (sea buckthorn) and *Myrtus communis* L. from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 32, 809–816.

Cannas, S., Molicotti, P., Ruggeri, M., Cubeddu, M., Sanguinetti, M., Marongiu, B., Zanetti, S. (2013). Antimycotic activity of *Myrtus communis* L. towards *Candida* spp. from clinical isolates. *Journal of Infection in Developing Countries*, 7: 295-298.

Chalchat, J.C., Garry, R.F., Michet, A. (1998). Essential oils of Myrtle (*Myrtus communis* L.) of the Mediterranean littoral. *J. Essent. Oil Res.* 10, 613–617.

Chatti, K., Choulak, S., Guenni, K., Hannach, AS. (2017). Genetic diversity analysis using morphological parameters in Tunisian Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Research in Biological Sciences*. 2, 29-34.

Chevallier, MH., Borgel, A. (2001). Diversité génétique des acacias. Dans L'acacia Sénégal. (Ed) l'Orstom, Paris. France. Pp 287-308.

Clement, RP. (2005). Aux racines de la phytothérapie : entre tradition et modernité (1re partie). *Phytotherapie*, 3, 171–175.

Clevenger, J.F. (1928). Determination of volatile oil. *J. Ann. Pharm. Assoc.* 17(4), 346-351.

Cook I.O., Ladiges P.Y. (1991). Morphological variation within *Eucalyptus nitens* s. l. and recognition of a new species, *E. denticulate*. *Aust. Syst. Bot.* 4, 375–390.

Couic-Marinier F., Lobstein A. (2013). Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités Pharmaceutiques*. 52 (525), 18-21.

Crocoll, C., Asbach, J., Novak, J., Gershenzon, J., Degenhardt, J. (2010). Terpene synthases of oregano (*Origanum vulgare* L.) and their roles in the pathway and regulation of terpene biosynthesis. *Plant Mol. Biol.* 73, 587–603. <https://doi.org/10.1007/s11103-010->

Croteau, R., Kutchan, T.M., Lewis, N.G. (2000). Natural Products (Secondary Metabolites). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, 1250–1318.

D

Daget, P. (1977). Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'emberger. *Vegetatio*. 34(2), 87-103.

Daki, M. (2004). Etude de Faisabilité d'un plan d'aménagement côtier en méditerranée marocaine de la végétation. Rapport final du département de l'environnement. Ministère de l'aménagement du Territoire, de l'eau et de l'environnement, Rabat. Maroc, 6-113.

Daoudi, A., Bammou, M., Zarkani, S., Slimani, I., Ibjibijen, J., Nassiri, L. (2015). Étude Ethnobotanique de La Flore Médicinale Dans La Commune Rurale d'Aguelmouss Province de Khénifra (Maroc). *Phytotherapie*, 14(4), 220-228.

De Feo, F.S. (1993). Medicinal plants and phytotherapy in the Amalfitan Coast, Salerno Province, Campania, Southern Italy. *Journal of Ethnopharmacology*. 39-51.

De Maack, F., Sablier M. (1994). Couplages chromatographiques avec la spectrométrie de masse. Bases documentaires, Techniques d'analyse. Référence : P2614.

De Martonne, E. (1926). Aréisme et indice d'aridité. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 181, 1395-1398.

Deriu, A., Branca, G., Molicotti, P., Pintore, G., Chessa, M., Tirillini, B., Paglietti, B., Mura, A., Sechi, L.A., Fadda, G., Zanetti, S. (2007). In vitro activity of essential oil of *Myrtus communis* L. against *Helicobacter pylori*. *Int J Antimicrob Agents*. 30(6), 562–3.

Desjobert, J.M., Bianchini, A., Tommy, P., Costa, J., Bernardini, A. F. (1997). Etude d'huiles essentielles par couplage chromatographie en phase gazeuse / spectrométrie de masse. Application à la valorisation des plantes de la flore Corse. *Analysis*. 25 (6), 13- 16.

Duminil, J. (2006). Etudes Comparatives de la Structure Génétique des plantes. Thèse de doctorat faculté des sciences et techniques Nancy I, France. 215 p.

Duraffourd C., Lapraz J.-C. (1990). Traité de phytothérapie clinique. (Ed.) In Masson (2ème éd). Paris.

E

Ebrahimabadi, EH., Ghoreishi, SM., Masoum, S., Ebrahimabadi, AH. (2016). Combination of GC/FID/mass spectrometry fingerprints and multivariate calibration techniques for recognition of antimicrobial constituents of *Myrtus communis* L. essential oil. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 1008, 50-57.

El haib, A. (2011). Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. Université de Toulouse.

El Mansouri, L., Ennabili, A., Bousta, D. (2011). Socioeconomic interest and valorization of medicinal plants from the Rissani oasis (SE of Morocco). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 10, 30-45.

EL Meskaoui, A., Bousta, D., Dahchour, A., Greche, H., Harki, E., Farah, A. & Ennabili, A. (2008). Plantes médicinales et aromatiques marocaines : Opportunités et défis. *Revue AFN Maroc*, 2(3), 74-87.

El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., Lyoussi, B. (2003). Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). *Journal of Ethnopharmacology*. 86, 149- 158.

Emberger, L. (1939). Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1:1 500 000. *Ueröff Geobot Inst Rübel HSSoc Nat*. 40-157.

Emberger L. (1955). Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de Botanique, Géologie et Zoologie de la faculté des sciences de Montpellier, série Botanique, 7, 3-43.

Emberger, L. (1964). La position phytogéographique du Maroc dans l'ensemble méditerranéen. *Al Awamia*, 12, 1-15.

Emberger, L. (1931). Sur la formule climatique applicable en géographie botanique. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 191, 389-390.

Ennabili, A., Gharnit, N., El Hamdouni, EM. (2000). Inventory and social interest of medicinal, aromatic and honey- plants from mokrisset region (NW of Morocco). *Botanical Studies* 19, 57-74.

Ennabili, A., Gharnit, N., Maach, Y., EL Meskaoui, A., Bousta, D. (2006). Exploitation des plantes médicinales et alimentaires du bassin versant de l'oued Laou (nord-ouest du Maroc). 1. *Bot. Soc. Bot. France* 36 pp: 71-79.

F

- Fadda, A., Palma A., Mulas, M. (2015), Effects of Myrtle (*Myrtus Communis* L.) Fruit Cold Storage Under Modified Atmosphere on Liqueur Quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 00, 1-11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12776>.
- Fadil, M., Farah, A., Ihssane, B., Haloui, T., Lebrazi, S., Rachiq, S. (2017). Intrapopulation variability of *Myrtus communis* L. growing in Morocco: Chemometric investigation and antibacterial activity. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* (2017), 35-40 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.006>
- Fadil, M., Farah, A., Ihssane, B., Haloui, T., Lebrazi, S., Zghari, B., Rachiq, S. (2016). Chemometric investigation of light-shade effects on essential oil yield and morphology of Moroccan *Myrtus communis* L. *Springer plus* 5, 1–14.
- Farah, A., Afifi, A., Fechtal, M., Chhen, A., Satrani, B., Talbi, M., Chaouch, A. (2006). Fractional distillation effect on the chemical composition of Moroccan myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*. 21, 351–354.
- Faulks, PL. (1958). *An Introduction to Ethnobotany*, Moredale Publications Limited, London, England.
- Fechtal, M. (2000). Production et marché des huiles essentielles au Maroc. 2^{ème} colloque Andalou-Marocain sur la Chimie des Produits Naturels, Université Hassan II, Mohammedia, Maroc.
- Feisst, C., Franke, L., Appendino, G., Werz, O. (2005). Identification of molecular targets of the oligomeric nonprenylated acylphloroglucinols from *Myrtus communis* and their implication as anti-inflammatory compounds. *J Pharmacol Exp Ther*, 315(1), 389–96.
- Ferrahi, M. (1990). Contribution à l'étude de la variabilité intra-spécifique pour la vigueur et la qualité du bois chez *Pinus pinaster* dans l'ensemble expérimental de Bou Safi Larache, IAV Hassan II, Rabat. Maroc.
- Flamini, G., Cioni, P.L., Morelli, I., Maccioni, S., Baldini, R. (2004). Phytochemical typologies in some populations of *Myrtus communis* L. on Caprione Promontory (East Liguria, Italy). *Food Chemistry*, 85(4), 599-604. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.005>.

G

- Gardeli, C., Vassilki, P., Athanasios, M., Kibouris, T., Komaitis, M. (2008). Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L.: evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. *Food Chemistry* 107, 1120–1130.
- Garnero, J. (1996). *Constantes physico-chimiques Constantes*. (Techniques de l'Ingénieur, Ed.).
- Gausсен, H. (1954). Théorie et classification des climats et microclimats. *Actes du VII Congrès international de Botanique*, Paris. 125-130.
- Gavilan, R.G. (2005), The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish Sistema Central, *International journal of Biometeorology*, 50, 111–120. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0271-5>
- Ghanmi, M., Satrani, B., Aberchane, M., Ismaili, MR., Aafi, A., El Abid, A. (2011). *Plantes aromatiques et médicinales du Maroc*, Centre de Recherche Forestière, Rabat, Maroc. p 128

Ghanmi, M., Satrani, B., Aafi, A., Isamili, M. R., Houti, H., El Monfalouti, H., Charrouf, Z. (2010). Effet de la date de récolte sur le rendement, la composition chimique et la bioactivité des huiles essentielles de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) de la région de Guerçif (Maroc oriental). *Phytothérapie*, 8, 295–301.

Ghanmi, M., Satrani, B., Aberchane, M., Rchid, M.I., Aafi, A., El Abid, A. (2011) Plantes Aromatiques et Médicinales du Maroc : Les milles et une vertus. Collection Maroc Nature, édition du Centre de Recherche Forestière. ISBN 978-9981-824-28-7. 128p

Ghestem, A. (2001). Le préparateur en pharmacie. Botanique, pharmacognosie, phytothérapie, homéopathie " ; (Ed) Tec & Doc. Paris.

Goetz, P., Ghedira, K. (2012). *Myrtus communis* L. (Myrtaceae): Myrte, in: Phytothérapie anti-infectieuse, *Collection Phytothérapie Pratique*. Springer Paris, pp. 313–320.

Gomes, P.B., Mata, V.G., Rodrigues, A.E. (2007). Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction. *J. of Supercritical Fluids*. 41, 50–60.

González-Tejero, MR, Casares-Porcel, M, Sánchez- Rojas, CP, Ramiro-Gutiérrez, JM, Molero-Mesa, J., Pieroni, A., Giusti, ME., Censorii, E., de Pasquale, C., Della, A., Paraskeva-Hadjichambi, D., Hadjichambis, A., Houmani, A., El-Demerdash, M., El-Zayat, M., Hmamouchi, M., ElJohrig, S. (2008). Medicinal plants in the Mediterranean area: Synthesis of the results of the project Rubia. *Journal of Ethnopharmacology* 116, 341-357.

Goudjil, M.B., Segni, L., Souad, Z. (2015). Influence du séchage sur le rendement de l'extraction des huiles essentielles de *Mentha piperita* Influence du séchage sur le rendement de l' extraction des huiles essentielles de *Mentha piperita*. 5ème Séminaire Maghrébin Sur Les Sciences et Les Technologies Du Séchage (SMSTS'2015), (January 2016).

Gounot, M. (1969). Méthodes d'étude quantitative de la végétation, Ed Masson et Cie, Paris, France.

Greche, H. (2007). Les plantes médicinales et aromatiques : source de molécules d'intérêt économique. Communication au "International workshop on" "Research for development, sustainable use adding value of aromatic and medicinal plants". Chefchaouen 7-9 novembre 2007, 16 p.

Gündüz, G.T., Gönül, Ş.A., Karapinar, M. (2009). Efficacy of myrtle oil against *Salmonella Typhimurium* on fresh produce. *International Journal of Food Microbiology*, 130, 147-150.

H

Hachi, M. (2015). Contribution to the study and floristic ethnobotany flora medicinal use at the city of khenifra (Morocco). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 11, 750-755.

Hamilton, A.C. (2004). Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1477-1517.

Harassi, Y., Tilaoui, M., Idir, A., Frédéric, J., Baudino, S., Ajouaoui, S., Ait Mouse, H., Zyad, A. (2019). Phytochemical analysis, cytotoxic and antioxidant activities of *Myrtus communis* essential oil from Morocco. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*. 1-8

Hayder, N., Abdelwahed, A., Kilani, S., Ben Ammar, R., Mahmoud, A., Ghedira, K., Chekir-Ghedira, L. (2004). Anti-genotoxic and free radical scavenging activities of extracts from

(Tunisian) *Myrtus communis*. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 564(1), 89–95.

Herzi, N. (2013). Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de l'extraction au CO₂-supercritique et des techniques conventionnelles. Thèse de doctorat. Université de Toulouse. Toulouse. France.

Hmamouchi, I. (2012). Use of moroccan herbal products among patients of rheumatology. Revue Marocaine de Rhumatologie 22, 52-56.

Hull, J.C., Neufeld, H.S., Gilliam, F.S. (2018). Plant Ecology. *Encyclopedia of Ecology*, 2nd Edition (2nd ed.), Elsevier Inc, 1-21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09135-1>

I

IBM Corp. (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.

IPGRI. (1997). Descripteurs du pistachier (*Pistacia vera* L.). Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie, 54 pp.

J

Jamoussi, B., Romdhane, M., Abderraba, A., Hassine, B.B., Gardi, A. (2005). Effect of harvest time on the yield and composition of Tunisian myrtle oils. Flavour and Fragrance Journal, 20, 274–277.

Ju, J., Xu, X., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., Yao, W. (2018). Inhibitory effects of cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods. Food Chem. 240, 850–855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.120>

K

Khabbach, A., Libiad, M., Ennabili, A. (2012). Medicinal and cosmetic use of plants from the province of Taza, Northern Morocco. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 11, 46-60.

Khia, A., Ghanmi, M., Satrani, B., Aafi, A., Aberchane, M., Quaboul, B., Charrouf, Z. (2014). Article original Culture de plantes médicinales Effet de la provenance sur la qualité chimique et microbiologique des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. du Maroc. Phytothérapie, 1–7.

Koskela, J., Lefèvre, F. (2013). La diversité génétique des essences forestières dans Les approches intégratives en tant qu'opportunité de conservation de la biodiversité forestière. Daniel Kraus et Frank Krumm (Dir). 308 p.

Kofidis, G., Bosabalidis, A.M., Moustakas, M. (2003). Contemporary seasonal and altitudinal variations of leaf structural features in Oregano (*Origanum vulgare* L.). Ann. Bot. 92, 635–645. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg180>.

L

Labiou, R. (2016). Valorisation des huiles essentielles et des extraits de *Satureja calamintha nepeta* : activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide. Université Badji Mokhtar-Annaba.

Lahlou, M. (2004). Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. Phytotherapy Research, 18(6), 435–448.

- Lahsissène, H., Kahouadji, A., Tijane, M. (2009). Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc Occidental). *Lejeunia* 186, 1- 27.
- Lahsissene, H., Kahouadji, A. (2010). Analyse ethnobotanique des plantes médicinales et aromatiques de la flore marocaine : cas de la région de Zaër. *Phytothérapie*, 8, 202–209.
- Lakhdar, L. (2015). Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* : étude *in vitro*. Faculte de medecine dentaire de Rabat.
- Lamamra, M. (2008). Contribution à l'étude de la composition chimique et de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Tinguarra sicula* (L.) Parl. et de *Filipendula hexapetala* Gibb. Université Ferhat Abbas, Setif. Algérie.
- Lamamra M. (2018). Activités biologiques et composition chimique des huiles essentielles d'*Ammiopsis aristidis* Coss. (Syn. *Daucus aristidis* Coss.) et d'*Achillea santolinoides* Lag. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Sétif. Algérie.
- Lardry, JM., Haberkorn, V. (2007). L'aromathérapie et les huiles essentielles. *Kinesither Rev*, 61, 14-7.
- Lefevre, F. (1997). Diversité génétique des espèces forestières, pollution génétique. La conservation des ressources phytogénétiques en France, Rapport à la FAO. Bureau des Ressources Génétiques, Paris, p 171.
- Lefèvre, F. (2004). Human impacts on forest genetic resources in the temperate zone : an updated review. *Forest Ecology and Management*. 197, 257-271
- Lefèvre, F., Boivin, T., Bontemps, A., Courbet, F., Davi, H., Durand-Gillmann, M., Fady, B., Gauzere, J., Gidoïn, C., Karam, M.J., Lalagüe, H., Oddou-Muratorio S., Pichot, C. (2014). Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*. 71, 723-739 DOI 10.1007/s13595-013-0272-1
- Lefèvre, F., Koskela, J., Hubert, J., Kraigher, H. Longauer, R., Olrik, D.C. et al. (2013a) « Dynamic conservation of forest genetic resources in 33 European countries ». *Conservation Biology*. 27(2), 373-384
- Lefort-Buson, M., Damerval, C. (1998). Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. *Agronomie*, EDP Sciences. 8(3), 173-178.
- Leto, C., Tuttolomondo, T., La Bella, S., Licata, M. (2013). Ethnobotanical study in the Madonie Regional Park (Central Sicily, Italy). Medicinal use of wild shrub and herbaceous plant species. *J Ethnopharmacol* 146, 90–112.
- Levin, S.A. (1992). Orchestrating Environmental Research and Assessment. *Ecological Applications*, 2(2), 103–106.
- Levin, S.A. (1996). Economic Growth and Environmental Quality. *Ecological Applications*, 6(1), 12.
- Li, S., Zhou, X., Chen, L., Huang, W., Yu, D. (2010). Functional characterization of *Arabidopsis thaliana* WRKY39 in heat stress. *Molecular & Cells* 29, 475–483.

Liu, L.-X., Xu, S.-M., Woo, K.C. (2005). Solar UV-B radiation on growth, photosynthesis and the xanthophyll cycle in tropical acacias and eucalyptus. *Environmental and Experimental Botany*. 54, 121–130.

Lopez, P.A., Widrechner, M.P., Simon, P.W., Boylston, T.A., Srted, I., Bailey, T.B., Gardner, C.A., Wilson, L.A. (2008). Assessing phenotypic, biochemical and molecular diversity in coriander, (*Coriandrum sativum* L.) germplasm. *Genet. Resour. Crop*, 55, 247-275.

Lucchesi, M. (2005). Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles. Université de la Réunion.

M

Madhava, Rao, K.V., Raghavendra, A.S., Janardhan Reddy, K. (Eds.), (2006). Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer, Dordrecht.

Mann, J. (1987). Secondary metabolism. Clarendon Press.

Mansouri, S., Foroumadi, A., Ghaneie, T., Najari, A.G. (2001). Antibacterial activity of the crude extracts and fractionated constituents of *Myrtus communis*. *Pharmaceutical Biology* 39, 399–401.

Marion, C., Pelissier, Y., Sabatier, R., Andary, C., Bessiere, J.M. (1994). Calculation of essential oil yield without prior extraction— application to the genus *Forsythia* Vahl. (Oleaceae). *Essent. Oil Res.* 6, 379–387. <https://doi.org/10.1080/10412905.1994.9698403>.

Martin Lopez, T., Rubio, B., Villaescusa, L., Fernandez, L., Diaz, A.M. (1999). Polyphenolic compounds from pericarps of *Myrtus communis*. *Pharmacol. Biol.* 37, 28–31.

Mehdioui, R., Kahouadji, A. (2007). Étude ethnobotanique auprès de la population riveraine de la forêt d'Amsittène : cas de la Commune d'Imi n'Tlit (Province d'Essaouira). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie* 29, 11-20.

Melito, S., Bella, S.L.A., Martinelli, F., Cammalleri, I., Tuttolomondo, T., Leto, C., Mulas, M. (2016). Morphological, chemical, and genetic diversity of wild myrtle (*Myrtus communis* L.) populations in Sicily. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 249-261. <https://doi.org/10.3906/tar-1505-118>.

Melito, S., Chessa, I., Erre, P., Podani, J., Mulas, M. (2013a). The genetic diversity of Sardinian myrtle (*Myrtus communis* L.) populations. *Electronic Journal of Biotechnology*. 16, 1-14.

Melito, S., Fadda, A., Rapposelli, E., Mulas, M. (2014). Genetic diversity and population structure of Sardinian myrtle (*Myrtus communis* L.) selections as obtained by AFLP markers. *HortScience*, 49, 531-537.

Messaoud, C., Afif, M., Boulila, A., Mohamed Nejib, R., Boussaid, M. (2007). Genetic variation of Tunisian *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) populations assessed by isozymes and RAPDs. *Annals of Forest Science*, 64, 845-853.

Messaoud, C., Béjaoui, A., Boussaid, M. (2011). Fruit color, chemical and genetic diversity and structure of *Myrtus communis* L. var. *italica* Mill. morph populations. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39: 570-580.

- Messaoud, C., Khoudja, M., Boussaid, M. (2006). Genetic diversity and structure of wild Tunisian *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) populations. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 407-417.
- Méto, A., Sauvage, Ch. (1955). Flore des végétaux ligneux de la Mamora. *Société des sciences naturelles et physiques du Maroc*, Rabat, p. 498.
- Migliore, J. (2011). Empreintes des changements environnementaux sur la phylogéographie du genre *Myrtus* en méditerranée et au Sahara. Thèse de Doctorat. Université Paul Cézanne Aix-Marseille III. Faculté des Sciences et Techniques, Discipline Biologie des populations et Ecologie.
- Migliore, J., Baumel, A., Juin, M., Médail, F. (2012). From Mediterranean shores to central Saharan mountains: key phylogeographical insights from the genus *Myrtus*. *Journal of Biogeography*, 39, 942-952. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02646.x>
- Millet, F. (2015). Le grand guide des huiles essentielles. Marabout.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*. 11, 15–19.
- Mnayer, D. (2014). Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens. Université d'Avignon.
- Moghrani, H., Maachi, R. (2008) Valorization of *Myrtus communis* Essential Oil Obtained by Steam Driving Distillation. *Asian Journal of Scientific Research*, 1, 518- 524
- Mohammedi, Z. (2006). Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et des flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen. Université Abou Bakr Belkaïd Tlemcen.
- Mokhtari, N., Mrabet, R., Lebailly, P., Bock L. (2013). Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaire*, 2 (1), 50–66.
- Möller, K. (2008). La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous. Editorial UNICO.
- Montoro, P., Tuberoso, CIG., Piacente, S., Perrone, A., De Feo, V., Cabras, P. (2006). Stability and antioxidant activity of polyphenols in extracts of *Myrtus communis* L. Berries used for the preparation of myrtle liqueur. *J Pharmac Biom Anal.* 41, 1614-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2006.02.018>
- Morecroft, M.D., Keith, S.A. (2016). Chapter 15 - Plant Ecology. *Climate Change* (Second Edition), Elsevier B.V, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63524-2.00015-4>
- Mulas, M., Melis, R. (2008). Influence of growing area, year, season, and cultivar on the composition of Myrtle leaves and infusions. *Hortscience* 43, 549-553.
- Mulas, M., Francesconi, A.H.D., Perinu, B. (2002). Myrtle (*Myrtus communis* L.) as a new aromatic crop: cultivar selection. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 9, 127-131.
- N**
- Neale, D.B., Kremer, A. (2011). Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics*. 12, 111-122.

Nicotra, A.B., Atkin, O., Bonser, S.P., Davidson, A.M., Finnegan, E.J., Mathesius U., et al. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*. 15, 684-692.

Nora, S., Albaladejo, R.G., Aparicio, A. (2015). Genetic variation and structure in the Mediterranean shrubs *Myrtus communis* and *Pistacia lentiscus* in different landscape contexts. *Plant Biology*, 17, 311-319.

O

Ouchbani, S. (1980). Etude de la végétation dans le massif de Tazerkount (Atlas de Béni Mellal Maroc). Thèse de 3^{ème} cycle. Université des sciences techniques du Languedoc. Montpellier. France.

Ochoa Hernandez, L. R. (2005). Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combiné "Solvant/Actif" d'origine végétale. Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts.

Orch, H., Douira, A., Zidane, Z. (2015). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète, et des maladies cardiaques dans la région d'Izarène (Nord du Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 86, 7940– 7956.

Onal, S., Timur, B., Okutucu, S., Zihnioglu, F. (2005). Inhibition of α -glucosidase by aqueous extracts of some potent antidiabetic medicinal plants. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 35, 29-36.

Ouattara, D. (2006). Contribution à l'inventaire des plantes médicinales significatives utilisées dans la région de Divo (sud forestier de la Côte-d'Ivoire) et à la diagnose du poivrier de Guinée : *Xylophia aethiopica* (Dunal) A. Rich. (Annonaceae), Thèse de Doctorat, Cocody-Abidjan, Côte-d'Ivoire.

P

Paolini, J. (2005). Caractérisation des huiles essentielles par cpg/ir, cpg/sm-(ie et ic) et rmn du carbone-13 de *cistus albidus* et de deux asteraceae endemiques de corse : *eupatorium cannabinum* subsp. corsicum et *doronicum corsicum*. Thèse de doctorat.

Paris M., Hurabielle M. (1981). Abrégé de matière médicale (pharmacognosie). Tome 1, Généralités, monographies. Masson.

Passioura, J.A., Ash, J.E. (1993). Phenotypic, genetic and ecological variation in the *Eucalyptus saligna*-E. botryoides complex. *Aust. J. Bot.* 41, 393–412.

Pereira, P.C., Cebola, M.J., Bernardo-Gil, M.G. (2009). Evolution of the yields and composition of essential oil from Portuguese myrtle (*Myrtus comunis* L.) through the vegetative cycle. *Molecules* 14, 3094–3105.

Petretto, GL., Maldini, M., Addis, R., Chessa, M., Foddai, M., Rourkeb, J.P., Pintore, G. (2015). Variability of Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essentials Oils Between *Myrtus communis* var. *Leucocarpa* DC and var. *Melanocarpa* DC. *Food Chemistry*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.056>

Prada, M.A., Arizpe, D. (2008). Riparian tree and shrub propagation hand-book. Generalitat Valenciana, Spanish, 203 pp.

Q

Quezel, P. (1979), La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. *Forêt Méditerranéenne*, 1(1), 7-18.

R

Rahimmalek, M. Mirzakhani, A.G. (2013). Pirbalouti, Essential oil variation among 21 wild myrtle (*Myrtus communis* L.) populations collected from different geographical regions in Iran, *Ind. Crops Prod.* 51, 328–333.

Rejdali, M. (1995). La flore du Maroc : Etat actuel et perspectives de conservation. Rencontre francophone de Coopération et de partenariat par l'Agence de Coopération Culturelle et Technique et le Maroc, ISBN : 9981-801-26-7, 18-22.

Reverchon, E., De Marco I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter, *The Journal of Supercritical Fluids* 38, 146–166.

Rhattas, M., Douira, A., Zidane, L. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc National de Talassemtane (Rif occidental du Maroc). *Journal of Applied Biosciences* 97, 9187- 9211.

Rivas-martínez, S., Costa, M., Izco, J. (1984), Sintaxonomía de la clase *Quercetea ilicis* en el mediterráneo occidental. *Not. Fitosoc.*, 19 (2), 71-98.

Rizhsky, L., Linag, H., Mittler, R. (2002). The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiol.* 130, 1143–1151.

Romani, A., Pinelli, P., Mulinacci, N., Vincieri, F.F., Tattini, M., (1999). Identification and quantification of polyphenols in leaves of *Myrtus communis* L. *Chromatographia*, 49, 17–20. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02467181>

Roulier, G. (1990). Les huiles essentielles pour votre santé. (Librairie Eyrolles, Ed.) (2ème éd).

Ruffoni, B., Airò, M., Fascelia, G., Mascarello, C., Zizzo, G., Cervelli, C. (2003). Propagation and acclimatization of ornamental Myrtle genotypes. *Acta Horticulturae*, 616, 255-258.

S

Sabiha, S., Aftab, M. A., Asif, M., Akhtar, M. (2011). *Myrtus communis* Linn. A review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2(4), 395-402.

Sacchetti, G., Muzzoli, M., Statti, G.A., Conforti, F., Bianchi, A., Agrimonti, C., Ballero, M., Poli, F. (2007). Intra-specific biodiversity of Italian myrtle (*Myrtus communis*) through chemical markers profile and biological activities of leaf methanolic extracts. *Nat. Prod. Res.* 21 (2), 167–179.

Saidi, S., Sebbata, O., Benchrqi, A. (2007). Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Rabat, Maroc.

Salhi, S., Fadli, M., Zidane, L., Douira, A. (2010). Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*, 13, 133-146.

Samate, A. (2002). Composition chimique d'huiles essentielles extraites de plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : valorisation, Thèse de doctorat. Burkina Faso.

- Satrani, B., Farah, A., Talbi, M. (2006). Fractional distillation effect on the chemical composition and antimicrobial activity of Moroccan Myrtle. *Acta Botanica Gallica* 153 (2), 235–242.
- Satrani, B., Farah, A., Talbi, M. (2013). Effet de la distillation fractionnée sur la composition chimique et l'activité antimicrobienne des huiles essentielles dy myrte (*Myrtus communis* L.) du Maroc. *Acta Botanica Gallica*. 235-242.
- Sauvage, Ch. (1961). Flore des subéraies marocaines (catalogue des cryptogames vasculaires et phanérogames). *Travaux de l'Institut scientifique chérifien, Série botanique*, vol. 22, p. 252.
- Scherrer, A.M., Motti, R., Weckerle, C. (2005). Traditional plant use in the areas of Monte Vesole and Ascea, Cilento National Park (Campania, Southern Italy). *Journal of Ethnopharmacology*. 97, 129–143.
- Selmar, D., Kleinwächter, M. (2013). Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Ind. Crops Prod.* 42, 558–566.
- Serçe, S., Ercisli, S., Sengul, M., Gunduz, K., Orhan, E. (2010). Antioxidant activities and fatty acid composition of wild grown myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits. *Pharmacognosy Magazine*, 6, 9-12.
- Serra-varela, M. J., Alía, R., Daniels, R. R., Zimmermann, N. E., Gonzalo-jiménez, J., Grivet, D. (2017), Assessing vulnerability of two Mediterranean conifers to support genetic conservation management in the face of climate change. *Diversity and Distributions*, 2017 (23), 507–516. <https://doi.org/10.1111/ddi.12544>
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessaraki, M. (2012). "Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions." *Journal of Botany* 2012, 1-26.
- Slimani, I., Najem, M., Belaidi, R., Bachiri, L., Bouiamrine, E., Nassiri, L. Ibjibjen, J. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans la région de Zerhoun -Maroc-, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 15, 846-863.
- Soltis D.E., Smith S.A., Cellinese N., Wurdack K.J., Tank D.C., Brockington S.F., Refulio-Rodriguez N.F., Walker J.B., Moore M.J., Carlsward B.S., Bell C.D., Latvis M., Crawley S., Black C., Diouf D., Xi Z., Rushworth C.A., Gitzendanner M.A., Sytsma K.J., Qiu Y.-L., Hilu K.W., Davis C.C., Sanderson M.J., Beaman R.S., Olmstead R.G., Judd W.S., Donoghue M.J., Soltis P.S. (2011). Angiosperm phylogeny: 17 genes, 640 taxa. *American Journal of Botany* 98, 704–730
- Stefanini M., Ming L., Marques M., Meireles M., Moura L., Marchese J. (2006). Seed productivity, yield and composition of the essential oil of fennel *Foeniculum vulgare* var. *dulcis* in the season of the year. *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, (1992), 86–90.
- Stephen, E.F, Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas, *international journal of climatology*, <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Stuart, M. (1994) *The encyclopedia of herbs and herbalism*. 3rd Edn. p 136
- Szakiel, A., Pączkowski, C., Henry, M. (2010). Influence of environmental abiotic factors on the content of saponins in plants. *Phytochem Rev.* 10,471–491

T

Tahri, N., EL Basti, A., Zidane, L., Rochdi, A., Douira, A. (2012). Etude ethnobotanique des plantes médicinales Dans La province de Settât (Maroc). *Journal of Forestry Faculty. Kastamonu University*. 12 (2), 192-208.

Tahri, N., Zidane, L., Yacoubi, H., El Fadli, M., Rochdi, A., Douira, A. (2011). Contribution à l'étude de la biodiversité de la région de Ben Slimane (Ouest marocain). *Catalogue floristique des plantes vasculaires, Journal of Animal & Plant Sciences*, 12(3), 1632–1652.

Taleb, M.S. (1989). Étude de la végétation du bassin- versant de l'oued Lkaddab (Meseta orientale, Maroc). *Thèse de doctorat de la faculté des sciences*, université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.

Teuscheur, E., Anton, R., Lobstein, A. (2005). Plantes aromatiques Épices, aromates, condiments et huiles essentielles - Eberhard TEUSCHER, Robert ANTON, Annelise LOBSTEIN - 9782743007201 Lavoisier / tec et doc, Epices et aromates. (LAVOISIER / TEC ET DOC, Ed.). Paris.

Trabucco, A., Zomer, R.J. (2009), Global Aridity Index (Global-Aridity) et Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Geospatial Database. *CGIAR Consortium for Spatial Information*. Publié en ligne, disponible sur le Géoportail CGIAR-CSI à <http://www.csi.cgiar.org>.

Tuberoso, CIG., Barra, A., Angioni, A., Sarritzu, E., Pirisi, FM. (2006). Chemical composition of volatiles in Sardinian myrtle (*Myrtus communis* L.) alcoholic extracts and essential oils. *J Agric Food Chem*. 54, 1420–1426.

Tuberoso, C.I.G., Melis, M., Angioni, A., Pala, M., Cabras, P. (2007). Myrtle hydroalcoholic extracts obtained from different selections of *Myrtus communis* L. *Food Chem*. 101, 806–811.

U

UNEP. (1997). *World Atlas of Desertification*. Nick Middleton et Davis Thomas, London, Arnold, 182.

V

Valadeau, C. (2010). De l'ethnobotanique à l'articulation du soin : une approche anthropologique du système nosologique chez les yanasha de Haute Amazonie péruvienne, Toulouse, France.

Valdés, B., Rejdali, M., Achhal EL Kadmiri, A., Jury, S.L., Montserrat, J.M. (2002). Catalogue annoté des plantes vasculaires du Nord du Maroc, incluant des clés d'identification. *Consejo Superior de investigaciones Cientificas*. Madrid, 2 volumes.

Valnet, J. (1992). *Phytothérapie, traitement des maladies par les plantes*. 6e édition Maloine, Paris, p. 712

Valnet, J. (1984). *Aromathérapie : Traitement des maladies par les essences des plantes*. Maloine S.A, Paris

Veilleux, C., King, SR. (1996). *An introduction to ethnobotany*, Linda Morgenstem Editor

Vines, G. (2004). *Herbal harvests with a future: towards sustainable sources for medicinal plants*, Plantlife International; www.plantlife.org.uk

W

Wagner, F., Below, R., De Klerk, P., Dilcher, D.I., Joosten, H., Kürschner, W.M., Visscher, H. (1996). A natural experiment on plant acclimation: Lifetime stomatal frequency response of an individual tree to annual atmospheric CO₂ increase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 93, 11705-11708.

Wahid, N., Chkichekh, A., Bakry, M. (2016). Morphological Traits and Essential Oil Yield Variation of Three *Myrtus Communis* L. Populations: Implication for Domestication. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science* 4(7), 199- 207

Wahid, N. (2013). Perspectives de la valorisation de l'usage et de la culture du *Myrtus communis* L. au Maroc. *Phytothérapie* 11, 237–243. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0800-z>

Wahid, N., Aabdousse, J., Chkichekh, A., EL Aboudi, A., Lamhamedi, M. S., Bakry, M. (2018). Prospection et modalités d'échantillonnage pour capturer la diversité génétique des populations naturelles : cas du *Myrtus communis* L. au Maroc. *Ecologia mediterranea*, 44(1), 85-96.

Wahid, N., André, R., Lamhamedi, M.S., Beaulieu, J., Margolis, H.A., DeBlois, J. (2012). Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests. *Forest Ecology and Management*, 270, 45-53.

WCSP. (2013). World checklist of selected plant families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew.

Werker, E., Putievsky, Y., Ravid, U., Dudai, N., Katzir, U. (1993). Glandular Hairs and Essential Oil in Developing Leaves of *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae), *Annals of botany*, 71 (1), 43-50.

Whitham, T.G., Bailey, J.K., Schweitzer, J.A., Shuster, S.M., Bangert, R.K., LeRoy, C.J., Lonsdorf, E.V., Allan, G.J., DiFazio, S.P., Potts, B.M., Fischer, D.G., Gehring, C.A., Lindroth, R.L., Marks, J.C., Hart, S.C., Wimp G.M., et Wooley, S.C. (2006). A framework for community and ecosystem genetics: from genes to ecosystems ». *Nature Reviews Genetics*. 7, 510-523.

Wichtl, M., Anton, R. (2003). *Plantes thérapeutiques, tradition, pratique officinale, science et thérapeutique*. Paris: Editions Technique & Documentation. Pp. 14-616.

Wickens, G.E. (1990). What is Economic Botany? *Economic Botany* 44, 12-28.

Wright, L. D. (1961). Biosynthesis of Isoprenoid Compounds. *Annual Review of Biochemistry*, 30(1), 525–548.

Y

Yadegarinia, D., Gachkar, L., Rezaei, M.B., Taghizadeh, M., Alipoor-Astaneh, S., Rasooli I. (2006). Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. essential oils. *Phytochemistry*. 67 (12), 1249–1255.

Yoshimura, M., Amakura, Y., Tokuhara, M., Yoshida, T. (2008). Polyphenolic compounds isolated from the leaves of *Myrtus communis*. *J. Nat. Med.* 62, 366–368.

Z

Zilkah, S., Goldschmidt, E.E. (2014). Myrtle (*Myrtus communis* L.) - A native Mediterranean and cultured crop species. dans: Yaniv, Z., Dudai, N. (Ed) *Medicinal and Aromatic Plants of the Middle-East*, vol 2, Springer, Amsterdam, Netherlands, 253-267 p.

Zoubiri, S., Baaliouamer, A. (2011). Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. *Food Chemistry*. 129, 179–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.03>

Annexes

Annexe 1 : Fiche questionnaire pour l'étude ethnobotanique et socio-culturelle de myrte dans la région Béni Mellal-Khénifra

Information sur l'enquêteur

- Auteur (Enquêteur).....; Numéro de relevé.....
- Date.....
- Commune et région..... ; Strate.....

Informations socio-culturelles sur l'enquêté

- Age A1 <20 A2 [20-30] A3 [30-40] A4 [40-50] A5 [50-60] A6 >60
- Situation familiale : Célibataire Marié
- Sexe : Masculin Féminin
- Niveau scolaire et professionnel : Néant Primaire Secondaire Universitaire profession : ...
- Localité : Douar Village Ville Nomade
- Type de collecteur : Nomade Berger Agriculteur Sédentaire Autre :
- Origine de l'information : Lecture Achabe Pharmacien Expérience des autres
- Médecine traditionnelle Médecine moderne Les deux Raison :

Informations ethnobotaniques sur le Myrte et les plantes locales

- Nom vernaculaire :; Nom scientifique :
- Type de plante : Sauvage Cultivée Importée
- Prix (Dh/Kg) : < 10 [11-20] [21-30] [31-40] [41-50] >51
- Usage de la plante : Thérapeutique Cosmétique Autres
- Technique de la récolte : Manuel Mécanique
- Période de collecte : Eté Automne Hiver Printemps Toute année
- État de la plante : Fraîche Desséché Après traitement
 - Si desséché, méthode de séchage :
- Partie utilisée : Tige Fleurs Fruits Graine Écorce Rhizome Bulbe Feuilles Plante entière Autres combinaisons
- Forme d'emploi : Tisane Poudre Huiles essentielles Huiles grasses Extrait (teinture, solution, gélule)
- Mode de préparation : Infusion Décoction Cataplasme Cru Cuit Autres : ..
 - Dose utilisée : Pincée poignée Cuillerée
 - Dose précise :
 - Quantité en g / verre :
 - Quantité en g/ litre :
 - Autres :
- Mode d'administration : Oral Massage Rinçage Badigeonnage Autres
- Posologie : nombre de prise par jour.
 - Pour les enfants : 1 fois/jour 2 fois/jour 3 fois/jour Autres
 - Pour les personnes âgées : 1 fois/jour 2 fois/jour 3 fois/jour Autres
 - Pour les Adultes : 1 fois/jour 2 fois/jour 3 fois/jour Autres
- Durée d'utilisation: Un jour Une semaine Un mois Jusqu'à la guérison
- Méthode de conservation : A l'abri de la lumière Exposé à la lumière Autres : ..
- Potentiel d'usage pharmacopée (Type de maladie) :
 - Affections dermatologiques
 - Affections de tube digestif

- Affections respiratoires
- Affections des glandes annexes du tube digestif
- Affections cardio-vasculaires
- Affections génito-urinaires
- Affections neurologiques
- Affections ostéo-articulaires
- Affections métaboliques
- Cosmétique
- Culinaire
- Diagnostic Par : Lui-même Le médecin L'herboriste Autres :
- Résultats : Guérison Amélioration Inefficace
- Effet secondaires :
- Toxicité :
- Précaution d'emploi :

Annexe 2 : Fiche d'échantillonnage

Information sur l'espèce

Nom scientifique : Non vernaculaire.....

Utilisation traditionnelle par la population locale.....

Localité

Région administrative : Province/cercle :

Latitude : Longitude : Altitude :

Date de collecte :

Site

Type de sol : Exposition/versant :

Précipitation annuelle moyenne : Température annuelle moyenne :

Température maximale de mois le plus chaud : Température minimale de mois le plus froid :.....

Peuplement

Densité : Etat :

Cortège floristique :

Récolte

Méthode : Nombre d'individu récolté :

Composition de l'échantillon (fruit/feuille) :

Observations

.....
.....

Personnel de la mission :