



## PREMIERE COMPARAISON DES COMPOSÉS VOLATILS DE *THYMELAEAE LYTHROIDES* BARR. ET MURB. UNE ENDEMIQUE IBERO-MAROCAINE ET QUELQUES VOIES DE BIOSYNTHESE PROBABLES

FIRST COMPARISON OF VOLATIL COMPOUNDS OF *THYMELAEAE LYTHROIDES* BARR. AND MURB. AN ENDEMIC IBERO-MAROCAINE AND SOME LIKELY BIOSYNTHESIS PATHWAYS

| Naima Dohou <sup>1\*</sup> | Khalid Yamni <sup>2</sup> | et | Jean-Marie Bessière <sup>3</sup> |

<sup>1</sup>. Laboratoire de Biotechnologies Végétales | Faculté des Sciences d'Agadir | Université Ibn Zohr, BP 8106, Cité Dakhla, 80000 Agadir | Maroc |

<sup>2</sup>. Equipe des Sciences Naturelles et Innovation Didactique | Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de Formation | Rabat-Sale-Kénitra | Maroc |

<sup>3</sup>. Laboratoire de Chimie Macromoléculaire | École Nationale Supérieure de Chimie | 8 rue de l'École Normale, 34296 - Montpellier Cedex 5 | France |

| Received June 12 2020 |

| Accepted June 19, 2020 |

| Published August 02, 2020 |

| ID Article | Dohou-Ref2-ajira120720 |

### RESUME

**Introduction:** L'espèce, *Thymelaea lythroides* de la famille des Thyméléacées, n'est pas très connue sur le plan scientifique malgré sa grande utilisation en médecine traditionnelle. **Objectif:** Cette plante est généralement utilisée par les autochtones de la forêt de Mamora (au Maroc) à l'état frais, surtout en période de floraison. Pour cela, on a effectué des analyses à partir des fleurs, des fruits, des feuilles et de l'écorce de la plante à l'état frais pour pouvoir déterminer leurs composés volatils et faire une comparaison avec ceux des extraits des organes de la plante sèche. **Matériel et Méthodes:** Des échantillons de fleurs, fruits, feuilles et écorce de *Thymelaea lythroides* à l'état frais sont broyés et mis à macérer dans de l'éther éthylique. Après filtration et réduction du volume, les analyses ont été effectuées par couplage CPG-SM. **Résultats:** Les produits majoritaires sont le  $\alpha$ -bisabolol (17,2%) ; l'acide 4-hydroxy-benzoïque (15,2%) et l'alcool benzylique (8,8%) pour l'écorce, le 2-phényléthanol (13,5%) ; la p-hydroxy-acétophénone (12,8%) et l'heptadécane (9,4%) pour les feuilles, la p-hydroxy-acétophénone (17,9%) ; le 3-phényl-propanol (9,0%) et l'acide 2-hydroxy-benzoïque (8,0%) pour les fleurs et la 3-méthylpentan-2,4-dione (17,1%) ; le 3-méthyl-2-buténol (6,6%) et la p-hydroxy-acétophénone (5,6 %) pour les fruits. **Conclusion:** Après comparaison, on a pu mettre en évidence des différences qualitative et quantitative entre les composés volatils identifiés au niveau des différents organes de la plante à l'état frais et à l'état sec. Les extraits des différentes parties de la plante fraîche de *Thymelaea lythroides* contiendraient 69 composés volatils. Par contre, seulement 31 composés ont été détectés au niveau des extraits des organes de la plante sèche. De même, on a essayé de comparer le profil chimique de la plante étudiée avec ceux de quelques espèces et genres appartenant à la famille des Thyméléacées. Comme on a proposé quelques voies de biosynthèses probables de quelques molécules de composés volatils tels que : l'acide 2-hydroxy-benzoïque ; le 1-phényléthanol ; le 2-phényléthanol et l'acétophénone. Du fait de son endémisme, *Thymelaea lythroides* aurait un caractère évolutif particulier par la biosynthèse probable de nouveaux composés volatils.

**Mots-clés :** *Thymelaea lythroides*, endémique, comparaison, composés volatils, feuilles, fleurs, fruits et écorce.

### ABSTRACT

**Introduction:** The species, *Thymelaea lythroides* of the Thymeleaceae family, is not well known scientifically despite its great use in traditional medicine. **Objectives:** This plant is generally used by natives of the Mamora forest (Morocco) in its fresh state, especially during flowering periods. To this, analyses from the flowers, fruits, leaves and bark in the fresh state was conducted in order to determine their volatile compounds. **Material and methods:** Samples of flowers, fruits, leaves and bark of *Thymelaea lythroides* in its fresh state are crushed and set to macerate in ethyl ether. After filtration and volume reduction, analyses were conducted by coupling CPG-SM. **Results:** The majority products are the  $\alpha$ -bisabolol (17,2%) ; the 4-hydroxy-benzoic acid (15,2%) and the alcohol benzyl (8,8%) in the bark, the 2-phenylethanol (13,5%) ; the p-hydroxy-acetophenone (12.8%) and the heptadecane (9,4%) in the leaves, the p-hydroxy-acetophenone (17,9%) ; the 3-phenyl - propanol (9,0%) and the 2-hydroxy-benzoic acid (8,0%) in the flowers and the 3-methylpentan-2,4-dione (17,1%) ; the 3-methyl-2-butenol (6,6%) and the p-hydroxy-acetophenone (5,6%) for fruit. **Conclusion:** After comparison, qualitative and quantitative differences between the volatile compounds identified at the level of the different organs of the plant in the fresh and dry state were identified. The extracts of the different parts of the fresh *Thymelaea lythroides* plant would contain 69 volatile compounds. On the other hand, only 31 compounds were detected in the extracts of the organs of the dry plant. Likewise, we tried to compare the chemical profile of the studied plant with those of some species and genera belonging to the Family of Thymeleaceae. As we have proposed some probable biosynthetic pathways of some molecules of volatile compounds such as: the 2-hydroxy-benzoic acid; the 1-phenylethanol; the 2-phenylethanol and the acetophenone. Because of its endemism, *Thymelaea lythroides* would have a particular evolutionary character by the probable biosynthesis of new volatile compounds.

**Key words:** *Thymelaea lythroides*, endemic, comparison, volatile compounds, leaves, flowers, fruits and bark.

## 1. INTRODUCTION

Suivant l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 80 % des populations utiliseraient la médecine traditionnelle pour les soins de santé primaire [1]. Et l'espèce étudiée dans cette étude, *Thymelaea lythroides* est justement une plante

médicinale, endémique ibéro-Marocaine. Elle est considérée comme une espèce rare, espèce dont les vertus médicinales sont très intéressantes. Les autochtones de la forêt de Mamora la connaissent sous le nom vernaculaire de Mathnane. Elle est aussi connue par la « Passerine de Mamora », du fait qu'elle sévit dans le massif forestier de la Mamora de la région du Gharb au Nord-Ouest du Royaume du Maroc.

Après avoir été décrite sur le plan botanique et anatomique [2], cette Thyméléacée a fait l'objet d'enquêtes ethnobotaniques, qui ont montré qu'elle est très utilisée en médecine traditionnelle marocaine. En effet, la plante est très utilisée contre le mal de la vessie et des reins, pour l'inflammation de la prostate, le diabète (sous forme de tisanes ou d'infusions des feuilles et des jeunes tiges), contre les otites (par macération des fleurs dans de l'huile d'olive tiède) [3, 4]. Les extraits naturels de *Thymelaea lythroïdes* présentent une activité antifongique appréciable contre des champignons pathogènes foliaires du riz, entre autre contre *Helminthosporium oryzae* [5]. De plus, il s'est avéré que c'est une espèce très riche en flavonoïdes, en tanins ; en coumarines [6], plus particulièrement en polyphénols tel que : l'hydroxy-6 lutéoline et le méthyl-7 lutéoline ; en anthocyanes [7] et en composés volatils [8, 9].

Ces deux dernières études concernaient les composés volatils de la plante sèche et ceux de ses fleurs fraîches. Cependant, *Thymelaea lythroïdes* est souvent utilisée à l'état frais par les autochtones de la région du Gharb. Pour cela, on a jugé qu'il est plus raisonnable d'effectuer une première analyse des composés volatils de différentes parties fraîches de la plante et de procéder ensuite à une comparaison entre ces composés volatils et ceux des organes de la plante sèche et une autre comparaison entre différentes espèces et genres de la famille des Thyméléacées. Et ce sont les résultats de ces investigations qui font l'objet du présent travail.

## 2. MATERIELS AND METHODES

### 2.1-Matériel végétal

*Thymelaea lythroïdes* (Barr. et Murb.) a été récoltée dans la forêt de la Mamora au Nord - Ouest du Maroc, à différentes périodes de l'année, pour pouvoir obtenir les feuilles ; les fleurs ; les fruits et l'écorce. Les récoltes sont ensuite emmenées au laboratoire afin d'être triées et découpées en parties fines pour leur extraction.

On notera qu'un spécimen de cette plante (photos 1 et 2) est conservé au niveau de l'herbier de la faculté des sciences d'Agadir, Université Ibn Zohr, Maroc.



**Photo 1** : Feuilles et fleurs mâles de *Thymelaea lythroïdes* (photo de Yamni Khalid).



**Photo 2** : Feuilles, fleurs femelles et fruits de *Thymelaea lythroïdes* (photo de Yamni Khalid).

### 2.2-Extraction

Cinq grammes (5g) de chacune des différentes parties fraîches de la plante : feuilles, fleurs, fruits et écorce sont broyés et mis à macérer dans 20 à 50 ml d'éther éthylique, selon le volume de l'échantillon, pendant une semaine à température et lumière ambiantes, avec une agitation quotidienne de cinq minutes. Après décantation et filtration, les extraits sont concentrés par évaporation du solvant à l'air libre, jusqu'à obtention de quelques millilitres de produits.

## 2.3-Analyse CPG-SM

L'analyse des substances volatiles a été réalisée au Laboratoire de Chimie Macromoléculaire de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, sur un appareillage Hewlett Packard type 5941. Le chromatographe est équipé d'une colonne capillaire en silice de 25 m x 0,20 mm de diamètre interne garnie de poly-diméthylsiloxane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OSi)<sub>n</sub>. Le gaz vecteur est l'hélium avec un débit de 0,6 ml/min. Les températures de l'injecteur et du détecteur sont respectivement 220 et 240°C. La programmation de température est 50°C 3 min puis 50-250°C à raison de 3°C par min. Les spectres de masse sont enregistrés par un détecteur de type quadripôle et l'ionisation est réalisée par impact électronique sous un potentiel de 70 eV. Les composés volatils ont été identifiés par leur spectre de masse [10,11] et leur indice IR de rétention relatif, calculé à partir des temps de rétention des composés séparés et d'alcane linéaires selon l'équation (1) [12].

## 2.4-Equation

$$IR = 100 \times \frac{\Delta_x}{\Delta_y} + 100n \quad (1)$$

$\Delta_x$  : Temps, en secondes, entre le temps de rétention du composé et celui de l'alcane (n) qui le précède.

$\Delta_y$  : Temps, en secondes, entre les temps de rétention des deux alcanes (n et n+1) qui entourent le composé.

n : nombre de carbones qui composent la chaîne de l'alcane C<sub>n</sub>H<sub>n+2</sub>.

## 3. RESULTATS

Afin de procéder à une analyse chimique judicieuse, on a effectué une recherche des composés volatils pour chacune des parties fraîches de la plante. Les produits, obtenus après extraction, ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Cette analyse nous a permis de déterminer 69 composés volatils différents (tableau 1).

### 3.1-Analyse des extraits des feuilles

Au niveau des feuilles, 31 composés ont été détectés dont les majoritaires sont : le 2-phényl-éthanol (13,5 %) ; la p-hydroxy-acétophénone (12,8 %) ; l'hydroxy-diméthoxy-benzaldéhyde (5,32 %) ; l'heptadécane (9,4 %) ; le 3-méthyl-2-buténol (8,76 %) et le (Z)-hexène-3-ol (7,41 %).

De même, on a noté la présence du : 1,8-cinéole ; linalool ; germacrène D ;  $\alpha$ -pinène ;  $\gamma$ -hydroxy-isoeugénol et 2-phényléthanol, qui sont des composés n'existant que chez cet organe. Donc seraient-ils des composés spécifiques aux feuilles fraîches de *Thymelaea lythroides* ?

### 3.2-Analyses des extraits des fleurs

Quant aux fleurs, elles renfermeraient 44 composés volatils, dont les principaux sont : la p-hydroxy-acétophénone (17,9 %) ; le 3-phényl-propanol (9,0 %) ; l'acide 2-hydroxy-benzoïque (8,0 %) ; le tridécane (6,47 %) ; le (E)-hexène-3-ol (5,65 %) et l'acide benzoïque (4,16 %).

Les huit composés volatils suivants: l'acide 2-hydroxy-benzoïque ; le 3-phénylpropanol ; l'acide octanoïque ; l'acide caprique ; le dodécane ; le 3-hydroxy-salicylate de méthyle ; le (E)-2-tridécanol et le tridécane, sont des composés qui pourraient être spécifiques aux fleurs, puisqu'ils ne sont présents que chez cet organe de la plante étudiée.

### 3.3-Analyses des extraits des fruits

Trente-huit composés ont été déterminés chez les fruits frais de *Thymelaea lythroides*. Les plus abondants sont : la 3-méthylpentan-2,4-dione (17,1 %) ; le 3-méthyl-2-buténol (6,6 %) ; la p-hydroxy-acétophénone (5,6 %) ; le 5-méthylhexan-2-one (5,42 %) ; le (E,E)-2,4-décadiène (5,38 %) et le benzaldéhyde (5,35 %).

Sept composés volatils seraient spécifiques aux fruits et/ou aux fleurs femelles. Il s'agit du : 3-méthylpentan-2,4-dione ; décane ; camphre ; (E)-2-décane ; (Z,E)-2,4-décadiène ; (E,E)-2,4-décadiène et du tétradécane.

### 3.4-Analyses des extraits de l'écorce

En parallèle, l'écorce de *Thymelaea lythroides* à l'état frais contient 34 composés avec principalement : le  $\alpha$ -bisabolol (17,2 %) ; l'acide 4-hydroxy-benzoïque (15,2 %) ; l'alcool benzylique (8,8 %) ; le p-vinylphénol (5,07 %) ; le 3-méthylhexan-2-one (5,07 %) et l'acide benzoïque (4,86 %).

Deux composés ont été détectés seulement chez cette partie de la plante et qui pourraient être spécifiques à l'écorce de *Thymelaea lythroides*, ce sont: le p-hydroxy-benzoate d'éthyle et le diméthoxy-ageratochromène.

Par contre, le (E)-hexène-2-ol ; le benzaldéhyde ; le limonène ; l'acide nonanoïque ; le tridécanol ; le tétradécane ; le p-hydroxy-acétophénone ; l'hexadécane et l'heptadécane sont des composés volatils communs et qui sont présents chez tous les organes étudiés : feuilles, fleurs, fruits et écorce.

**Tableau 1:** Composés volatils des différents organes frais de *Thymelaea lythroides* (feuilles, fleurs, fruits et écorce) extraits par l'éther éthylique.

Composés	IR	Écorce (%)	Feuilles (%)	Fleurs (%)	Fruits (%)
3-Méthyl-2-buténol	778	0,00	8,76	0,00	6,55
3-Méthyl-pentan-2,4-dione	805	0,00	0,00	0,00	17,05
3-Méthyl-hexan-2-one	810	5,07	0,00	1,22	5,35
5-Méthylhexan-2-one	841	3,90	0,00	0,85	5,42
(E)-Hexène-3-ol	851	0,00	0,00	5,65	0,84
(E)-Hexène-2-ol	854	3,04	3,03	0,88	3,34
(Z)-Hexène-3-ol	857	3,44	7,41	0,00	3,41
N-Hexanol	867	3,04	0,00	1,06	4,01
Acide 2-méthylbutyrique	870	1,01	0,00	0,00	2,11
Benzaldéhyde	939	0,15	0,54	1,15	5,35
α-Pinène	941	0,00	1,08	0,00	0,00
3-Hydroxy-butyrat d'éthyle	990	0,76	0,00	0,00	1,10
Décane	1000	0,00	0,00	0,00	0,40
Limonène	1030	1,67	1,48	1,48	1,57
1,8-Cinéole	1031	0,00	2,70	0,00	0,00
Alcool benzylique	1032	8,76	3,30	0,98	0,00
1-Phényl-éthanol	1040	0,00	0,67	1,95	0,00
Benzoate de méthyle	1091	1,01	0,00	0,00	0,50
Linalool	1097	0,00	0,81	0,00	0,00
Undécane	1100	0,30	0,00	0,02	0,64
Nonanal	1101	0,00	2,16	2,17	2,71
2-Phényl-éthanol	1107	0,00	13,48	0,00	0,00
Camphre	1146	0,00	0,00	0,00	0,67
Acide octanoïque	1170	0,00	0,00	5,31	0,00
Benzoate d'éthyle	1173	0,41	0,00	1,76	0,33
inconnu (M = 180) formule ?	1190	5,57	1,15	3,08	4,28
Salicylate de méthyle	1192	0,00	0,00	0,17	0,43
Dodécane	1200	0,05	0,00	0,00	0,10
Acide benzoïque	1214	4,86	0,00	4,16	2,57
3-Phényl-propanol	1218	0,00	0,00	9,03	0,00
(E)-2-Décenal	1245	0,00	0,00	0,00	2,88
p-Vinylphénol	1260	5,07	0,00	0,63	0,00
(Z,E)-2,4-Décadiénal	1293	0,00	0,00	0,00	3,61
Acide nonanoïque	1296	0,51	0,40	3,66	2,04
Tridécane	1300	0,10	0,07	0,40	0,20
(E,E)-2,4-Décadiénal	1317	0,00	0,00	0,00	5,38
Acide 2-hydroxy-benzoïque	1340	0,00	0,00	7,96	0,00
Acide 3-phényl-propionique	1352	0,25	0,00	1,16	0,00
4-Hydroxy-benzaldéhyde	1360	0,51	0,00	1,01	0,00
3-Hydroxy-4-méthoxy-benzaldéhyde	1375	0,41	0,00	0,43	0,00
Acide décanoïque	1387	0,00	0,00	0,46	0,00
Tétradécène	1397	0,00	1,55	0,41	0,00
Dodécanal	1398	0,00	0,00	0,79	0,00
Tétradécane	1400	0,61	0,13	0,24	0,30
β-Caryophyllène	1419	0,00	1,75	0,36	0,00
Deméthoxy-ageratochromène	1429	2,23	0,00	0,00	0,00
p-Hydroxy-benzoate de méthyle	1440	2,28	0,00	0,00	1,27
p-Hydroxy-acétophénone	1460	2,58	12,80	17,89	5,55
Germacrène D	1485	0,00	2,29	0,00	0,00
Acide undécanoïque	1495	0,00	0,00	0,63	1,77
Pentadécane	1500	0,71	0,07	0,48	0,00
p-Hydroxy-benzoate d'éthyle	1503	0,76	0,00	0,00	0,00
3-Hydroxy-salicylate de méthyle	1520	0,00	0,00	1,81	0,00
(E)-2-Tridécenol	1535	0,00	0,00	0,24	0,00
Acide 4-hydroxy-benzoïque	1560	15,20	0,00	2,82	0,00
Acide dodécanoïque	1566	0,00	0,00	2,44	0,67
Tridécanol	1571	0,00	0,00	6,47	0,00

Hexadécène	1596	0,00	1,68	0,23	0,00
Tétradécanal	1599	0,00	0,00	0,00	1,10
Hexadécane	1600	0,61	0,20	0,66	0,30
Hydroxy-diméthoxy-benzaldéhyde	1618	2,03	5,32	0,00	0,00
T-Cadinol	1640	0,00	0,00	0,90	1,10
$\alpha$ -Cadinol	1654	0,00	4,92	0,37	2,21
Tétradécanol	1671	3,85	4,25	0,00	0,00
$\alpha$ -Bisabolol	1686	17,22	2,49	0,00	2,37
Heptadécane	1700	2,03	9,43	0,49	0,50
$\gamma$ -Hydroxy-isoeugénol	1712	0,00	4,51	0,00	0,00
Acide tétra-décanoïque	1765	0,00	0,67	4,88	0,00
Octadécane	1800	0,00	0,88	1,22	0,00
Total		99,70	99,98	99,96	99,98

IR : Les pourcentages relatifs des composés volatils sont basés sur l'aire chromatographique CG/SM.

## 4. DISCUSSION

### 4.1 Comparaison du profil chimique des extraits des différents organes :

Les analyses effectuées dans cette étude sur *Thymelaea lythroides* a permis de mettre en évidence une richesse en substances volatiles de la plante à l'état frais par rapport à la plante sèche. En effet, la présente recherche a permis de montrer que les extraits des différents organes de la plante fraîche contiennent 69 composés volatils, alors que seulement 31 composés ont été détectés au niveau des extraits des organes de la plante sèche [3, 8].

On a aussi noté que chez la plante fraîche, c'est l'extrait des fleurs qui présente le plus de composés volatils (44 composés), suivi de celui des fruits (38 composés), ensuite celui de l'écorce (34 composés) et enfin celui des feuilles (31 composés). À la différence de la plante sèche, où c'est l'extrait des feuilles qui présente le plus de composés volatils (21 composés) suivi des fleurs puis de l'écorce et enfin des fruits [8].

Certaines molécules pourraient être spécifiques à certains organes de la plante. C'est le cas du deméthoxy-agérotachromène qui est propre à l'écorce de *Thymelaea lythroides*. Cela pourrait être dû à l'endémisme de la plante dans la région du Gharb, qui aurait des caractères évolutifs particuliers pouvant induire la biosynthèse de molécules chimiques nouvelles au niveau d'un organe bien spécifique de la plante [13].

Pour plus de détail, on a procédé à une comparaison entre les composés volatils des extraits de la plante fraîche et ceux de la plante sèche. On a ainsi pu relever les faits suivants :

L' $\alpha$ -pinène (2,68%) et le  $\beta$ -pinène (0,69%) font partis des composés volatils des feuilles sèches [8]. Par contre, dans la plante fraîche, on a détecté seulement l' $\alpha$ -pinène (1,08%). Le  $\beta$ -pinène n'a pas été détectable, peut être du fait de sa faible concentration dans l'extrait obtenu.

Le limonène est présent dans l'extrait des feuilles, des fleurs, des fruits et de l'écorce à l'état frais avec des quantités relatives quasi identiques. Mais il n'a pas été détecté au niveau des extraits de la plante sèche. De même, le 1,8-cinéole (2,70%) ; le germacrène D (2,29%) et le linalool (0,81%) font partis des composés volatils des feuilles fraîches, mais non de ceux de la plante sèche [8].

Le  $\beta$ -caryophyllène est présent en faible quantité au niveau des feuilles et des fleurs fraîches. Alors qu'il est l'un des constituants majoritaires des composés volatils des feuilles sèches [8].

L' $\alpha$ -bisabolol est un composé présent dans tous les organes frais étudiés de *Thymelaea lythroides* sauf dans les fleurs. Le T-cadinol et l' $\alpha$ -cadinol sont deux composés volatils décelables au niveau des fleurs et des fruits frais et le deuxième est aussi présent au niveau des feuilles fraîches.

On note que l' $\alpha$ -muroloène (13,50%) ; l' $\alpha$ -humulène (9,80%) ; l' $\alpha$ -copaène (6,24%) et le géranyl-acétone (5,18%) sont des composés volatils présents chez les feuilles sèches [8]. Par contre, ils n'ont pas été détectés dans les extraits de la plante fraîche.

Quant aux sesquiterpènes, on a noté qu'ils sont présents en quantité non négligeable au niveau des extraits de la plante fraîche et ce seraient les feuilles qui en contiendraient le plus. Et en comparaison, ils sont aussi présents chez la plante à l'état sec mais en moindre quantité. De plus, la quantité des sesquiterpènes serait un peu plus importante que celle des monoterpènes chez la plante fraîche et sèche [8]. Les sesquiterpènes ont été aussi signalés chez d'autres Thymélacées [14].

A partir de l'ensemble de ces données, on pourrait avancer que la variation du profil chimique observée chez *Thymelaea lythroides*, entre les deux états frais et sec serait due à différents facteurs, entre autres, la variation de la saison, puisque la cueillette a été faite en été pour la plante sèche et en hiver pour la plante fraîche. Ceci a été aussi observé

chez des espèces du genre *Aquilaria* de la même famille et dont le profil chimique des composés volatils variait selon le cas d'une jeune plante ou une plante mûre ; selon l'infection du bois soit elle naturelle ou artificielle, ou en fonction du parasite qui a infecté le bois d'*Aquilaria sp.*, ou même selon le lieu où aurait le développement de l'espèce [14, 15, 16, 17].

#### 4.2-Comparaison entre les composés volatils de différents taxons des Thymélacées :

Après cette comparaison entre les composés volatils des extraits des organes frais et secs de *Thymelaea lythroides*, on a jugé qu'il serait intéressant de procéder à une comparaison entre les composés volatils de *Thymelaea lythroides* et ceux de quelques espèces et genres de la famille des Thymélacées (tableau 2).

L'analyse de l'huile essentielle de la partie aérienne de *Thymelaea microphylla* a montré la présence de 30 composés, dont sept composés ont aussi été détectés chez *Thymelaea lythroides* avec des pourcentages qui sont largement différents : le nonanal (11,43%) ; le dodécanal (3,27%) ; le dodécane (2,8%) ; le tétradécane (1,55%) ; le camphre (0,56%) ; le tridécane (0,55%) et l' $\alpha$ -pinène (0,55%) [18, 19].

Une autre espèce de la famille des Thymélacées : *Thymelaea hirsuta*, présente les composés volatils suivants : l'hexanol ; le nonanal ; le décanal ; le benzaldéhyde ; le dodécanal ; l'alcool benzylique ; le tétradécane ; le 2-phényléthanol ; l'acide nonanoïque ; l'acide décanoïque ; le 3,7-diméthyl-1,6-octadien-3-ol ; l'acide 2-éthylhexanoïque ; le benzène propanol ; le propylbenzène ; le 4-méthoxy-phénol et le 5-hydroxy-méthyl-2-furancarboxaldéhyde [20]. Les dix premiers composés sont aussi présents au niveau des extraits des fleurs, des fruits, des feuilles et de l'écorce de *Thymelaea lythroides* à l'état frais.

Une étude plus récente a montré que les huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* présentent plusieurs composés volatils, présents aussi chez *Thymelaea lythroides*, entre autres : le nonanal ; l'undécane ; le dodécane ; le salicylate de méthyle ; l'acide décanoïque ; l'acide nonanoïque ; le tridécane ; le tétradécane ; le pentadécane ; l'acide dodécanoïque ; l'heptadécane ; l'octadécane ; l'hexadécane ; le (E)-2-décenal ; le tétradécanal et enfin le tétradécanol. Et en plus de la richesse en composés volatils, l'étude a aussi mis en évidence une variation de la composition chimique des huiles essentielles de cette espèce selon la région de la collecte de la plante [21].

De plus, l'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle de *Daphne genkwa* Sieb. et Zucc. a permis l'identification de 121 composés. Ses principaux composants seraient le furfural (2,8%) ; l' $\alpha$ -copaène (3,1%) ; l' $\alpha$ -santalène (6,9%) ; le  $\beta$ -caryophyllène (3,4%) ; le  $\beta$ -santalène (2,4%) ; le  $\delta$ -cadinène (4,0%) ; le méthyl eugénol (4,6%) ; le nérolidol (2,0%) ; l'élémicine (4,5%) et le 2,3-dihydro-benzofurane (2,7%) [22]. On notera que *Thymelaea lythroides* présente dans ses extraits au moins trois composés similaires à ceux de *Daphne genkwa* : le  $\beta$ -caryophyllène (23,1%) ; le 2,3-dihydro-benzofurane (7,47%) et l' $\alpha$ -copaène (6,24%) [8].

Les travaux de Watanabe et al. (1983) sur *Daphne odora*, une autre Thymélacée sous forme d'un arbuste ornemental dont les fleurs sont très parfumées, ont permis de mettre en évidence une centaine de composés volatils au niveau de ses fleurs, entre autres : le (Z)-3hexanol ; l'acétophénone ; le géranyl acétone ; l'undécane ; le décanal ; l'acide octanoïque ; l'indole ; l'acide nonanoïque ; l'acide décanoïque ; le  $\alpha$ -humulène ; le  $\alpha$ -copaène ; le  $\beta$ -caryophyllène et le nonanal [23]. Et justement, ces derniers composés sont aussi présents parmi les substances volatiles des extraits des organes sèches de *Thymelaea lythroides* [8].

Par contre, les composés volatils : l'hexanol ; le benzaldéhyde ; le benzoate de méthyle ; le linalool ; l'undécane ; l'acide octanoïque ; le salicylate de méthyle ; le p-vinylphénol ; le caryophyllène ; le germacrène D ; l'acide tétra-décanoïque (appelé aussi l'acide myristique) ; l'acide nonanoïque ; l'hexadécane ; l'octadécane ; le pentadécane ; le tétradécane et l'alcool benzylique sont présents dans les extraits des fleurs de *Daphne odora* et aussi dans les extraits des fleurs, des fruits, des feuilles et de l'écorce de *Thymelaea lythroides* à l'état frais. En précisant que trois de ces composés avec leurs pourcentages relatifs : l'acide nonanoïque (1,27%) ; le nonanal (1,89%) et le linalool (15,54%) sont présents dans l'extrait des fleurs de *Daphne odora* et ils sont aussi présents au niveau des extraits de *Thymelaea lythroides* avec les pourcentages relatifs suivants : le linalool (0,81%) au niveau des feuilles, l'acide nonanoïque (5,3%) et le nonanal (10,77%) au niveau des fleurs femelles [9].

Les composés volatils des fleurs d'une autre Thymélacée : *Daphne mezereum* sont constitués principalement par le linalool ; le 2-phényléthanol et le benzaldéhyde [24]. Et on retrouve ces mêmes composés chez *Thymelaea lythroides*. D'autre part, le bois de deux espèces du genre *Aquilaria* de la famille des Thymélacées : *Aquilaria malaccensis* et *Aquilaria sinensis*, contient les composés volatils : l' $\alpha$ -humulène (0,3%) et le benzaldéhyde (0,6%) [15]. Par contre, parmi les substances volatiles de l'huile essentielle d'*Aquilaria malaccensis*, il a été détecté de : l' $\alpha$ -bisabolol ; l' $\alpha$ -copaène ; l'humulène et l' $\alpha$ -muuroène [14]. Ensuite, le même auteur a mis en évidence la présence de l' $\alpha$ -copaène (0,87%) et le benzaldéhyde (0,29%) dans la fumée du bois d'*Aquilaria malaccensis* infecté naturellement [16]. Alors que la deuxième espèce, *Aquilaria sinensis*, posséderait les six molécules suivantes : l'acide nonanoïque (1,5%) ; l'acide décanoïque (0,5%) ; l'humulène (0,3%) ; le tétradécane (0,5%-0,7%) ; le pentadécane (0,8%-1%) et l'hexadécane (0,21%-0,27%) [25, 26]. Ces mêmes molécules sont aussi présentes dans les extraits des différents organes de *Thymelaea lythroides*.

On note aussi la présence dans les extraits du bois des tiges et des rameaux d'une troisième espèce du genre *Aquilaria*, *Aquilaria crassna*, de différents composés volatils, entre autres : l'acide dodécanoïque (0,82%) ; le p-vinylphénol (0,05%) et l'humulène (0,23%), qui sont aussi présents chez *Thymelaea lythroides*. Les extraits de cette dernière (surtout l'écorce et les fleurs) contiennent du 3-Hydroxy-4-méthoxy-benzaldéhyde connu sous le nom d'isovanilline qui est un isomère de la vanilline, molécule présente dans l'extrait d'*Aquilaria crassna* [27].

Cette étude a également permis de mettre en évidence l'existence de composés phénoliques chez cette plante, entre autres :

- l'acide 2-hydroxy-benzoïque, communément appelé l'acide salicylique dans les extraits des fleurs, molécule bien connue pour ses propriétés antiseptiques ;
- l'acide benzoïque ; l'acide 4-hydroxy-benzoïque et l'acide 3-phényl-propionique (appelé aussi l'acide hydrocinnamique ou acide coumarique) au niveau des extraits de l'écorce et des fleurs, dont les activités antifongique et antibactérienne sont bien connues [28].

Et effectivement, d'autres recherches ont bien montré que *Thymelaea lythroides* est une plante très riche en métabolites secondaires [6] et plus particulièrement en acides phénoliques, tels l'acide caféique [7]. De plus, on a noté sur le terrain, que le bétail ne broute pas *Thymelaea lythroides* et que les feuilles de cette plante ne présentaient pas de lésions foliaires apparentes. Cela nous a permis donc de supposer que cette dernière développerait la biosynthèse de molécules ayant un potentiel de défense contre différents pathogènes. Et la présence de l'acide salicylique en est un exemple.

D'après la littérature, les plantes faisant partie de la plupart des familles des végétaux supérieurs, bio-synthétiseraient de l'acide salicylique qui peut se trouver au niveau de tous les organes de la plante [29]. L'acide salicylique serait nécessaire au cours de la période de floraison et aussi pour la formation des bourgeons dans le cas des cultures cellulaires du tabac [30]. De plus, cet acide serait bio-synthétisé par les plantes et déclencherait, entre autres, la thermogenèse. Une quantité de chaleur serait alors produite par les plantes lors de la formation des organes reproducteurs chez quelques espèces d'angiospermes [31]. Cette chaleur aiderait à disperser les amines odorantes et les indoles qui joueraient un rôle attractif des insectes pollinisateurs [32]. Cet acide salicylique serait donc un régulateur endogène de la température au niveau des plantes [33] et *Thymelaea lythroides* ne fait donc pas l'exception, puisqu'on a pu identifier de l'acide salicylique dans les extraits de ses fleurs avec un pourcentage plus important chez les fleurs mâles [9].

De plus, *Thymelaea lythroides* serait aussi riche en coumarines [6], qui sont des métabolites secondaires d'une grande importance dans la nature, évalués à plus de 1000 représentants. Une quarantaine de bicoumarines ont pu être inventoriées jusqu'à ce jour, essentiellement chez certaines Fabacées, Rutacées et Thyméléacées [34]. Leur existence chez la famille des Thyméléacées leur confèreraient donc une valeur importante en tant que marqueur chimio-taxonomique [13].

Chatterjee et ses collaborateurs ont pu isoler, en 1987, à partir de l'écorce du tronc d'*Edgeworthia gardneri* Meissn. deux nouvelles coumarines : *Edgeworthia gardneri*-coumarines A et B [35]. Et en parallèle, il a été identifié au niveau des fleurs femelles de *Thymelaea lythroides* deux composés volatils de la famille des coumarines : le 3-méthyl-coumarine et le 5-méthyl-coumarine [9].

Dans une autre étude similaire, au cours des analyses effectuées sur des échantillons liquides de conversion hydrothermale des lignocelluloses, Barbier a pu identifier plusieurs molécules, entre autres le dihydro-benzofurane et l'hydroxy-diméthoxy-benzaldéhyde [36], molécules qui sont aussi présentes dans les extraits de *Thymelaea lythroides* au niveau des extraits de l'écorce et des feuilles à l'état frais et les extraits des feuilles sèches.

Quant à l'agératochromène, c'est un composé qui fait partie de l'huile essentielle extraite de la tige et/ou des fleurs d'une asteracée : l'*Ageratum conyzoides*, qui est une plante herbacée [37]. Par contre, l'huile essentielle obtenue à partir des feuilles de l'espèce : *Croton hirtus* qui est aussi une herbacée appartenant à la famille des Euphorbiacées, contient un composé particulier : le 6-déméthoxy-agératochromène [38]. Et on note que le composé volatil, le déméthoxy-agératochromène est aussi présent chez *Thymelaea lythroides*.

Donc, le fait que les Thyméléacées contiendraient des esters diterpéniques du type tiglane ou daphnane et que ces composés n'existeraient que chez les deux familles des Euphorbiacées et des Thyméléacées [39], en plus des caractères morphologiques polliniques, cela permettrait de conclure que les Thyméléacées pourraient être apparentés aux Euphorbiacées et aux Buxacées [40]. Ceci d'une part et d'autre part, des chercheurs ont pu isoler à partir des feuilles de *Daphne cannabina* Wall. du taraxérol et du taraxérone, qui sont des triterpènes pentacycliques, présents aussi chez *Taraxacum officinale* L., une Asteracée [41, 42]. Donc, de l'ensemble de ces données, on pourrait conclure qu'il existerait une proximité systématique entre les Thyméléacées et les deux autres familles des Euphorbiacées et des Asteracées.

**Tableau 2 :** Quelques composés volatils identifiés chez *Thymelaea lythroides* et comparés avec d'autres genres et espèces de la famille des Thyméléacées.

Molécules identifiées	Genres et espèces de Thyméléacées								
	<i>Aquilaria crassna</i>	<i>Aquilaria malaccensis</i>	<i>Aquilaria rostrata</i>	<i>Aquilaria sinensis</i>	<i>Daphne odora</i>	<i>Daphne mezereum</i>	<i>Daphne genkwa</i>	<i>Thymelaea hirsuta</i>	<i>Thymelaea microphylla</i>
(Z)-Hexène-3-ol					X				
(E)-Hexène-3-ol					X				
Hexanol					X			X	
Acétophénone			X		X				
Benzaldehyde		X	X		X	X		X	
Nonanal		X	X		X			X	X
Undécane					X			X	
Décane					X			X	
$\alpha$ -Copaène		X			X		X		
Benzoate de méthyle					X				
Alcool benzylique					X			X	
Dodécane								X	X
Camphre									X
Acide octanoïque					X				
Acide decanoïque				X	X			X	
Salicylate de méthyle					X			X	
Dodécane								X	X
p-Vinylphénol	X				X				
Dihydro-benzofurane							X		
Acide nonanoïque				X	X			X	
Tridecane								X	X
$\beta$ -Caryophyllène		X	X		X		X		
Tétradécane				X	X			X	X
Germacrène D					X				
Pentadécane				X	X			X	
Acide dodecanoïque	X							X	
$\alpha$ -Muurolene		X	X						
$\alpha$ -Humulene	X	X	X	X	X				
Acide heptanoïque					X				
Heptadecane								X	
Geranyl-acetone					X				
Linalool					X	X			
Octadécane					X			X	
Indole					X				
Hexadécène					X				
$\alpha$ -Bisabolol		X							
$\alpha$ -Pinène									X
2-Phényléthanol						X		X	
Hexadécane				X	X			X	
(E)-2-Décenal								X	
Tétradécane								X	
Tétradécanol								X	
<b>Références</b>	27	15, 17	17	25, 26	23	24	22	20, 21	18, 19

#### 4.3-Quelques voies hypothétiques possibles de biosynthèse de quelques composés aromatiques :

Après une comparaison qualitative des composés volatils présents chez quelques taxons appartenant à la famille des Thyméléacées et étant donné que la famille des Rosacées et celle des Thyméléacées font partie de la même sous classe des rosidées, il nous a semblé qu'il serait judicieux de rechercher des voies de biosynthèse, qui seraient des voies de synthèse probables de quelques composés volatils identifiés dans les extraits de la plante étudiée, *Thymelaea lythroides*. Ainsi, on a pu détecter la présence des deux composés volatils, l'acétophénone et le 1-phényl-éthanol dans les extraits des fleurs de *Thymelaea lythroides*. Or, ces deux composés sont aussi présents et endogènes chez les fleurs de *Camellia sinensis* var. *Yabukita*. Ils seraient synthétisés à partir d'un acide aminé, le L-phénylalanine. Leur synthèse favoriserait, en milieu sub-acide, plus l'hydrogénation que la déshydrogénation de l'acétophénone en 1-phényléthanol au niveau des anthères des fleurs de cette plante [43].

Quant à l'acide salicylique, on avait suggéré au début que chez quelques plantes, il serait synthétisé par la voie de la phénylalanine : la phénylalanine ammonialyase catalyse la synthèse de l'acide trans-cinamique à partir de la phénylalanine [44, 45] suivie d'une 2-hydroxylation de l'acide benzoïque par l'acide benzoïque 2-hydroxylase en acide salicylique [46, 47, 48, 49, 50]. Des recherches plus récentes ont montré que l'acide cinnamique se transformerait en acide benzoïque puis en acide salicylique dans les plants du riz [51].



Bien que l'acide salicylique puisse être synthétisé à partir de la L-phénylalanine par l'action de la phénylalanine ammonia lyase, la voie prédominante pour la biosynthèse de l'acide salicylique, pendant l'infection de la plante, se ferait à partir du chorismate via l'isochorismate synthase et l'isochorismate pyruvate lyase [52].

De même, plusieurs benzénoïdes ont été détectés chez *Thymelaea lythroides*, entre autres : le 2-phényl-éthanol ; le benzoate de méthyle ; l'alcool benzylique ; le salicylate de méthyle ; le benzaldéhyde ; l'acide benzoïque et l'acide salicylique. Les benzénoïdes seraient produites à partir de l'acide trans-cinnamique. Dans les parfums floraux, l'alcool benzylique ; le benzoate de benzyle ; le benzoate de méthyle et le 2-phényléthanol ainsi que leurs dérivés, sont très présents chez la rose [53]. La biosynthèse du 2-phényl-éthanol se ferait au niveau des fleurs des roses à partir du L-phénylalanine et plus précisément dans les pétales des roses à partir d'un acide aminé aromatique, le L-phénylalanine [54]. La première étape serait une réaction qui est catalysée par la phényl-acétaldéhyde synthase, qui transformerait la phénylalanine en 2-phényl-acétaldéhyde, en décarboxylant et en désaminant la phénylalanine [55]. Ensuite, la deuxième étape consisterait en la synthèse du 2-phényl-éthanol à partir de la 2-phényl-acétaldéhyde. Cette réaction serait catalysée par l'enzyme : la phényl-acétaldéhyde réductase. Le gène responsable de matrice pour la transcription et la traduction de la phényl-acétaldéhyde synthase de la rose a pu être cloné [55]. On notera aussi que le 2-phényl-éthanol pourrait être sous la forme glycosylée :  $\beta$ -D-glucosidée, qui serait une forme de stockage. Et il a été démontré que cette forme serait produite dans les stades précoces du développement floral des roses, dont le taux diminue, tandis que la proportion du 2-phényl-éthanol libre augmente, parallèlement à une augmentation de l'activité enzymatique de la  $\beta$ -glucosidase [54, 56, 57].

Par contre, au niveau du fruit de la tomate, la phénylalanine se transformerait en phényl-acétaldéhyde sous l'action d'au moins deux enzymes différentes. La première serait l'acide aminé aromatique décarboxylase, qui donnerait la formation de la phényl-éthylamine. Et la deuxième enzyme, une monoamine oxydase, qui transformerait la phényl-éthylamine en phényl-acétaldéhyde, qui serait métabolisée rapidement en 2-phényl-éthanol par l'action d'une réductase / déhydrogénase [58].

Parmi les voies de biosynthèse des composés aromatiques proposées chez *pétunia*, il y a la phénylalanine qui sous l'action d'une enzyme, la *phényl-alanineammonia* lyase, donnerait du z-acide cinnamique qui se transformerait en benzaldéhyde. Celui-ci va produire de l'alcool benzylique et de l'acide benzoïque. Ce dernier donnerait deux composés, le salicylate de méthyle et le benzoate de méthyle [59]. Ces cinq derniers composés volatils ont été identifiés dans l'extrait de *Thymelaea lythroides* fraîche. Donc, on pourrait émettre l'hypothèse que cette voie de biosynthèse existerait aussi au niveau de quelques organes de la plante étudiée.

Il faudrait préciser que le 2-phényl-éthanol est parmi les précurseurs de la voie classique des polyphénols non volatils comme les acides phénoliques [60]. Les benzénoïdes dérivent des phényl-propanoïdes et seraient synthétisés à partir de l'acide trans-cinnamique.

IL est important de mentionner, que dans la plante, l'acide (E)-cinnamique est synthétisé à partir de la phénylalanine sous l'action de la phénylalanine Ammonia-Lyase [61]. L'acide cinnamique serait un important précurseur de la voie des phényl-propanoïdes et son métabolisme impliquerait une hydroxylase : la cinnamate 4-hydroxylase, conduisant à la formation de composés phénoliques simples, comme l'acide para-coumarique. Par contre, sous l'action des deux enzymes, la 4-coumarate-CoA ligase hydroxy-cinnamoyl transférase et la p-coumarate 3-hydroxylase, on obtient de l'acide caféique [62].

Une autre voie, la lipoxygénase végétale, pourrait aboutir aux composés volatils suivants : le z-3-hexenol et le n-hexenol, à partir de deux substrats différents : l'acide linoléique et l'acide linoléique, qui seraient oxydés (c'est à dire une activation de l'insertion de l'oxygène moléculaire par la lipoxygénase sur ces acides gras polyinsaturés en 9 et 13-hydroperoxyde). Ce dernier serait clivé par une enzyme qui pourrait être considérée comme une enzyme de stress [63]. Alors que le cis-3-hexenal, sous l'action de l'alcool oxydoréductase, serait transformé en cis-3-hexenol, ceci dans le cas de l'acide linoléique. Par contre, dans le cas de l'acide linoléique, on aurait un clivage en acide 12 oxododécanoïque et n-hexenal. Ce dernier, sous l'action de l'alcool oxydoréductase évoluerait en n-hexenol [64, 65, 66]. IL faut signaler que l'oxo-acide est le précurseur d'une hormone de croissance. Les aldéhydes, qui auraient de courtes chaînes, en plus de leurs propriétés antifongiques, seraient aussi recherchées dans l'industrie aromatique pour leur odeur de type "note verte" [63].

## 5. CONCLUSION

Différentes études ont été effectuées sur *Thymelaea lythroides* dans le seul but d'identifier, pour la première fois, ses composés volatils, étant donné que cette plante n'a pas été étudiée et n'est donc pas très connue sur le plan scientifique malgré sa grande utilisation dans la médecine traditionnelle marocaine.

La présente étude a donc permis de mettre en évidence le fait que les extraits des organes de *Thymelaea lythroides* à l'état frais renferment un nombre de molécules plus important en comparaison avec ceux des extraits de la plante sèche. De plus, et après une brève comparaison, on a noté qu'un peu plus d'un tiers des composés volatils de cette

plante est similaire à ceux des extraits des espèces des quelques genres de la famille des Thyméléacées. Et c'est l'espèce *Daphne odora* qui présente le plus de similitude avec *Thymelaea lythroides*, avec 28 composés volatils identiques, suivie de *Thymelaea hirsuta* avec 22 composés et enfin d'*Aquilaria malaccensis* et *Thymelaea microphylla* avec 7 composés volatils.

Cela d'un point de vue quantitatif, alors que du côté qualitatif, on a pu déterminer une différence qualitative de molécules entre les extraits de la plante à l'état frais et/ou à l'état sec. Comme on a remarqué que le composé volatil, le nonanal, est présent au niveau des extraits des 7 espèces de la famille des Thyméléacées. Le benzaldéhyde ; le tétradécane et le  $\beta$ -caryophyllène sont des molécules volatiles qui existeraient dans les extraits de 5 espèces de la famille des Thyméléacées. Alors que les deux dernières molécules, l' $\alpha$ -humulène et l'acétophénone seraient présents chez 4 espèces de cette famille.

Les différences quantitatives et surtout qualitatives des molécules en général et des composés volatils en particulier pourraient exister au sein d'un même taxon dans plusieurs cas :

- Pour le même pied du même taxon, il pourrait y avoir une différence de molécules volatiles entre les feuilles de l'année dernière, avec les jeunes feuilles des sommités, entre les composés volatils des boutons floraux et ceux des fleurs mûres, ... etc ;
- Il pourrait y avoir une différence qualitative des molécules volatiles entre deux populations du même taxon sous l'effet de conditions climatiques différentes ou sous l'effet d'un stress, entre autre un stress hydrique. On pourrait alors trouver des variations qualitatives des composés au cours du cycle végétative annuel.

**7. Remerciements :** Nous tenons vivement à remercier Mlle Yamni Youssra pour la contribution qu'elle a apportée à ce travail, car c'est grâce à elle que la traduction en anglais a été effectuée.

## 6. REFERENCES

1. Anonyme. Organisation Mondiale de la santé. Rapport sur la médecine traditionnelle : Besoins et potentiel. 2002; N°4, 6 p.
2. Ganière S. Etude anatomique des *Thymelaea* du Maroc. Cahiers de la Faculté des Sciences de l'Université Med V. Série de Biologie Végétale, Rabat. 1964; N°5, 67 p.
3. Dohou N. Approches floristique, ethnobotanique, phytochimique et étude de l'activité biologique de *Thymelaealythroides*. Thèse Doct. Botanique et Substances naturelles, Univ. Ibn Tofaïl, Fac. Sci. Kénitra, 2004; 158 p.
4. Dohou N., Yamni K. et Gmira N. Approche ethnobotanique d'une endémique ibéro-marocaine : *Thymelaea lythroides* (Thymelaeaceae). *Quad. Bot. Amb. Appl.* 2006; 17(2): 175-177. Available on: [http://www.quadernibotanicaambientaleappl.it/quaderni/17\(2\)\\_175-177.pdf](http://www.quadernibotanicaambientaleappl.it/quaderni/17(2)_175-177.pdf)
5. Dohou N., Yamni K., Badoc A. et Douira A. Activité antifongique d'extraits de *Thymelaea lythroides* sur trois champignons pathogènes du riz. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 2004; (143): 31-38. Available on: <https://www.socpharmbordeaux.asso.fr/pdf/pdf-144/144-063-070.pdf>
6. Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Idrissi Hassani L.M., Badoc A. et Gmira N. Screening phytochimique d'une endémique ibéro marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 2003; (142): 61-78. Available on: <https://www.socpharmbordeaux.asso.fr/pdf/pdf-142/142-061-078.pdf>
7. Dohou N., Yamni K., Gmira N. et Idrissi Hassani L.M. Etude de polyphénols des feuilles d'une endémique ibéro marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Acta Botanica Malacitana*. 2004; (29): 233-239. Available on: <http://webdeptos.uma.es/BiolVeg/03Rev/00HRev/12.THYMELAEA%20LYTHROIDES.pdf> 11 citations.
8. Dohou N., Yamni K., Badoc A., Tahrouch S., Idrissi Hassani L.M. et Bessière J.M. Composés volatils de *Thymelaea lythroides*, endémique ibéro-marocaine. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 2005; (144): 85-92. Available on: <https://www.socpharmbordeaux.asso.fr/pdf/pdf-144/144-063-070.pdf>
9. Dohou N., Yamni K. et Bessière J.M. Premières analyses et potentiel allélochimique des composés volatils des fleurs fraîches mâles et femelles de *Thymelaea lythroides*, une endémique ibéro-marocaine. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2020; 10(5): 185-191.
10. Anonymous. Eight peak index of mass spectra: the eight most abundant ions in 66,720 mass spectra, indexed by molecular weight, elemental composition and most abundant ions. Nottingham, UK: Mass Spectrometry Data Centre, Royal Society of Chemistry, 1986; réédition de 3e ed. de 1983; 3 vol.
11. McLafferty F.W. and Stauffer D.B. The Wiley/NBS registry of mass spectral data. New York : J. Wiley and Sons, 1989; 7 vol., 7872 p.
12. Pacáková V. and Feltl L. Chromatographic retention indices: An aid to identification of organic compounds. New York: E. Horwood, 1992; 285 p.
13. Ferrari J. Contribution à la connaissance du métabolisme secondaire des Thymelaeaceae et investigation phytochimique de l'une d'elles : *Gnidia involucrata* Steud. ex A. Rich. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne, 2002; 228 p. Available on: [https://doc.rero.ch/record/8595/files/These\\_FerrariJ.pdf](https://doc.rero.ch/record/8595/files/These_FerrariJ.pdf)
14. Daoud T.A. and Ajaykumar D.K. Sesquiterpenes and Chromones of Agarwood. *A Review Malaysian Journal of Chemistry*. 2017; 19(1): 33-58.
15. Jong P.L., Tsan P. and Mohamed R. Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis of Agarwood Extracts from Mature and Juvenile *Aquilaria malaccensis*. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2014; (16): 644-648. Available on: <http://www.fspublishers.org>
16. Daoud T.A. and Ali M.M. Identification of Agarwood (*Aquilaria malaccensis*) Chips Masaad and Saiful Nizam Tajuddin Incense Smoke and Headspace Volatile Compounds by GC-MS.EI.Q.TOF. *Malaysian Journal of Chemistry*. 2018; 20(2): 154-162. Available on: <https://www.researchgate.net/publication/329389441>
17. Daoud T.A., Mahmoud M.E. and Ali M.M. Investigation of Agarwood Compounds in *Aquilaria malaccensis* & *Aquilaria Rostrata* Chipwood by Using Solid Phase Microextraction. *Biomed. J. Sci. & Tech. Res*. 2017; 1(6): 1609-1616. Available on: [doi: 10.26717 / BJSTR.2017.01.000499](https://doi.org/10.26717 / BJSTR.2017.01.000499)
18. Bounab S., Lograda T., Ramdani M., Chalard P. and Figueredo G. Phytochemical investigations and antibacterial and antioxidant properties of *Thymelaeamicrophylla* essential oil. *Indian Research Journal of Pharmacy and Science*. 2017; (15): 1205-1215. Available on: <https://www.irjps.in/doi/10.21276/irjps.2017.4.4.7>
19. Bounab S., Lograda T., Ramdani M., Chalard P. and Figueredo G. Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activity of *Thymelaea microphylla* Essential Oil from Algeria. *Der. Pharma Chemica*. 2018; 10(5): 36-41. Available on: <https://www.derpharmachemica.com/pharma-chemica/chemical-composition-antioxidant-and-antibacterial-activity-of-thymelaea-microphylla-essential-oil-from-algeria.pdf>
20. Odeh I., Abu-Lafi S., Dewik H., Al-Najjar I., Imam A., Dembitsky V.M. and Hanuš L.O. A variety of volatile compounds as markers in Palestinian honey from *Thymuscapitatus*, *Thymelaeahirsuta* and *Tolpispvirgate*. *Food Chemistry*. 2007; 101(4): 1393-1397. Available on: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.046>

21. Bounab S., Lograda T., Ramdani M., Chalard P. and Figueredo G. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Thymelaeahirsuta* from Algeria. *Biodiversitas*. 2019; 20(9): 2868-2876. Available on: [doi: 10.13057/biodiv/d200912](https://doi.org/10.13057/biodiv/d200912)
22. Yoshitaka U., Hashimoto S., Nii. H. and Furukawa K. The Chemical Composition of the Essential Oil of *Daphnegenkwa* Sieb. et Zucc. *Journal of Essential Oil Research*. 1990; (2): 247-250.
23. Watanabe L., Yanai T., Awano K., Kogami K. and Hayashi K. Volatile Components of *Zinchoe* Flower (*Daphne odora* Thumb.). *Agricultural and Biological Chemistry*. 1983; 47(3): 483-490. Available on: <https://doi.org/10.1080/00021369.1983.10865668>.
24. Andersson S., Nilsson L.A., Groth I. et Bergström G. Parfums floraux dans les plantes pollinisées par les papillons: convergence possible dans la composition chimique. *Bot. J. Linn. Soc.* 2002; (140): 129-153. Available on: <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2002.00068.x>
25. Chen H., Yang Y., Xue J., Wei J., Zhang Z. and Chen H. Comparison of compositions and antimicrobial activities of essential oils from chemically stimulated agarwood, wild agarwood and healthy *Aquilaria sinensis* (Lour.) gilg trees. *Molecules*. 2011;(16):4884-4896. Available on: <https://doi.org/10.3390/molecules16064884>.
26. Tian J.J., Gao X.X., Zhang W.M., Wang L. and Qu L.H. Molecular identification of endophytic fungi from *Aquilaria sinensis* and artificial agarwood induced by pinholes-infusion technique. *African Journal of Biotechnology*. 2013; (12): 3115-3131. Available on: <http://www.academicjournals.org/AJB>
27. Wetwitayaklung P., Thavanapong N. and Charoenteeraboon J. Chemical constituents and antimicrobial activity of essential oil and extracts of heartwood of *Aquilaria crassna* obtained from water distillation and supercritical fluid carbon dioxide extraction silpakorn. *U. Science & Tech. J.* 2009; 3(1): 25-33. Available on: [https://www.researchgate.net/profile/Arvind\\_Singh56/post/can\\_you\\_help\\_me\\_in\\_analysis\\_of\\_chemical\\_contents\\_in\\_agarwood/attachment/59d637e179197b8077995284/AS%3A395028011732993%401471193425580/download/2.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arvind_Singh56/post/can_you_help_me_in_analysis_of_chemical_contents_in_agarwood/attachment/59d637e179197b8077995284/AS%3A395028011732993%401471193425580/download/2.pdf)
28. Ribereau G.P. Les composés phénoliques du raisin et du vin. *Ann. Physiol. Veg.* I.N.R.A. 1964.
29. Popova L., Pancheva T. and Uzunova A. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. *Bulg. J. Plant Physiol.* 1997; (23): 85-93.
30. Eberhard S., Doubrava N., Marta V., Mohnen D., Southwick A., Darviell A. and Albersheim P. Pectic cell wall fragments regulate tobacco thin-cell layer explant morphogenesis. *Plant Cell*. 1989 ; (1): 747-755.
31. Lamarck J.B. In Flore Française, Paris : L'Imprimerie Royale. 1778; (3):537-39.
32. Smith B.N. and Meeuse B.J.D. Production of volatile amines and skatole at anthesis in some arum lily species. *Plant Physiol.* 1966; (41): 343-347.
33. Raskin I., Ehmann A., Melander W.R. and Meeuse B.I.D. Salicylic acid-a natural inducer of heat production in Arum lilies. *Science*. 1987;(237):1545-1556.
34. Basa S.C. Natural bicoumarins. A review Phytochemistry. 1988; (27): 1933-1941.
35. Chatterjee A., Chakraborty R., Das B. and Banerji J. New coumarins from *Edgeworthia gardneri* Meissn. *Indian J. Chem.* 1987; B 26 : 81.
36. Barbier J. Relation structure/réactivité en conversion hydrothermale des macromolécules de lignocellulose Matériaux. Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2010; 199 p.
37. Daouda T. Etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de côte d'ivoire. Chimie organique. Université Felix Houphouët Boigny ; Côte d'Ivoire. 2015. [ffNNT:29/2015ff et fftel-01222964f](https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.958550)
38. Daouda T., Prevost K., Gustave B., Joseph D.A., Nathalie G., Raphael O., Rubens D., Claude C.J., Mireille D. and Felix T. Terpenes, Antibacterial and Modulatory Antibiotic Activity of Essential Oils from *Croton hirtus* L. (Euphorbiaceae) from Ivory Coast. *J. Essent. Oil Bear. Pl.* 2014; (17): 607-616. Available on: [doi: 10.1080/0972060X.2014.958550](https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.958550)
39. Bruneton J. Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales. 3<sup>ème</sup> édition, Technique & Documentation, Paris, 1999; (274): 654-655.
40. Erdtman G. Pollen Morphology and Plant Taxonomy-Angiosperms. Chronica Botanica Co., Waltham, 1952; 431-433.
41. Maiti P.C., Barua A.K., Ray A.K. and Ray S. Triterpenes from *Daphnecannabina* Wall. *Sci. Cult.* 1963; (29):160-161.
42. Maiti P.C. and Ray S. Triterpenes from *Daphne cannabina* (simultaneous occurrence of taraxerol, taraxerol acetate and taraxerone). *Cuwent Science*. 1967; (36): 99.
43. Dong F., Yang Z.Y., Baldermann S., Kajitani Y., Ota S. and Kasuga H. Characterization of L-phenylalanine metabolism to acetophenone and 1-phenylethanol in the flowers of *Camellia sinensis* using stable isotope labeling. *Journal of Plant Physiology*. 2012; 169(3): 217-225. Available on: [doi:10.1016/j.jplph.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.12.003).
44. Bate N.J., Orr J., Ni W., Meromi A., Nadler-Hassar T., Doerner P.W., Dixon R.A., Lamb C.J. and Elkind Y. Quantitative relationship between phenylalanine ammonia-lyase levels and phenylpropanoid accumulation in transgenic tobacco identifies a rate-determining step in natural product synthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1994; (91): 7608-7612. Available on: [doi:10.1073/pnas.91.16.7608](https://doi.org/10.1073/pnas.91.16.7608).
45. Howles P.A., Sewalt V., Paiva N.L., Elkind Y., Bate N.J., Lamb C. and Dixon R.A. Overexpression of L-phenylalanine ammonia-lyase in transgenic tobacco plants reveals control points for flux into phenylpropanoid biosynthesis. *Plant Physiol.* 1996; (112):1617-1624. Available on: [doi:10.1104/pp.112.4.1617](https://doi.org/10.1104/pp.112.4.1617).
46. Leon J., Yalpani N., Raskin I. and Lawton M.A. Induction of benzoic acid 2-hydroxylase in virus-inoculated tobacco. *Plant Physiol.* 1993; (103): 323-328. Available on: [doi:10.1104/pp.103.2.323](https://doi.org/10.1104/pp.103.2.323).
47. Yalpani N., Altier D.J., Barbour E., Cigan A.L. and Scelonge C.J. Production of 6-methylsalicylic acid by expression of a fungal polyketide synthase activates disease resistance in tobacco. *Plant Cell*. 1993; (13): 1401-1409. Available on: [doi:10.1105/tpc.13.6.1401](https://doi.org/10.1105/tpc.13.6.1401).
48. Mauch-Mani B. and Slusarenko A.J. Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of Arabidopsis to Peronospora parasitica. *Plant Cell*. 1996; (8): 203-212. Available on: [doi:10.1105/tpc.8.2.203](https://doi.org/10.1105/tpc.8.2.203).
49. Coquoz J., Buchala A. and Metraux J.P. The biosynthesis of salicylic acid in potato plants. *Plant Physiol.* 1998; (117):1095-1101. Available on: [doi:10.1104/pp.117.3.1095](https://doi.org/10.1104/pp.117.3.1095)
50. Ribnicky D.M., Shulaev V. and Raskin I. Intermediates of salicylic acid biosynthesis in tobacco. *Plant Physiol.* 1998;(118):565-572. Available on: [doi:10.1104/pp.118.2.565](https://doi.org/10.1104/pp.118.2.565).
51. Silverman P., Seskar M., Kanter D., Schweizer P., Metraux J.P. and Raskin I. Salicylic acid in rice. Biosynthesis, conjugation and possible role. *Plant Physiol.* 1995; (108):633-639. Available on: [doi:https://doi.org/10.1104/pp.108.2.633](https://doi.org/10.1104/pp.108.2.633).
52. Shah J. The salicylic acid loop in plant defense. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2003; 6(4): 365-371. Available on: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00058-X)
53. Knudsen J.T. and Tollsten L. Trends in floral scent chemistry in pollination syndromes floral scent composition in moth-pollinated taxa. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 1993; (113): 263-284.
54. Watanabe S., Hayashi K., Yagi K., Asai T., Mactavish H., Picone J., Turnbull C. and Watanabe N. Biogenesis of 2-phenylethanol in rose flowers : incorporation of [2H8] L-phenylalanine into 2-phenylethanol and its  $\beta$ -D-glucopyranoside during the flower opening of *Rosa 'Hoh-Jun'* and *Rosa damascena* Mill. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 2002; 66(5): 943-947.
55. Kaminaga Y., Schnepf J., Peel G., Kish C.M., Ben-Nissan G., Weiss D., Orlova I., Lavie O., Rhodes D., Wood K., Porterfield D.M., Cooper A.J.L., Schloss J.V., Pichersky E., Vainstein A. and Dudareva N. Plant phenylacetaldehyde synthase is a bifunctional homotetrameric enzyme that catalyses phenylalanine decarboxylation and oxidation. *The Journal of Biological Chemistry*. 2006; (281): 23357-23366. Available on: [doi:10.1074/jbc.M602708200](https://doi.org/10.1074/jbc.M602708200).
56. Oka N., Ohishi H., Hatano T., Hornberger M., Sakata K. and Watanabe N. Aroma evolution during flower opening in *Rosadamasceana* Mill. *Zeitschrift für Naturforschung Teil C*. 1999; (54): 889-895. Available on: [www.znaturforsch.com](http://www.znaturforsch.com)

57. Sakai M., Tomita S., Hirata H., Asai T., Dohra H., Hara M. and Watanabe N. Purification and characterization of the  $\beta$ -glucosidase involved in the emission of the 2-phenylethanol from rose flowers. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 2008;72(1):219-221. Available on: <https://doi.org/10.1271/bbb.70404>.
58. Tieman D., Taylor M., Schauer N., Fernie A.R., Hanson A.D. and Klee H.J. Tomato aromatic amino acid decarboxylases participate in synthesis of the flavor volatiles 2-phenylethanol and 2-phenylacetaldehyde. *Proceedings of National Academy of Sciences*. 2006; 103(21): 8287-8292. Available on: <https://doi.org/10.1073/pnas.0602469103>.
59. Boatright J., Negre F., Chen X., Kish C.M., Wood B., Peel G., Orlova I., Gang D., Rhodes D. and Dudareva N. Understanding in vivo benzenoid metabolism in petunia petal tissue. *Plant Physiology*. 2004; (135): 1993-2011. Available on: [www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.104.045468](http://www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.104.045468).
60. Machenaud J. Biosynthèse du 2-phényléthanol et sécrétion du parfum chez la rose. *Biologie végétale*. Université Jean Monnet. Saint-Etienne, 2010. HAL Id: tel-00684433
61. Chaabouni S. Contribution à la chimie des cinnamates ortho-fonctionnalisés - Exploitation comme (1) précurseurs synthétiques d'hétérocycles, (2) antennes photoactivables de complexes d'ions lanthanides luminescents. Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2017; p 198. Available on: HAL Id: tel-01903111
62. Petersen M. Cinnamic acid 4-hydroxylase from cultures cell of the hornwort *Anthoceros agrestis*. *Planta*. 2003; (217):96-101. Available on: <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0960-9>.
63. Delcarte J., Fauconnier M.L., Hoyaux P., Jacques P., Thonart P. et Marlier M. Revue bibliographique : l'hydro-péroxyde lyase. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 2000; 4(3): 157-167.
64. Hildebrand D.F. and Hymowitz T. Lipoxygenase activities in developing and germinating soybean seeds with and without lipoxygenase-1. *Bot. Gaz*. 1983; (144): 212-216.
65. Hatanaka A. The biogenesis of green odour by green leaves. *Biochemistry*. 1993; (5):1201-1218.
66. Fukushima D. Progrès récents en biotechnologie des protéines de soja et des produits alimentaires à base de protéines de soja. *Food Biotechnology*. 1994 ; 8(2-3):83-135. Available on: [doi:10.1080/08905439409549872](https://doi.org/10.1080/08905439409549872).



Cite this article: **Naima Dohou, Khalid Yamni, et Jean-Marie Bessière**. PREMIERE COMPARAISON DES COMPOSÉS VOLATILS DE *THYMELAEA LYTHROIDES* BARR. ET MURB. UNE ENDEMIQUE IBERO-MAROCAINE ET QUELQUES VOIES DE BIOSYNTHESE PROBABLES. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2020; 11(2): 94-105.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>