

Master Sciences et Techniques CAC Ageq

Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude de l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc par ACP

Présenté par:

BAID SALAH-EDDINE

Encadré par:

Pr. A. FARAH(FSTF)

Soutenu Le 13 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Pr. ABDELLAH FARAH

- Pr. EL MESTAFA EL HADRAMI

- Pr. YOUSSEF KANDRI RODI

Stage effectué à : laboratoire de Chimie Organique Appliquée (LCOA) de la
Faculté des Sciences et Techniques de Fès(FST).

Remerciements

*Au terme de ce travail, J'ai le plaisir d'exprimer mes profonds
remerciements à :*

A mon encadrant de stage **Pr. ABDELLAH FARAH**, pour la qualité de l'encadrement scientifique et méthodologique dont elle m'a bénéficié avec un suivi d'une grande rigueur intellectuelle, je ne pourrais jamais cesser de lui dire merci.

A Mr le doyen de la Faculté des Sciences Techniques, ainsi qu'à tous mes enseignants.

Je remercie vivement **Pr.EL MESTAFA EL HADRAMI** pour son soutien et ses bénéfiques consignes.

Pr. EL HADRAMI, je tiens à vous remercier pour m'avoir accueilli dans votremaster. Je suis très reconnaissant pour la confiance que vous m'avez accordée, votregentillesse, votre disponibilité, et vos encouragements m'ont été indispensables.

Je remercie également les membres de jury **Pr. EL MESTAFA EL HADRAMI** et **Pr. YOUSSEF KANDRI RODI** d'avoir accepté de juger ce travail.

dédicace

A mes très chers parents

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour. Que DIEU vous prête longue vie afin que je puisse toujours vous combler.

A mes Soeurs.

A tous les membres de ma famille, petits et grands.

A toute mes ami(e)s.

A tous ceux qui me sont chers.

Veillez trouvez dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Sommaire

Introduction	1
Partie bibliographique	
I. Généralité sur les eucalyptus au Maroc et dans le monde	3
1) Généralité sur les eucalyptus :	3
2) Eucalyptus au Maroc	8
3) Eucalyptus dans le monde	9
II. Importance économique des eucalyptus et ses dérivés	11
III. Technique d'extraction des huiles eucalyptus	13
1) Entraînement à la vapeur d'eau	13
2) Hydrodistillation et ses variantes	14
3) L'extraction par solvants	14
4) L'hydrodiffusion	15
5) La distillation à vapeur saturée	15
6) Extraction par les corps gras	16
7) Extraction par micro- ondes	16
IV. Utilisations	16
1) Utilisation thérapeutique	16
2) Utilisation dans la construction	17
3) Utilisation dans la Pâte à papier	18
4) Utilisation en chimie	18
5) Utilisation en médecine	19
5.1 En phytothérapie :	19
5.2 En aromathérapie :	20

Partie expérimentale

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES	22
II. Technique d'analyse.....	22
III. Analyse des données (Réalisation d'une ACP).....	23
1) Objectif d'étude.....	23
2) Données.....	23
3) Etude de rendement	25
4) ACP sur la composition chimique	25
Conclusion.....	30

liste des tableaux

Tableau 1: la composition chimique des huiles essentielles.....	24
Tableau 2 : le rendement moyen	25
Tableau 3 : La matrice de corrélation :	25

liste des figures

Figure 1 : Arbres des eucalyptus	3
Figure 2: un exemple d'Eucalyptus d'écorce fibreuse.	4
Figure 3: un exemple d' Eucalyptus d'écorce fibreuse.	4
Figure 4: un exemple d'Eucalyptus de feuillage jeune.	5
Figure 5: Jeunes feuilles arrondies opposées bleu gris.	6
Figure 6: un exemple d'Eucalyptus de feuilles adultes lancéolées vert glauque.	6
Figure 7 : une fleur fermée par un opercule avant éclosion	7
Figure 8: un exemple d' Eucalyptus de fleur blanche.	7
Figure 9: une fleur rouge d'Eucalyptus. Figure 10: une fleur jaune d'Eucalyptus.	7
Figure 11: Entraînement à la vapeur d'eau	13
Figure 12: hydrodistillation	14
Figure 13: Les différents types d'extraction par solvants volatils	15
Figure 14: Extraction par micro- ondes +L'hydrodistillation traditionnelle.	16
Figure 16: Représentation des variables (X-loadings) dans le plan principal (PC1, PC2)	26
Figure 15: Pourcentages de variabilités expliquées expliquées	26
Figure 17: Représentation des individus (scores) sur le plan principal de l'ACP (PC1, PC2).....	27
Figure 18: Graphe de la variance résiduelle des individus	28
Figure 19: Graphe de la projection des variables sur le graphe des individus	29

Introduction

Bien que dans les pays les moins développés l'arbre contribue encore largement à la production communautaire de bois de feu et de services variés, le développement des plantations industrielles d'Eucalyptus échappe de plus en plus au secteur public ; il s'agit d'un système très intensif et de plus en plus étroitement intégré à l'industrie papetière. La forte concentration des investissements privés sur l'Eucalyptus contribue à un progrès très significatif dans les domaines de la génétique forestière et de la physiologie des arbres mais aussi en matière de sylviculture et de technologie du bois.

Le rapide développement des plantations d'Eucalyptus dans le monde est dû au succès combiné de l'amélioration génétique, du bouturage et des biotechnologies. Avec une croissance très rapide, une grande homogénéité, une excellente fibre et un bois de densité élevée, l'Eucalyptus est l'un des meilleurs arbres pour la ligniculture. De plus, les plantations d'Eucalyptus, développées hors forêts, contribuent à réduire la pression sur les forêts naturelles et la récente possibilité de production partielle de bois d'œuvre ainsi que leur excellente aptitude à la création de puits de carbone, renforcent encore leur double intérêt, économique et écologique. Ainsi, l'Eucalyptus, nouvel "or vert" de l'industrie papetière, devient aujourd'hui un "arbre forestier stratégique".

La présence d'hybrides interspécifiques spontanés révèle des possibilités d'hybridations contrôlées variées. L'objectif est donc la création d'hybrides productifs et adaptés aux conditions bioclimatiques du pays dans le but de satisfaire les besoins impératifs en bois de trituration.

L'objectif de mon sujet est d'étudier l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc en utilisant une analyse en composantes principales (ACP).

Dans le présent rapport, nous avons commencé par la réalisation d'une étude bibliographique qui a porté sur les eucalyptus, leurs importances économiques, leurs utilisations ainsi la technique d'extraction des huiles essentielles d'eucalyptus et dans une deuxième partie nous avons réalisé une étude statistique (ACP) pour savoir l'effet de l'hybridation interspécifique sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus.

Etude bibliographique

I. Généralité sur les eucalyptus au Maroc et dans le monde

1) Généralité sur les eucalyptus :

Les eucalyptus, appelés gommiers, ont été découverts avec l'Australie. C'est un genre très vaste et diversifié, de l'arbuste aux arbres parmi les plus hauts du monde. Leur résistance au froid est souvent méconnue, il faudrait tester plus d'espèces en Europe pour l'agrément de nos jardins. Avec plus de 800 espèces, le genre Eucalyptus est vaste, de l'arbuste au très grand arbre. Les eucalyptus composent 95 % des forêts australiennes, ils sont indissociables de l'image de ce pays-continent. Ce sont des arbres très adaptables, de croissance souvent rapide, qui présentent une grande diversité au niveau de la taille adulte, de la couleur de l'écorce, de la couleur des fleurs, de la forme et de la couleur des feuilles, de la résistance aux basses températures.

Les eucalyptus ont été introduits dans de nombreux pays, pour la production de bois ou pour assécher les sols. Les feuilles éloignent les insectes, d'où des plantations en Afrique pour diminuer la propagation de la malaria. Ils peuvent par contre entraîner des problèmes par rapport à la flore locale.

En 1995, 80 espèces d'eucalyptus ont été transférées dans un nouveau genre : Corymbia. D'autres genres ont été créés : Symphiomyrtus, Eudesmia, Monocalyptus. La classification botanique est donc devenue beaucoup plus complexe et il est difficile de s'y retrouver. C'est pourquoi nous continuons à parler tout simplement d'Eucalyptus pour décrire des plantes qui ont beaucoup de caractères en commun^[1].



Figure 1 : Arbres des eucalyptus

- Noms français : Gommier, à cause de la gomme résineuse rouge exsudée après une blessure.
- Famille : Myrtacées.

- Origine : Australie, Tasmanie, quelques espèces en Mélanésie et Philippines.

- Type : Arbre, arbuste. L'écorce est de couleur et de texture variable selon les espèces. Souvent elle présente plusieurs couleurs, comme un platane, et se détache en lambeaux qui tombent au sol, mais l'écorce peut être aussi dure, fibreuse, floconneuse, lisse.



Figure 2: un exemple d'Eucalyptus d'écorce fibreuse.



Figure 3: un exemple d' Eucalyptus d'écorce fibreuse.

- Rusticité : La plupart des eucalyptus ne supportent pas des températures inférieures à -3/-5°C, c'est le facteur qui limite le plus leur culture en dehors de leur zone d'origine. Toutefois, cette résistance est variable selon les espèces : E. pauciflora par exemple, qui pousse dans les

montagnes australiennes, résiste à -20°C . D'autres comme *E. coccifera*, *E. subcrenulata*, *E. gunnii* ont donnés des formes résistantes au froid, ce qui a permis leur plantation ailleurs dans le monde.

Le niveau de résistance au froid va dépendre aussi de la provenance du jeune arbre, de la durée du froid, de l'âge et de l'état général de l'arbre, des caractéristiques du sol. Après 2 à 3 ans d'implantation, l'eucalyptus résiste mieux au gel, notamment par sa capacité de rejet du pied en cas de gel violent.

- Hauteur : La croissance est en général rapide, et la taille adulte est très variable selon l'espèce. On trouve des arbustes souvent ramifiés en plusieurs troncs à partir du sol, que les australiens appellent malles quand ils ont moins de 10 mètres, jusqu'aux arbres parmi les plus hauts du monde, à tronc unique très droit, qui peuvent dépasser les 90 mètres de hauteur.

On note une absence de dormance des bourgeons, l'arbre continue sa croissance tant que les conditions sont favorables. En cas de risque de gels, il n'est donc pas conseillé de tailler les eucalyptus trop tôt en hiver, car les jeunes pousses qui vont se reformer très rapidement sont plus sensibles au froid, surtout s'il est tardif.

On peut retenir la classification suivante par rapport à la taille adulte :

- petits eucalyptus si moins de 10 mètres,
- moyens eucalyptus entre 10 et 30 mètres,
- grands eucalyptus entre 30 et 60 mètres,
- très grands eucalyptus de plus de 60 mètres (espèces les plus grandes : *obliqua*, *delegatensis*, *diversicolor*, *nitens*, *globulus* et *viminalis*).

- Feuillage : Les eucalyptus ont en majorité des feuilles persistantes, couvertes de glandes à huile, dont le parfum caractéristique se répand après une pluie. Beaucoup d'espèces ont un feuillage aromatique avec des parfums différents : fruité, menthe poivrée, épicé, menthol et le classique « eucalyptus ».

La plupart des espèces ont la particularité d'avoir deux formes de feuilles selon leur âge : sur l'arbre jeune elles sont ovales, glauques à bleutées et opposées sur la tige, puis elles deviennent alternes, allongées, plutôt vertes sur l'arbre adulte_[1].



Figure 4: un exemple d'Eucalyptus de feuillage jeune.



Figure 5: Jeunes feuilles arrondies opposées bleu gris.



Figure 6: un exemple d'Eucalyptus de feuilles adultes lancéolées vert glauque.

C'est le jeune feuillage, très décoratif, qui est utilisé en floriculture pour les bouquets. On peut maintenir ce feuillage jeune en taillant l'arbre tous les ans, soit au ras du sol, soit en laissant un tronc de faible hauteur, de façon à provoquer sans cesse la formation de nouvelles branches qui conservent ce caractère génétique juvénile des feuilles.

Certaines espèces gardent toute leur vie les mêmes feuilles, d'autres gardent longtemps les feuilles juvéniles.

Autre caractéristique des feuilles d'eucalyptus : elles sont souvent positionnées à la verticale par rapport aux rayons du soleil. Cela semble être une adaptation pour permettre la photosynthèse sur les deux faces, et pour limiter l'évapotranspiration.

Il semble que l'accumulation de feuilles mortes au pied des arbres soit toxique à toute autre forme de végétation, mais cela serait aussi le résultat d'un assèchement de la surface du sol autour de ces grands arbres gros consommateurs d'eau.

- **Floraison** : Les fleurs, nombreuses, sont très particulières, car elles n'ont pas de pétale, mais de grandes étamines qui donnent cet aspect si particulier. D'abord enfermées sous un opercule, les étamines doivent le soulever pour s'épanouir. La couleur est variable : blanc, crème, jaune, rose, rouge. La taille des fleurs

varie également selon l'espèce. La pollinisation est assurée par les insectes attirés par le nectar, c'est une source importante pour la fabrication du miel en Australie.

La floraison peut survenir à différentes périodes de l'année, selon le climat. Sur la Côte d'Azur, les premières fleurs apparaissent en plein hiver. Les fruits sont en forme de cône, sec, brun, muni de valves qui se soulèvent pour laisser échapper les graines petites et nombreuses [1].



Figure 7: une fleur fermée par un opercule avant éclosion



Figure 8: un exemple d' Eucalyptus de fleur blanche.



Figure 9: une fleur rouge d'Eucalyptus. Figure 10: une fleur jaune d'Eucalyptus.

- Exposition : Plein soleil en donnant un espace suffisamment grand pour assurer le plein développement de l'arbre. Certaines espèces supportent une situation plus ombragée.

- Plantation/Sol/Rempotage : L'eucalyptus est une essence très plastique, dans le sens où elle peut s'adapter à la sécheresse et à différents types de sol. Par contre elle supporte mal la présence de calcaire actif dans le sol, qui entraîne une chlorose des feuilles, et les sols hydromorphes, c'est-à-dire saturés régulièrement d'eau.

Les eucalyptus ont des capacités de survie et de croissance exceptionnelles, ce qui leur permet de coloniser des terrains nus dévastés par les feux, les inondations, l'activité volcanique, grâce notamment aux graines petites et nombreuses.

La plupart des eucalyptus possèdent également des organes de sauvegarde souterrains appelés lignotubers, qui sont des renflements visibles à la base du collet racinaire. Ces formations contiennent des réserves glucidiques, qui permettent la régénération de l'arbre en cas de feu ou de gel par exemple, et elles permettent à l'arbre de mieux résister au sec.

A la plantation, un apport de 50 grammes par pied de phosphore est recommandé pour favoriser la bonne reprise de l'arbre.

- Arrosage/Engrais : Il faut donner un minimum d'eau les premières années après la plantation, mais ensuite les eucalyptus résistent très bien à la sécheresse. Pour l'engrais, un apport de fer peut être nécessaire si le feuillage jaunit à cause d'un excès de calcaire dans le sol^[1].

2) Eucalyptus au Maroc

Les plantations clonales d'eucalyptus ont connu, depuis près de 20 ans, un développement important au Maroc. Si ces plantations à forte productivité ont un objectif principal économique et contribuent à la fourniture de bois et produits ligneux, elles procurent également plusieurs biens et services communs, sociaux et environnementaux.

L'histoire des Eucalyptus au Maroc s'écrit depuis le début du XXe siècle puisque les premières introductions ont été réalisées par M. Ménager, agriculteur à Sidi Yahia du Gharb, dans l'arboretum toujours en place. Très rapidement, les plantations se sont développées et se sont diversifiées, tant en nombre d'espèces qu'en terme de zones de plantations^[2].

On distingue plusieurs phases dans l'expansion des plantations d'eucalyptus au Maroc, alternant innovations (culture, génétique, technologie) et gestion de l'existant :

- de l'origine à 1956 : premières introductions, acclimatation, connaissance de l'écologie
- 1956 à 1975 : appropriation par l'Administration des Eaux et Forêts et développement des plantations à grande échelle
- 1975 à 1987 : gestion des plantations existantes
- 1987 à 1993 : amélioration génétique et sélection clonale
- 1993 à 2007 : développement et gestion des plantations clonales

– 2007 à ce jour : certification des plantations industrielles, nouveaux projets d'extension de plantations clonales privées.

Cette évolution accompagne en fait une évolution et une diversification de la demande nationale, publique et privée, en produits ligneux. L'approvisionnement en bois de l'usine de pâte à papier de la Cellulose du Maroc a été longtemps le seul moteur du développement des plantations, d'autant que la capacité de l'usine a augmenté régulièrement pour arriver aujourd'hui à un besoin annuel d'environ 400 000 tonnes de bois. Parallèlement à cette demande, l'arrivée sur le marché de bois d'eucalyptus a permis le développement de plusieurs filières désormais incontournables telles que les bois de service (poteaux, perches, piquets...) et le bois énergie. Par ailleurs, de nombreuses espèces, adaptées à des conditions de sécheresse plus ou moins fortes, ont servi à réaliser des plantations le long des routes, des barrages, des cours d'eau, des sites périurbains, des dunes côtières, etc. Ces plantations ont souvent privilégié des objectifs de protection, de conservation des sols ou de barrages verts, avec des résultats variables, mais souvent positifs et durables. Presque toutes ces plantations, sauf celles mises en défens, fournissent également du bois et des produits ligneux pour la consommation des populations riveraines^[2].

A l'heure actuelle, la superficie totale plantée en *Eucalyptus* sp. est légèrement supérieure à 200 000 ha, la moitié étant constituée des deux espèces pures *Eucalyptus camaldulensis* et *Eucalyptus grandis* ainsi que des clones hybrides *E. camaldulensis* x *E. grandis*. Ces surfaces font partie intégrante des forêts marocaines, couvrant 8% du territoire national. Les plantations forestières en général, et en *Eucalyptus* sp. en particulier, ont longtemps été une activité essentiellement, réalisée par les pouvoirs publics. Cette situation a largement évolué ces dernières années. Le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HEFLCD) a mis en place un vaste programme de plantations forestières (30 000 ha par an en moyenne), mais a tendance à diminuer les surfaces des plantations d'*Eucalyptus* sur le domaine de l'Etat et des collectivités (près de 25 000 ha ont été récemment convertis en d'autres essences forestières) afin de se conformer aux instructions ministérielles en matière de gestion durable des espaces et écosystèmes naturels et boisés.

Par contre, une filière privée essentiellement axée sur la production ligneuse intensive se développe rapidement. Elle valorise ainsi les acquis des travaux d'amélioration génétique et de sylviculture des clones mise au point^[2].

3) *Eucalyptus* dans le monde

Les eucalyptus sont originaires d'Australie, ils sont donc indigènes au continent australien, où ils dominent d'ailleurs 95 % des forêts. De plus de six cents espèces recensées dans les années 60, plus de 800 espèces sont reconnues de nos jours. Les eucalyptus possèdent toute une gamme de mécanismes d'adaptation et ont une croissance rapide, ce qui leur permet d'être présents dans de nombreux environnements notamment dans le Kentucky.

Certaines espèces, notamment *E. globulus*, ont été introduites en Europe, où elles se sont très bien acclimatées sur les rivages méditerranéens, ainsi qu'au Portugal, où d'immenses forêts d'eucalyptus ont été plantées pour la production de pâte à papier. Ces espèces ont également été

plantées en Afrique du Nord, notamment au Maroc, en Algérie, en Tunisie et en Libye. On les rencontre aussi dans les îles de Madagascar, de Mayotte, de Malte et de La Réunion, au Sri Lanka, en Afrique du Sud, sur les pentes du mont Elgon en Ouganda, en Californie, en Argentine, au Brésil, au Chili, en Équateur et au Pérou^[3].

Le total des plantations d'eucalyptus dans le Monde Méditerranéen est de l'ordre de 540.000 ha et il s'accroît d'environ 30.000 à 40.000 ha par an. Une source d'erreur provient des plantations dites d'alignement et de leur conversion en surface équivalente. En outre, les prévisions pour les prochaines années sont, par nature, aléatoires.

Les pays où les plantations d'eucalyptus ont été les plus dynamiques sont : le Portugal, l'Espagne, le Maroc, l'Italie, la Tunisie et l'Algérie ; mais pour l'avenir la tendance varie. Dans le groupe européen, malgré leur importance absolue, les plantations d'eucalyptus ne constituent qu'une partie relativement modeste des plantations forestières globales (de 1 à 6 %) sauf peut-être pour le Portugal. Mais, dans les prévisions pour les prochaines années, cette proportion a tendance à augmenter.^[4]

- En 1956, la superficie totale des eucalyptus en Méditerranée était de l'ordre de 263.000 ha.
- En 1961, elle était estimée, à l'issue de la deuxième conférence mondiale des Eucalyptus à SAO-PAULO, à 400.000 ha.

Et si l'on admet les chiffres projetés par les pays intéressés, le rythme annuel des plantations se maintient aux environs de 30.000 à 40 000 ha par an, avec une légère tendance générale à l'augmentation. Ainsi, l'ensemble des eucalyptus méditerranéens constitue une partie non négligeable du stock mondial de cette essence forestière, qui était estimé en 1961, lors de la Conférence de Sao Paulo, à environ 44 millions d'ha en Australie (1), et 1,6 million d'ha de plantations dans le reste du monde^[4].

LOCALISATION DES PRINCIPALES PLANTATIONS

Dans la Péninsule Ibérique :

L'ensemble des plantations d'E. globulus des régions littorales portugaises occidentales, notamment au centre du pays et dans les vallées du Tage et du Sado elles aussi fortement imprégnées, même pendant l'été, de l'humidité atlantique et qui alimentent une industrie de la cellulose actuellement en pleine expansion.

En France :

Les plantations d'E. globulus, E. camaldulensis, E. viminalis, de la plaine littorale orientale de la Corse, au sud de Bastia, ainsi que des plantations expérimentales, notamment d'E. gunnii et d'E. dalrympleana en Provence et dans les Pyrénées orientales.

En Italie :

-L'ensemble des rideaux-abris forestiers de Sardaigne et du Latium où domine E. trabuti.

- Les ensembles complémentaires de Manfredonia et de Metaponto où *E. camaldulensis* n'a donné de résultats satisfaisants que sur terrains pas trop infertiles.

- Quelques ensembles en Calabre, notamment des plantations de protection de bassins versants sur la côte orientale avec diverses espèces d'eucalyptus, notamment : *E. gomphocephala*, *E. occidentalis*, *E. trabuti*, *E. camaldulensis*.

En Afrique du Nord :

-L'ensemble des plantations d'*E. camaldulensis*, du Rharb et de la Mamora centrés autour de l'usine de Sidi Yahia du Rharb (Maroc).

-Des plantations plus ou moins dispersées dans les plaines et basses collines du Maroc, de l'Algérie, et de la Tunisie, et comprenant, sous un éventail de climats meso ou thermo-méditerranéens et selon la nature des terrains, de nombreuses espèces dont les plus notoires sont *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*, *E. occidentalis*, ainsi qu'un groupe d'espèces xérophiles.

En Grèce :

Ça et là plantations expérimentales, principalement *E. camaldulensis*.

En Turquie :

En dehors de quelques plantations linéaires le long des routes, le principal massif d'eucalyptus est à Karabucak, dans la plaine d'Adana Tarsus, sous climat meso-méditerranéen plus ou moins accentué (*E. camaldulensis*).

En Israël :

En dehors de très nombreuses et variées plantations le long des axes de circulation, ce sont essentiellement les *E. camaldulensis* et les *E. occidentalis* qui constituent les principaux massifs forestiers d'eucalyptus; les premiers, notamment dans la plaine littorale de Jaffa, les seconds sont principalement plantés dans les plaines intérieures notamment dans le Negev du nord ; des *E. gomphocephala* étaient antérieurement complantés conjointement avec les deux précédentes espèces, mais on n'en plante plus maintenant^[4].

II. Importance économique des eucalyptus et ses dérivés

La capacité des plantations d'eucalyptus de fournir des produits de bonne qualité est très grande. Dans plusieurs pays où l'eucalyptus est planté, l'attention se tourne de plus en plus vers l'utilisation de jeunes plants d'eucalyptus dans l'industrie du bois. Ces jeunes plants sont essentiellement utilisés dans l'industrie de la pâte à papier. Au Brésil à peu près 80% des plantations d'eucalyptus sont destinées aux industries de pulpe. Les eucalyptus sont aussi utilisés dans l'industrie des produits de reconstitution du bois. En Australie, cette utilisation est principalement concentrée dans les industries de panneaux de particule et contre plaqués. Autre utilisation comprend les traverses de rail et clôture^[5].

En 1974 il y avait dans le monde près de 4 millions d'ha de plantations d'eucalyptus, produisant annuellement une moyenne de quelque 60 millions de m³ de bois. Il s'agit en majorité de petits bois, d'une grande importance économique pour les pays intéressés et représentant pour eux un investissement considérable.

Les produits fournis par les plantations d'eucalyptus se répartissent en gros comme suit: bois de feu et bois de trituration, 85 pour cent; perches et bois ronds de qualité, 10 pour cent; bois de sciage, 5 pour cent.

Les forêts d'eucalyptus exploitées à courte révolution fournissent en majorité du bois de feu, produit qui a la valeur marchande la plus faible par unité de volume, mais qui a peut-être la plus grande utilité sociale pour les communautés concernées.

La meilleure possibilité qui s'offre pour les pays et pour les propriétaires forestiers d'accroître la valeur des petits bois produits par les plantations d'eucalyptus est de les convertir en papier, qui est de tous les dérivés du bois celui qui a la valeur unitaire la plus élevée. Toutefois, les contraintes résultant de la taille minimale d'une usine économiquement viable impliquent que ce sont les pays qui ont de grandes superficies de reboisements d'eucalyptus, tels que le Brésil, l'Inde, l'Afrique du Sud, l'Espagne et le Portugal, qui auront le plus de chances de pouvoir mettre à profit cette possibilité. Dans les pays ayant des programmes de reboisement plus modestes, mais d'importance non négligeable, la meilleure voie pour accroître la valeur unitaire de la matière première produite par les plantations d'eucalyptus consiste à investir davantage en vue de mieux valoriser les 15 pour cent de bois pouvant donner des bois ronds et des sciages de valeur.

Il serait par ailleurs d'un grand intérêt que l'on parvienne à construire des usines de pâte et papier rentables de plus petite taille.

Certains pays africains utilisent d'ores et déjà leurs bois d'eucalyptus pour un grand nombre d'emplois, accroissant ainsi considérablement la valeur ajoutée [6].

Utilisation du bois comme source d'énergie :

Au cours des 25 dernières années, le monde a connu des changements qui ont parfois bouclé un cycle complet en ce qui concerne l'attitude vis-à-vis du bois en tant que combustible. Son emploi a suscité l'hostilité de groupes écologistes dans les communautés urbaines parce qu'il fait de la fumée qui pollue l'atmosphère. Dans plusieurs pays on a pris des mesures législatives contre la pollution de l'air, qui ont souvent été utiles, mais les populations pauvres manquant de moyens pour se chauffer et faire cuire leur nourriture ont tendance à les ignorer, et peu de gouvernements entreprendraient de les leur faire respecter. On a cherché à remplacer le combustible ligneux par l'électricité ou les produits pétroliers. Ces derniers offraient de belles perspectives dans les années soixante, étant pratiques d'emploi, efficaces, faciles transporter et bon marché. Mais les prix du pétrole ayant changé du jour au lendemain, le bois redevint intéressant en maints endroits. Les plantations d'eucalyptus et d'autres ressources forestières peuvent satisfaire une grande partie des besoins en combustibles domestiques sous les moyennes et basses latitudes, grâce à l'effort des populations concernées elles-mêmes. Il est curieux de constater que c'est souvent dans les régions

pauvres de pays producteurs de pétrole que les besoins de combustibles ligneux sont les plus grands [6].

La crise pétrolière de 1973 a suscité de nombreuses études sur les énergies de remplacement. Les possibilités de plantations d'eucalyptus pour la production de combustible y sont étudiées parmi d'autres sources possibles d'énergie, et on arrive à la conclusion qu'il existe des possibilités réelles de production d'électricité ou d'autres formes d'énergie domestiquée à partir du bois d'eucalyptus, dans les régions exemptes de gelées et convenant à leur culture. Les cats estimés & talent plus élevés que ceux des centrales thermiques actuelles fonctionnant au charbon, mais plus bas que ceux envisagés pour l'énergie produite dans des centrales nucléaires [6].

III. Technique d'extraction des huiles eucalyptus

Il existe plusieurs méthodes d'extraction des huiles essentielles. 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. Les principales méthodes d'extraction sont :

- Entraînement à la vapeur d'eau
- Hydrodistillation
- Extraction par solvants
- L'hydrodiffusion
- La distillation à vapeur saturée
- Extraction par les corps gras
- Extraction par micro- ondes

1) Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles. A la différence de l'hydrodistillation, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter.

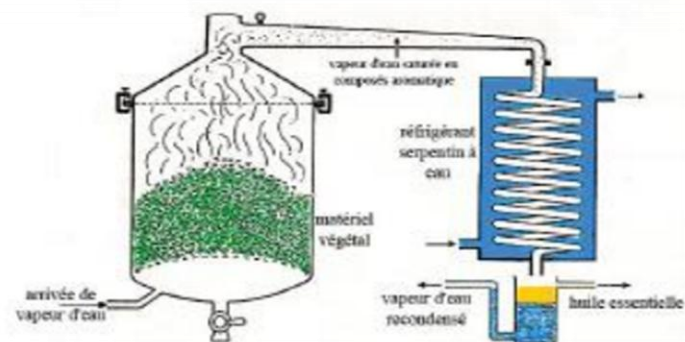


Figure 11: Entraînement à la vapeur d'eau

La vapeur d'eau fournie par une chaudière traverse la matière végétale située au-dessus d'une grille. Durant le passage de la vapeur à travers le matériel, les cellules éclatent et libèrent l'huile essentielle qui est vaporisée sous l'action de la chaleur pour former un mélange « eau + huile essentielle ». Le mélange est ensuite véhiculé vers le condenseur et l'essencier avant d'être séparé en une phase aqueuse et une phase organique^[7].

2) Hydrodistillation et ses variantes

L'hydrodistillation proprement dite, est la méthode normée pour l'extraction d'une huile essentielle, ainsi que pour le contrôle de qualité. Le principe de l'hydrodistillation correspond à une distillation hétérogène. Le procédé consiste à immerger la matière première végétale dans un bain d'eau. L'ensemble est ensuite porté à ébullition généralement à pression atmosphérique.

La chaleur permet l'éclatement et la libération des molécules odorantes contenues dans les cellules végétales. Ces molécules aromatiques forment avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique.

- La distillation peut s'effectuer avec ou sans recyclage (cohobage) de la phase aqueuse obtenue lors de la décantation.

- La durée d'une hydrodistillation peut considérablement varier, pouvant atteindre plusieurs heures selon le matériel utilisé et la matière végétale à traiter.

- Afin de traiter des matières premières pour lesquelles il est difficile d'extraire l'huile essentielle ou pour les essences difficilement entraînaibles, l'hydrodistillation à pression réduite représente une bonne alternative^[7].

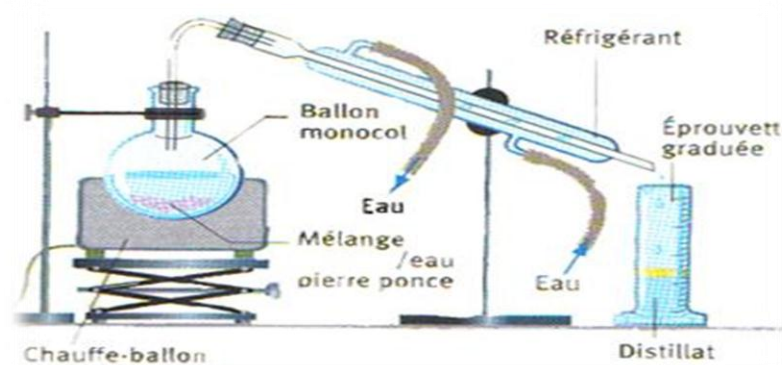


Figure 12: hydrodistillation

3) L'extraction par solvants

La technique d'extraction par solvant, consiste à placer dans un extracteur un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. Le produit ainsi obtenu est appelé « concrète ». Cette concrète pourra être par la suite brassée avec de l'alcool absolu, filtrée et glacée pour en extraire les cires végétales.

Après une dernière concentration, on obtient une « absolue ».

- Les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation.
- L'intervention de solvants organiques qui peut entraîner des risques d'artéfacts et des possibilités de contamination de l'échantillon par des impuretés parfois difficile à éliminer.
- Le choix du solvant : le méthanol, l'éthanol, l'éther de pétrole ou encore le dichlorométhane.
- Cette technique d'extraction a été récemment combinée aux micro-ondes et aux ultra-sons.

L'extraction par solvant organique volatil reste très pratiquée. Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone^[7].

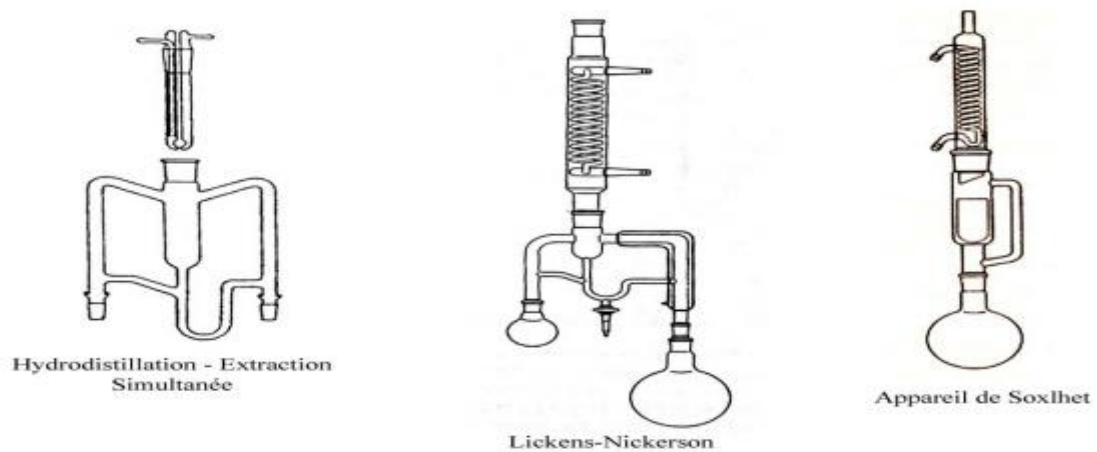


Figure 13: Les différents types d'extraction par solvants volatils

4) L'hydrodiffusion

Elle consiste à pulser de la vapeur d'eau à travers la masse végétale, du haut vers le bas. Ainsi le flux de vapeur traversant la biomasse végétale est descendant contrairement aux techniques classiques de distillation dont le flux de vapeur est ascendant. L'avantage de cette technique est traduit par l'amélioration qualitative et quantitative de l'huile récoltée, l'économie du temps, de vapeur et d'énergie^[8].

5) La distillation à vapeur saturée

Dans cette variante, la matière végétale n'est pas en contact avec l'eau. La vapeur d'eau est injectée au travers de la masse végétale disposée sur des plaques perforées. La distillation à vapeur saturée est la méthode la plus utilisée à l'heure actuelle dans l'industrie pour l'obtention des huiles essentielles à partir de plantes aromatiques ou médicinales. En général, elle est pratiquée à la pression atmosphérique ou à son voisinage et à 100°C, température d'ébullition d'eau. Son avantage est que les altérations de l'huile essentielle recueillie sont minimisées^[8].

6) Extraction par les corps gras

La méthode d'extraction par les corps gras est utilisée en fleurage dans le traitement des parties fragiles de plantes telles que les fleurs, qui sont très sensibles à l'action de la température. Elle met à profit la liposolubilité des composants odorants des végétaux dans les corps gras. Le principe consiste à mettre les fleurs en contact d'un corps gras pour le saturer en essence végétale. Le produit obtenu est une pommade florale qui est ensuite épuisée par un solvant qu'on élimine sous pression réduite. Dans cette technique, on peut distinguer l'enfleurage où la saturation se fait par diffusion à la température ambiante des arômes vers le corps gras et la digestion qui se pratique à chaud, par immersion des organes végétaux dans le corps gras^[8].

7) Extraction par micro-ondes

Le procédé d'extraction par micro-ondes appelée (Vacuum MicrowaveHydroDistillation) (VMHD) consiste à extraire l'huile essentielle à l'aide d'un rayonnement micro-ondes d'énergie constante et d'une séquence de mise sous vide. Seule l'eau de constitution de la matière végétale traitée entre dans le processus d'extraction des essences. Sous l'effet conjugué du chauffage sélectif des micro-ondes et de la pression réduite de façon séquentielle dans l'enceinte de l'extraction, l'eau de constitution de la matière végétale fraîche entre brutalement en ébullition. Le contenu des cellules est donc plus aisément transféré vers l'extérieur du tissu biologique, et l'essence est alors mise en œuvre par la condensation, le refroidissement des vapeurs et puis la décantation des condensats. Cette technique présente les avantages suivants: rapidité, économie du temps d'énergie et d'eau, extrait dépourvu de solvant résiduel^[8].

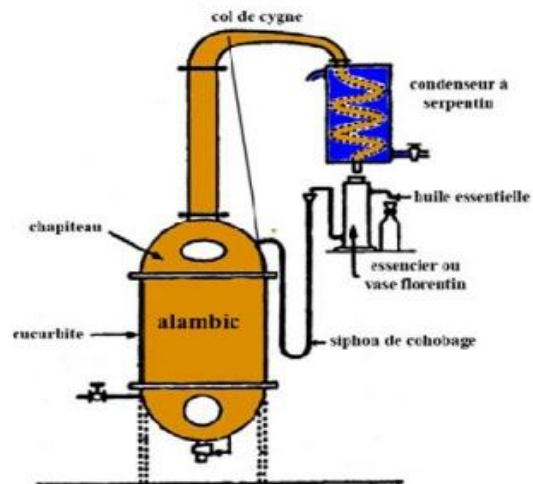
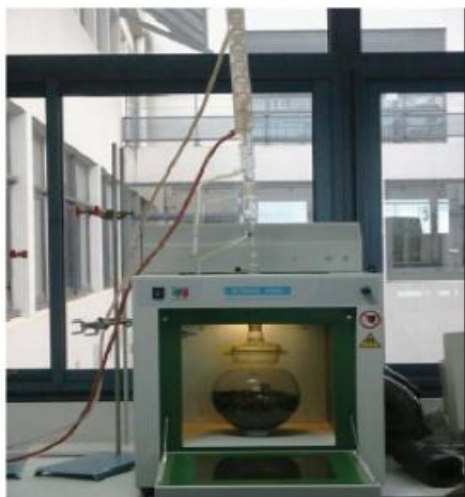


Figure 14: Extraction par micro- ondes +L'hydrodistillation traditionnelle.

IV. Utilisations

1) Utilisation thérapeutique

La partie utilisée de la plante est la feuille. Très odorante, elle est riche en huile essentielle dont le composant majeur est l'eucalyptol. L'eucalyptol possède les propriétés suivantes:

- Mucolytique: il agit comme fluidifiant des sécrétions pulmonaires et favorise leur évacuation.

- Antitussive: il supprime l'irritation des bronches dans les bronchites aiguës et chroniques.
- Antiseptique et antibactérienne.

L'huile essentielle étant éliminée en grande partie par voie pulmonaire, elle agit directement sur la gorge et les bronches. L'eucalyptus est donc indiqué pour soigner les infections et les inflammations de l'appareil respiratoire tel que le rhume, la bronchite aiguë ou chronique, la toux grasse et la sinusite. L'usage traditionnel de l'eucalyptus est reconnu par l'OMS. L'arbre est également enregistré dans la liste des plantes médicinales de la Pharmacopée française. Au Liban, l'huile essentielle d'Eucalyptus entre dans la composition de nombreux dentifrices, pastilles pour la gorge et vaporisateurs ou inhalateurs nasaux vendus dans les pharmacies.

La Tisane d'Eucalyptus:

- Laisser infuser pendant dix minutes dans une tasse d'eau bouillante 3 ou 4 feuilles d'eucalyptus. On peut consommer trois tasses par jour en cas de bronchite ou rhume.
- L'inhalation de 3 ou 4 gouttes d'huile essentielle d'eucalyptus, diluées dans un grand bol d'eau bouillante est très efficace en cas de rhume, bronchite ou sinusite.
- Diffusée dans l'atmosphère, l'huile essentielle aide également à prévenir les infections respiratoires et autres maux de l'hiver^[9].

Contre-indications de l'Eucalyptus:

L'eucalyptus est contre- indiqué chez la femme enceinte et allaitante. Il est également contre-indiqué chez les enfants de bas âge.

Précautions d'Emploi de l'Eucalyptus:

- L'huile essentielle d'eucalyptus nécessite quelques précautions. Elle ne doit pas être utilisée en usage interne, sans avis médical.
- On recommande généralement de ne pas appliquer d'huile essentielle d'eucalyptus sur le visage, surtout près des narines des enfants de moins de 6 ans, car elle peut déclencher un bronchospasme.
- Les personnes souffrant d'asthme doivent utiliser l'huile essentielle d'eucalyptus avec prudence en cas d'application sur le corps, surtout près des voies respiratoires.
- Utiliser avec prudence chez les diabétiques sous médication puisque, au cours d'essais sur des animaux, on a noté que l'eucalyptus pouvait avoir des effets hypoglycémiant^[9].

2) Utilisation dans la construction

Du point de vue de l'utilisation en bois d'œuvre et bois de service, les eucalyptus ont des caractéristiques dont les unes sont favorables, les autres défavorables.

Les meilleures espèces d'eucalyptus permettent d'obtenir en peuplements artificiels de grandes quantités de grumes de petite dimension bien droites, bien plus rapidement que la plupart des autres essences de reboisement. Des exemples remarquables sont, pour les régions à pluies d'hiver *E. regnans*, *E. diversicolor*, *E. delegatensis*, *E. nitens* et *E. cladocalyx*, et pour les régions pluies d'été *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. pilularis*, *E. paniculata*, *E. maculata* et *E. citriodora*.

Les perches de petit et gros diamètre de toutes les espèces mentionnées ci-dessus peuvent être traitées dans des cylindres A. haute pression avec des produits de préservation qui leur confèrent une grande durabilité. Elles fournissent alors des matériaux de construction répondant à des normes strictes et pouvant se faire une place honorable sur le marché.

Mais les eucalyptus présentent aussi, malheureusement, un certain nombre d'inconvénients qu'il faut connaître pour pouvoir y remédier dans une certaine mesure. Ce sont les contraintes de croissance, le retrait au séchage, le « collapse », la fibre torse et la présence d'amidon dans l'aubier^[6].

3) Utilisation dans la Pâte à papier

On s'est beaucoup intéressé dans le passé aux possibilités d'utilisation des eucalyptus pour la fabrication de pâte à papier. Dans ce domaine l'Australie a à son actif des entreprises industrielles remarquables, basées principalement sur les forêts spontanées. Les eucalyptus de plantation sont utilisés à l'heure 332 actuelle dans un certain nombre de pays, tels que le Brésil, le Portugal, l'Espagne, l'Afrique du Sud, comme matière première pour l'industrie de la pâte.

Bien que certains eucalyptus fournissent une pâte A, fibres courtes de très bonne qualité, d'autres espèces conviennent moins bien. En règle générale on peut dire qu'une caractéristique anatomique importante des fibres feuillues du point de vue de la fabrication de papier est l'épaisseur des parois. Les fibres A. parois épaisses, fréquentes dans les eucalyptus A. bois lourd, ne donnent généralement pas un papier résistant. Les fibres de fort diamètre et parois minces ont habituellement de bonnes qualités papetières, tandis que les fibres fines A. parois épaisses sont inférieures à cet égard.

La production mondiale de pâte d'eucalyptus est de plus d'un million de tonnes par an. Tous les types de pâtes A papier sont fabriqués : chimiques, chimico-mécaniques, semi-mécaniques et mécaniques. Sur ce tonnage global, environ les trois quarts sont produits par l'Australie et le Portugal^[6].

4) Utilisation en chimie

Presque toutes les espèces d'eucalyptus ont dans leurs feuilles des glandes sécrétant des huiles essentielles, qui donnent aux feuilles leur odeur caractéristique. Elles sont constituées de toute une gamme de substances, dont l'ensemble compose l'odeur particulière à chaque espèce, et dans lesquelles on peut distinguer un certain nombre de corps chimiques (pas forcément tous présents dans une même espèce), qui peuvent présenter un intérêt pour l'industrie. Les principales huiles essentielles et leurs propriétés sont indiquées ci-dessous :

- 1,8-Cinéole : employé en pharmacie et dans les produits détachants.
- Phellandrène: employé dans l'industrie comme solvant et dans la flottation des minerais; sa présence dans les essences destinées A. la pharmacie est proscrite par les pharmacopées.
- Terpinéol : utilisé en parfumerie (odeur de jacinthe).
- Eudesmol: fixatif pour parfums.
- Acétate d'eudesmyl: employé comme succédané de l'essence de bergamote; se mélange bien à l'essence de lavande.
- Pipéritone: matière première pour la fabrication du thymol et du menthol synthétiques.

Un autre produit chimique intéressant pouvant 'are extrait des feuilles et des écorces d'eucalyptus est la rutine ou rutoside, qui a des applications pharmaceutiques importantes. On l'emploie fréquemment en thérapeutique pour modifier la perméabilité des extrémités des capillaires sanguins et pour divers autres usages. La rutine est tirée des feuilles d'E. macrorhyncha et E. younanii, qui en contiennent respectivement 11 et 18 pour cent_[6].

5) Utilisation en médecine

L'utilisation de l'eucalyptus globulus en médecine a été peu à peu reconnue puis adoptée. Par exemple, l'organisation mondiale de la Santé a approuvé l'usage des feuilles (par voie interne) et de l'huile essentielle (par voie interne et externe) de cette plante, pour traiter l'inflammation des voies respiratoires. Nous allons donc nous intéresser à deux types de médecine, la phytothérapie et l'aromathérapie, puisqu'elles exploitent les nombreuses vertus de l'eucalyptus_[10].

5.1 En phytothérapie :

La phytothérapie est une médecine naturelle qui utilise les plantes afin de lutter contre les maladies. C'est l'une des méthodes thérapeutiques les plus anciennes. L'eucalyptus globulus est une des plantes communément utilisée. Plus précisément, ce sont les feuilles de ce végétal qui sont exploitées en phytothérapie. Néanmoins, les traitements peuvent se présenter sous différentes formes et être pris de différentes manières_[10].

En effet, on peut acheter des gélules en herboristerie ou en pharmacie; mais il est aussi possible de préparer ses traitements chez soi. Par exemple, l'infusion est très efficace pour soulager les voies respiratoires. Ainsi, il suffit de mettre 3 ou 4 feuilles dans une tasse d'eau, de faire bouillir le tout une minute et de laisser infuser pendant 10 minutes et filtrer. Il est conseillé de boire jusqu'à trois tasses par jour maximum. De même, l'inhalation qui est de grande utilité lors d'infections des voies respiratoires, est facile à exécuter. En effet, après avoir fait bouillir environ 50g de feuille dans un litre d'eau pendant 5 minutes, il suffit de placer sa tête sous une serviette et respirer les vapeurs pendant une quinzaine de minutes.

Il faut néanmoins faire attention à la posologie, c'est à dire aux doses et au rythme de prise des médicaments. Celle-ci diffère énormément selon les cas. En moyenne, les gélules sont à prendre au titre d'un matin, midi et soir avec un verre d'eau. Les infusions et inhalations sont limitées à une après chacun des trois repas. La durée du traitement doit dépendre de la maladie à traiter et du temps nécessaire à la disparition (ou nette amélioration) de celle-ci.

5.2 En aromathérapie :

L'aromathérapie est une médecine qui fait l'usage des extraits aromatiques de plantes (huiles essentielles). Les huiles essentielles peuvent être obtenues par différents procédés, dont la distillation. Ces substances odorantes et volatiles ont une composition très complexes, et peuvent être appliquées de différentes façons : en inhalation ou application cutanée par exemple.

Pour obtenir l'huile essentielle (HE) d'eucalyptus efficacement, on procède donc par distillation ou par chauffage à reflux. Cette expérience consiste à entraîner, par la vapeur d'eau, les principes volatils et de les condenser grâce à un réfrigérant à eau, pour recueillir le distillat recherché^[10].

partie experimentale

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les échantillons de feuilles des hybrides proviennent du dispositif expérimental de Mechraâ El Kettane, situé dans la Mamora occidentale du Gharb (Maroc) qui est une zone forestière semi-aride à variante fraîche avec sol limoneux-sablonneux.

Le dispositif est constitué de blocs aléatoires complets de parcelles linéaires de cinq plants avec six répétitions (Wright, 1963). Les plants des espèces parentales proviennent de vergers à hybridation du Centre d'Amélioration génétique des Plantes forestiers de Sidi Amira du Gharb (Maroc).

Trois arbres ont été choisis au hasard par parcelle. La biomasse foliaire, constituée essentiellement des feuilles adultes, a été récoltée entre les mois de mars et mai en 2013 sur des individus de même âge (23 ans).

Les croisements interspécifiques étudiés sont de la première génération (F3) :

E. camaldulensis () ´ E. globulusssp. globulus,

E. camaldulensis () ´ E. globulusssp. maideni,

E. camaldulensis () ´ E. diversicolor,

E. camaldulensis () ´ E. cladocalyx,

E. camaldulensis () ´ E. grandis

L'extraction des huiles essentielles a été effectuée par hydrodistillation à l'aide d'un système de "Clevenger" (Clevenger, 1928). Au cours de chaque essai, 200 à 250 g de matière végétale ont été traités. Pour chaque individu, trois à quatre essais ont été réalisés.

II. Technique d'analyse

Les analyses chromatographiques ont été effectuées sur un chromatographe en phase gazeuse Agilent HP6890, équipé d'une colonne capillaire HP-5 (30 m ´ 0,25 mm, épaisseur du film : 0,25 mm), d'un détecteur FID (température : 270°C) et d'un injecteur split – splitless (température : 250 °C). L'injection est de type split (rapport de fuite : 1/50, débit 66 ml/min). Le gaz vecteur utilisé est l'azote avec un débit de 1,7 ml/min. La température de la colonne est programmée de 50 à 250 °C à raison de 4 °C/min. L'injection est de 1 ml. Les huiles essentielles injectées sont en solution dans le méthanol (1/20 V/V).

L'identification des constituants a été réalisée en se basant sur leurs indices de Kováts (IK) et sur la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Les données ont été obtenues grâce à un chromatographe en phase gazeuse Agilent (série HP 6890) couplé à un spectromètre de masse HP 5973.

La fragmentation est effectuée par impact électronique (70 eV). La séparation est réalisée sur une colonne capillaire DB-1 (50 m ´ 0,25 mm, l'épaisseur du film : 0,25 mm). Le gaz vecteur est l'hélium dont le débit est fixé à 1,7 ml/min. La température de la colonne est programmée de 65 à 250 °C à raison de 2 °C/min. L'appareil est relié à un système informatique gérant une bibliothèque de spectres de masse NBS 75K. L et une base de données du laboratoire interrégional de Marseille (France), spécifique aux arômes.

III. Analyse des données (Réalisation d'une ACP)

L'Analyse en composantes principales est une méthode statistique exploratoire permettant une description essentiellement graphique de l'information contenue dans des grands tableaux de données. Dans la plupart des applications, il s'agit d'étudier p variables mesurées sur un ensemble de n individus. Lorsque n et p sont grands on cherche à synthétiser la masse d'informations sous une forme exploitable. Grâce aux outils de la statistique descriptive, il est possible d'étudier une à une ou deux à deux les variables à travers notamment des résumés graphiques ou numériques (moyenne, variance, corrélation). Mais ces études préalables simples, si elles sont indispensables dans toute étude statistique, sont insuffisantes ici car elles laissent de côté les liaisons éventuelles entre les variables qui sont souvent l'aspect le plus important.

L'ACP fait en réalité partie d'un ensemble de méthodes d'analyse de données, appelées méthodes multifactorielles. De façon générale, celles-ci ont pour but de résumer de la façon la plus fidèle possible un grand ensemble de données, c'est-à-dire d'observations différentes (les variables) pour chaque membre d'une importante population d'étude (les individus). Ce résumé engendre toujours une perte d'information, mais c'est au profit des informations les plus pertinentes et de la lisibilité, donc de la meilleure interprétation.

1) Objectif d'étude

Réaliser une analyse en composantes principales (ACP) sur des données collectées à partir d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse.

Cette étude est portée sur l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc.

2) Données

Au cours de cette partie de ce travail, les croisements étudiés sont à base d'*E. camaldulensis*, une des espèces les plus abondantes au Maroc. Au total, cinq hybrides artificiels et six espèces parentales ont été choisis :

E. camaldulensis x *E. globulus* sp. *maideni*

E. camaldulensis x *E. globulus* sp. *globulus*

E. camaldulensis x *E. diversicolor*

E. camaldulensis x *E. cladocalyx*

E. camaldulensis x *E. grandis*.

Ces croisements génétiques ont la particularité d'avoir comme espèce femelle invariante l'E. camaldulensis.

Tableau 1: la composition chimique des huiles essentielles

Composés		α-thujène	α-pinène	camphène	β-pinène	α-phéllandréne	p-cymène	1,8-cinéole	γ-terpinène	linalol
Espèces parentales	E. Ca	T	11,23	-	1,88	0,18	11,24	50,69	1	0,14
	E. Cl	0,2	23,05	0,12	6,3	1,9	16,3	13,7	0,3	0,7
	E. Gl	T	7,57	0,51	0,1	0,34	0,6	74,18	0,18	0,1
	E. Di	-	5,4	0,2	-	0,16	-	30	2,4	-
	E. Gr	0,17	14,64	2,56	0,12	0,23	23,2	20,43	3,2	0,65
	E. Ma	-	0,6	0,09	0,06	0,1	0,3	81	0,1	0,2
Croisements interspécifiques	E. Ca x E. Cl	0,17	21,26	0,14	0,6	0,16	13,47	45,27	0,09	0,08
	E. Ca x E. Gl	t	10,02	0,48	0,12	0,09	0,8	71	0,18	0,13
	E. Ca x E. Di	T	7,85	0,23	0,08	0,2	3,02	48,72	1,06	0,09
	E. Ca x E. Gr	0,12	14,11	0,06	0,13	0,33	22,57	47,69	3,06	0,16
	E. Ca x E. Ma	t	5,7	0,08	0,17	0,1	0,37	80,41	0,24	0,16

- ✓ IK: indices de Kováts
- ✓ E. Ca.: *E. camaldulensis*
- ✓ E. Cl.: *E. cladocalyx*
- ✓ E. Gl.: *E. globulus*ssp

➤ **L'étude sera effectuée par un logiciel approprié**

On va faire en premier lieu une ACP seulement sur la composition chimique des Espèces parentales et des Croisements interspécifiques

- On a 11 individus et 27 variables physico-chimiques
 α-thujène ; α-pinène ; camphène ; β-pinène ; α-phéllandréne ; p-cymène ; 1,8-cinéole ; γ-terpinène ; linalol ; fenchol ; trans-pinocarvéol ; isopulégol ; pinocarvone ; Bornéol ; terpinen-4-ol ; p-cymen-8-ol ; α-terpinéol ; Myrténal ; Myrténol ; trans-carvéol ; Nérol ; cis-carvéol ; Carvone ; pipéritone ; Géraniol ; Carvacrol ; acétate d'α-terpinyl.

3) Etude de rendement

On calcule le rendement moyen pour s'avoir les échantillons qui ont le rendement le plus élevé :

Tableau 2 : le rendement moyen

Echantillons	Rdt1 (%)	Rdt2 (%)	Rdt3 (%)	Rdtmoy
<i>E. camaldulensis</i>	0,86	0,88	0,8	0,85
<i>E. globulus</i> ssp. <i>Maideni</i>	3,54	3,34	3,37	3,42
<i>E. globulus</i> ssp. <i>Globulus</i>	2,49	2,57	2,47	2,51
<i>E. diversicolor</i>	1,71	1,66	1,54	1,64
<i>E. grandis</i>	0,42	0,39	0,46	0,42
<i>E. cladocalyx</i>	0,34	0,28	0,29	0,30
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. globulus</i> ssp. <i>Maideni</i>	2,39	3,57	2,91	2,96
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. globulus</i> Globulus	1,01	0,98	0,94	0,98
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. diversicolor</i>	1,29	1,14	1,83	1,42
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. cladocalyx</i>	0,79	0,87	0,82	0,83
<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>	1,54	1,5	1,47	1,50

Interprétations :

D'après ces résultats on peut dire que les espèces *E. globulus*ssp. *Maideni*, *E. globulus*ssp. *Globulus* et *E. camaldulensis* x *E. globulus*ssp. *Maideni* donnent des rendements en huiles essentielles des eucalyptus élevés.

4) ACP sur la composition chimique

Tableau 3 : La matrice de corrélation :

	a-thujène	a-pinène	camphène	b-pinène	a-phéll...	p-cymène	1,8-cin...	g-terpi...	linalol	fenchol	trans-p...	isopulégol	pinocar...
a-thujène	1.000	0.936	0.360	0.548	0.593	0.827	-0.648	0.165	0.706	0.451	0.793	0.258	-0.274
a-pinène	0.936	1.000	0.136	0.630	0.616	0.744	-0.670	6.690e-02	0.531	0.215	0.610	0.186	-0.138
camphène	0.360	0.136	1.000	-0.187	-9.643e-02	0.421	-0.365	0.507	0.562	0.947	0.646	0.476	-0.241
b-pinène	0.548	0.630	-0.187	1.000	0.942	0.333	-0.529	-0.238	0.642	-0.123	0.303	-0.193	-9.069e-02
a-phéllandrène	0.593	0.616	-9.643e-02	0.942	1.000	0.354	-0.561	-0.133	0.693	-6.074e-02	0.313	-0.228	-0.251
p-cymène	0.827	0.744	0.421	0.333	0.354	1.000	-0.663	0.575	0.612	0.624	0.661	0.659	-9.383e-02
1,8-cinéole	-0.648	-0.670	-0.365	-0.529	-0.561	-0.663	1.000	-0.546	-0.589	-0.440	-0.548	-0.144	0.444
g-terpinène	0.165	6.690e-02	0.507	-0.238	-0.133	0.575	-0.546	1.000	0.188	0.644	0.176	0.626	-0.128
linalol	0.706	0.531	0.562	0.642	0.693	0.612	-0.589	0.188	1.000	0.626	0.763	0.229	-0.310
fenchol	0.451	0.215	0.947	-0.123	-6.074e-02	0.624	-0.440	0.644	0.626	1.000	0.707	0.641	-0.193
trans-pinocarvéol	0.793	0.610	0.646	0.303	0.313	0.661	-0.548	0.176	0.763	0.707	1.000	0.216	-0.490
isopulégol	0.258	0.186	0.476	-0.193	-0.228	0.659	-0.144	0.626	0.229	0.641	0.216	1.000	0.460
pinocarvone	-0.274	-0.138	-0.241	-9.069e-02	-0.251	-9.383e-02	0.444	-0.128	-0.310	-0.193	-0.490	0.460	1.000
bornéol	0.358	5.260e-02	0.849	-0.101	-3.081e-02	0.492	-0.219	0.461	0.671	0.914	0.670	0.511	-0.233
terpinen-4-ol	7.857e-02	0.298	-0.184	0.283	-3.968e-03	0.140	-2.384e-02	-0.227	-5.166e-02	-0.118	-1.849e-02	0.336	0.664

D'après ce tableau on remarque qu'il y a plusieurs corrélation entre les composés chimiques on peut citer :

- ✓ α-thujène et α-pinène.
- ✓ α-thujène et p-cymène.
- ✓ Camphène et fenchol.
- ✓ α-phéllandrène et β-pinène.
- ✓

Aussi on remarque que le composé 1,8-cinéole est corrélé négativement avec la plupart des autres composés chimiques.

On peut dire que l'amélioration de la teneur en 1,8-cinéole est réalisée au dépend des autres composés majoritaires.

D'après cette figure on va choisir 2 CP :

-La variabilité expliquée par 2 composantes 95,598 % de la variabilité totale.

	ExpXCal...	ExpXVal...
PC_00	0.000	0.000
PC_01	86.982	79.149
PC_02	95.598	86.796
PC_03	98.420	90.845
PC_04	99.133	90.603
PC_05	99.579	89.452
PC_06	99.814	90.436
PC_07	99.945	89.433
PC_08	99.982	83.785
PC_09	99.998	95.690
PC_10	100.000	m

Figure 15: Pourcentages de variabilités

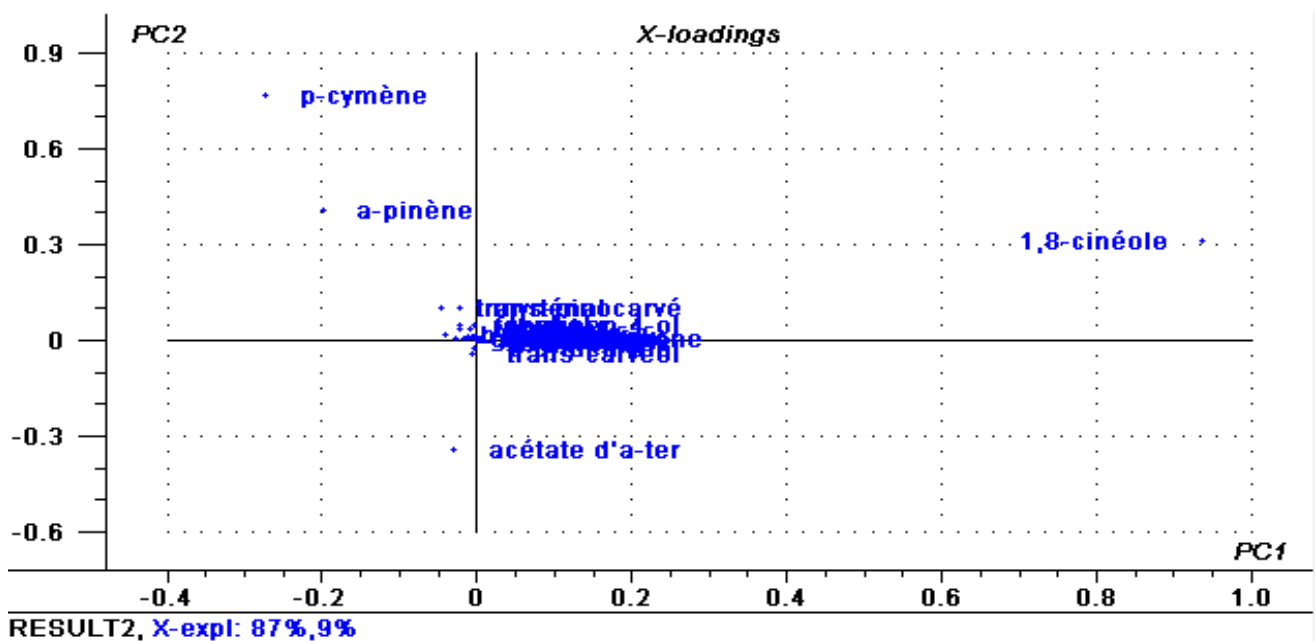


Figure 16: Représentation des variables (X-loadings) dans le plan principal (PC1, PC2)

Commentaire :

D'après le graphe 'X-loadings' :

On remarque que certains composés chimiques sont corrélés (positivement et négativement) par exemple :

Les huiles essentielles d'eucalyptus qui sont riche en 1,8-cinéole contiennent moins de α -pinène et p-cymène.

Ainsi que les huiles essentielles d'eucalyptus qui sont riche en Bornéol, Fenchol, Myrténal et Camphène sont riches aussi en terpinen-4-ol, trans-pinocarvéol ,isopulégol et α -phéllandrène.

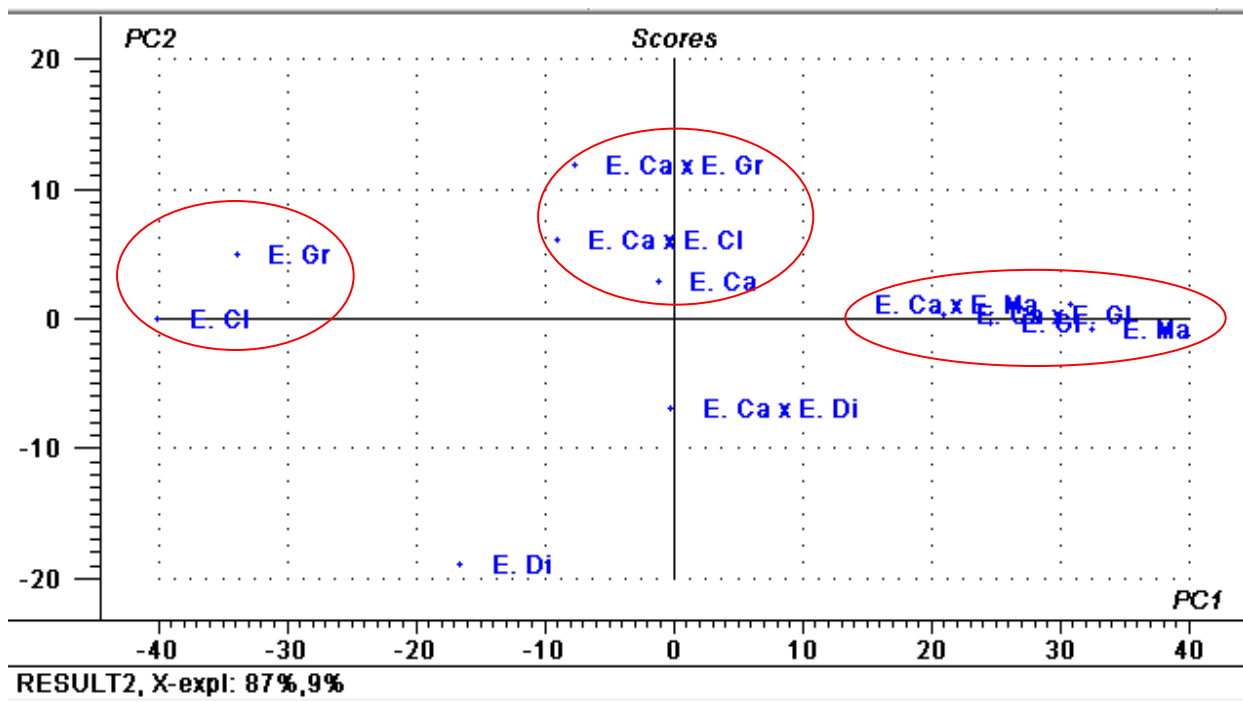


Figure 17: Représentation des individus (scores) sur le plan principal de l'ACP (PC1, PC2)

D'après le graphe 'Score' (individus) :

On constate que certains espèces ont une composition voisine tels que :

1. **Goupe 1** : *E grandis* et *E. cladocalyx*.
2. **Goupe 2** : *E. camaldulensis* x *E grandis*, *E. camaldulensis* x *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis*.
3. **Goupe 3** : *E. camaldulensis* x *E. globulus*ssp. *Globulus*, *E camaldulensis* x *E. globulus*ssp. *Maideni*, *E. globulus*ssp. *Maideni*, *E. globulus*ssp. *Globulus*.

Etant donné que les utilisateurs ont tendance à chercher les espèces riche en 1,8-cinéole avec une teneur qui dépasse les 70% (Norme ISO), le groupe trois répond parfaitement à ce critère.

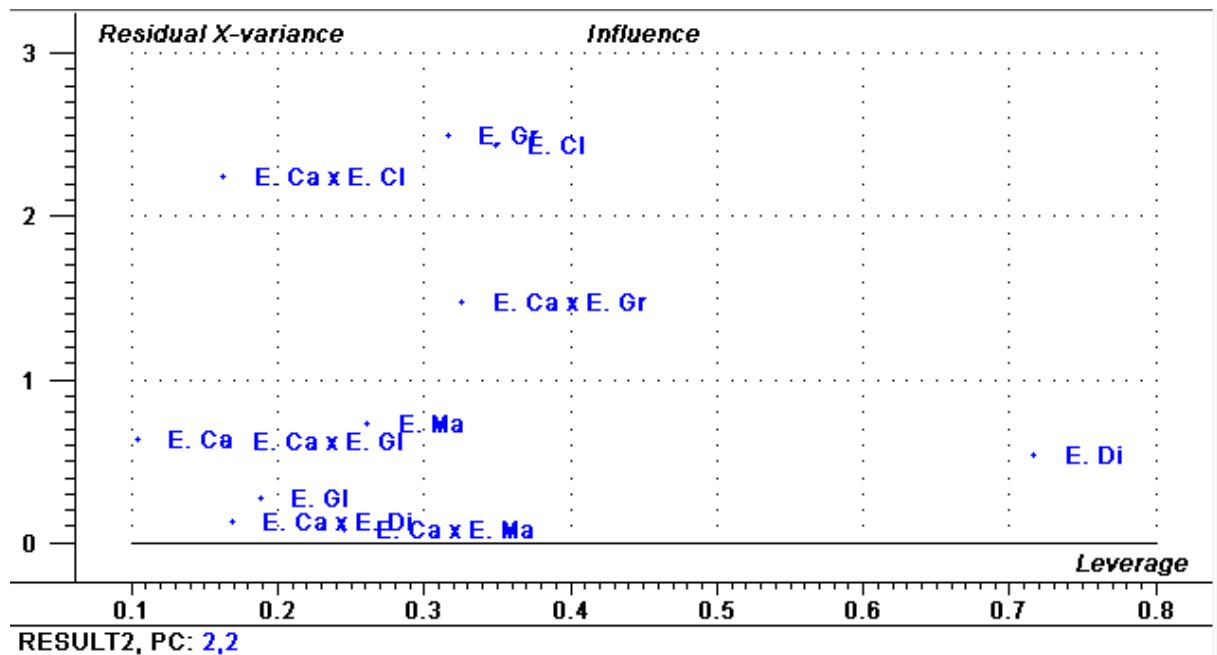


Figure 18: Graphe de la variance résiduelle des individus

D'après ce graphe on constate que :

- ✓ L'espèce *E. diversicolora* un levier important (contribue plus au modèle) et bien expliquée puisqu'elle a une variance résiduelle faible pour un modèle à 2CP.
- ✓ Les espèces *E. camaldulensis*, *E. globulussp. Globulus*, *E. globulussp. Maideni*, *E. camaldulensis x E. globulussp. Globulus*, *E. camaldulensis x E. globulussp. Maideni* et *E. camaldulensis x E. diversicolora* ont un levier relativement faible et une faible variance résiduelle (mieux expliqués par le modèle).
- ✓ Les espèces *E. grandis*, *E. cladocalyx*, *E. camaldulensis x E. cladocalyx* et *E. camaldulensis x E. grandis* ont une variance résiduelle importante (mal expliquées par le modèle) mais leurs leviers est faible ; donc on ne peut pas les considérer comme atypiques.

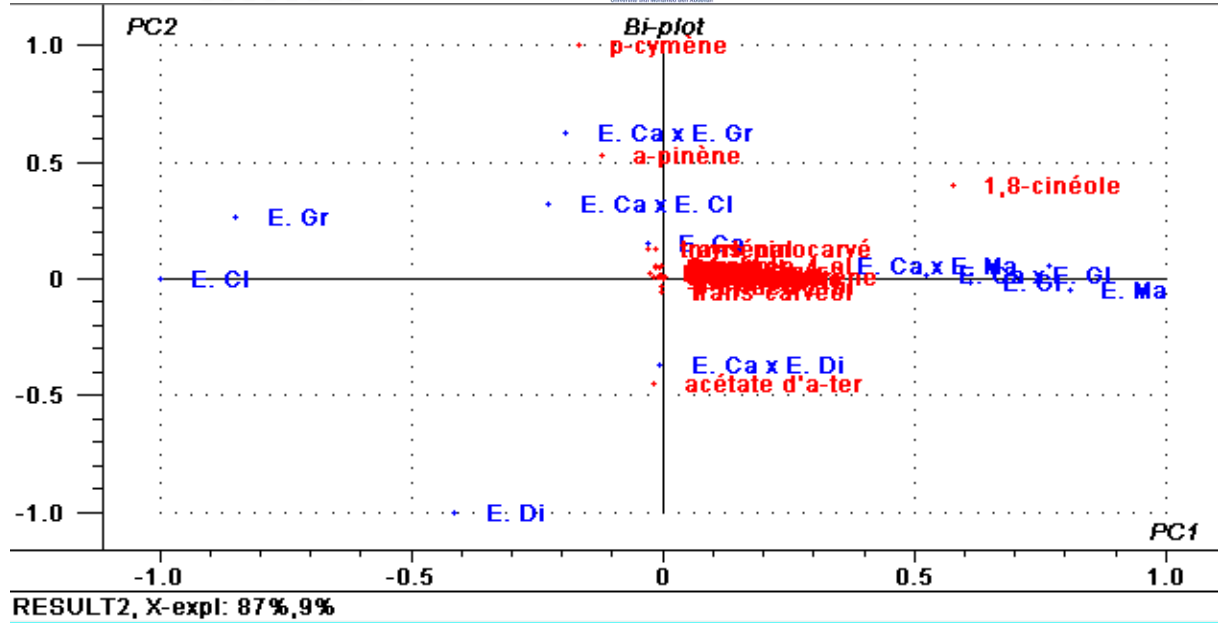


Figure 19: Graphe de la projection des variables sur le graphe des individus

On peut conclure d'après ce graphe que :

1. Les espèces E. camaldulensis x E grandis, E. camaldulensis x E. cladocalyx et E. camaldulensis contiennent α-pinène et p-cymène comme composés majoritaires.
2. Les espèces E. camaldulensis x E. globulusssp. Globulus, E. camaldulensis x E. globulusssp. Maidenii, E. globulusssp. Maidenii, E. globulusssp. Globulus se caractérisent par des huiles essentielles riches en 1,8-cinéole, commercialement connu sous le nom d'eucalyptol.

Conclusion

Après l'étude d'ACP qu'on a fait sur la composition chimique et l'étude du rendement on peut conclure que les échantillons étudiés peuvent être triés en trois groupes :

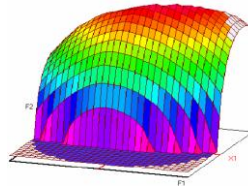
- **Groupe N°1** : *E. grandis* et *E. cladocalyx*.
- **Groupe N°2** : *E. camaldulensis* x *E. grandis*, *E. camaldulensis* x *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis*.
- **Groupe N°3** : *E. camaldulensis* x *E. globulus* sp. *Globulus*, *E. camaldulensis* x *E. globulus* sp. *Maideni*, *E. globulus* sp. *Maideni*, *E. globulus* sp. *Globulus*.

L'analyse de la composition chimique montre que les hybrides *E. camaldulensis* x *E. globulus* sp. *Globulus* et l'*E. camaldulensis* x *E. globulus* sp. *Maideni* fournissent des taux de 1,8-cinéole supérieurs à 70%. Cette amélioration provient de l'apport génétique des deux espèces parentales "mâles" aux hybrides correspondants. Comparativement à l'*E. camaldulensis*, les huiles essentielles des croisements *E. camaldulensis* x *E. grandis*, *E. camaldulensis* x *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis* x *E. diversicolor* montrent une légère diminution du pourcentage de 1,8-cinéole. Cependant, des augmentations des teneurs d'autres produits ont été enregistrées.

Les résultats obtenus sont d'une grande importance pour les utilisateurs des huiles essentielles des eucalyptus. Ces huiles sont utilisées dans différents domaines.

Référence

- 1) <http://www.vegetalis.fr/conseil-view/eucalyptus-generalites/>
- 2) <http://www.foret-mediterraneenne.org/fr/catalogue/id-1621-le-developpement-des-plantations-clonales-d-eucalyptus-au-maroc-une-dynamique-toujours-plus-actuelle>
- 3) <https://fr.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus>
- 4) http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/20363/RFF_1970_3_339.pdf?sequence=1
- 5) <http://www.beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-1981-SAW-IMP/IDR-1981-SAW-IMP.pdf>
- 6) <http://www.fao.org/docrep/018/ac459f/ac459f.pdf>
- 7) http://web.univ-usto.dz/faculte/fac-chimie/images/CHAPITRE_I_separation_et_analyses_des_biomolecules.pdf
- 8) <https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/KESBI-AMRANE.pdf>
- 9) http://www.syndicateofhospitals.org.lb/Content/uploads/SyndicateMagazinePdfs/6721_48-51eng.pdf
- 10) <https://eucalyptus-sante.webnode.fr/ii/>



Master ST CAC Ageq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom:BAID SALAH-EDDINE

Année Universitaire : 2017/2018

Titre: étude de l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc par ACP.

Résumé

Le rapide développement des plantations d'Eucalyptus dans le monde est dû au succès combiné de l'amélioration génétique. La présence d'hybrides interspécifiques spontanés révèle des possibilités d'hybridations contrôlées variées. L'objectif de mon sujet était d'étudier l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc en utilisant une analyse en composantes principales (ACP).

L'analyse de la composition chimique montre que les hybrides E. camaldulensis x E. globulusssp. globulus et l'E. camaldulensis x E. globulusssp. maïdeni fournissent des taux de 1,8-cinéole supérieurs à 70%. Cette amélioration provient de l'apport génétique des deux espèces parentales "mâles" aux hybrides correspondants. Comparativement à l'E. camaldulensis, les huiles essentielles des croisements E. camaldulensis x E. grandis, E. camaldulensis x E. cladocalyx et E. camaldulensis x E. diversicolor montrent une légère diminution du pourcentage de 1,8-cinéole. Cependant, des augmentations des teneurs d'autres produits ont été enregistrées.

Mots clés:ACP, huile essentielle, eucalyptus.