

Effet du séchage à l'air libre des feuilles d'*E. camaldulensis* sur le rendement et la composition de l'huile essentielle

Saadia ZRIRA¹✧, Bachir BENJILALI¹ & Gérard LAMATY²

(Reçu le 26/07/1995 ; Accepté le 27/10/1995)

مفعول التجفيف في الهواء الطلق لأوراق الأوكليببتوس كمالدولانسيس على مردودية و التركيب الكيميائي للزيوت و الطيارة

إن ترك أوراق الأوكليببتوس كما لدانسيس تجف في الهواء الطلق و في الظل يؤدي إلى الرفع من مردودية الزيوت الطيارة بحوالي ٥٤% (أعلى مردودية تحصل بعد ١٦ يوما من عملية التجفيف المذكورة). سحق الأوراق ميكانيكيا مباشرة قبل عملية استخلاص الزيوت الطيارة لا تؤثر في الظاهرة (ارتفاع مردودية الزيوت بفعل التجفيف) ، بينما التخزين في البرودة (18°C) و كذا التجفيف بعد معالجة المادة الأولية بحرارة ٧٠ لمدة ١٥ دقيقة أو بعد سلقها بماء ساخن (٩٠ درجة مئوية) لمدة دقيقتين، كل هذه العمليات، تؤدي إلى إلغاء الظاهرة هذه المعطيات تسمح بالإعتقاد بأن ارتفاع مردودية الزيوت الطيارة هي ذات أصل أنزيمي (Enzymatique).

الكلمات المفتاحية : الزيوت الطيارة - معالجة - أوراق - تجفيف - الهواء الطلق - مردودية - تركيب كيميائي

Effet du séchage à l'air libre des feuilles d'*E. camaldulensis* sur le rendement et la composition de l'huile essentielle

Au cours du stockage des feuilles d'*E. camaldulensis* à l'air libre, le rendement en huile essentielle augmente de 54% (maximum atteint le 16th jour). Le broyage ne semble pas avoir un effet sur le phénomène étudié. Par contre le stockage à froid, l'étuvage à 70°C et le blanchiment à 90°C l'inhibent. Donc, l'augmentation de la teneur en H.E., durant les deux premières semaines de séchage à l'air libre et à l'ombre, est d'origine enzymatique.

Mots clés: *E. camaldulensis* - Huile essentielle - Traitements - Feuilles - Séchage- Air libre - Rendement - Composition chimique

Effect of drying of *E. camaldulensis* leaves on the yield and the chemical composition of the essential oil

During the storage of *E. camaldulensis* leaves under shade, the essential oil yield increased by 54% (maximum reached the 16th day). The milling doesn't seem to affect the studied processus. In contrast cold storage, oven drying at 70°C and Bleaching at 90°C inhibit it. So, The increasing of the oil yield, during the first two weeks, is due to enzymatic activity:

Key words: *E. camaldulensis* - Essential oil - Leaves - Treatments - Storage - Shade - Yield - Chemical composition

¹ Département de Chimie-Biochimie Alimentaires. IAV Hassan II. B.P. 6202-Instituts, 10 101 Rabat, Maroc.

² Département de Chimie Organique Physique. U.S.T.L., Place Eugène Bataillon, 34 095 Montpellier Cedex 5, France

✧ Auteur correspondant

INTRODUCTION

En travaillant sur *Eucalyptus camaldulensis*, on a constaté que le séchage à l'ombre et à l'air libre, pendant 7 à 10 jours, permet d'améliorer le rendement en H.E. des feuilles sans en modifier la composition chimique (Zrira & Benjilali, 1991). La présente étude a été entreprise dans le but de trouver une explication à ce phénomène.

Deux hypothèses peuvent être émises :

- L'augmentation du rendement en H.E. serait due à un phénomène purement physique. Le séchage pourrait affaiblir les parois des glandes à huile, facilitant leur extraction et augmentant les rendements obtenus.
- L'amélioration du rendement en H.E. serait due à un phénomène enzymatique : la biosynthèse des H.E. continue après la récolte des feuilles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour vérifier les deux hypothèses émises, on a procédé aux expérimentations suivantes :

- Séchage progressif à l'ombre,
- Séchage à l'ombre puis broyage,
- Stockage à froid (-18°C),
- Étuvage à 70°C pendant 15 et 30 mn suivi d'un stockage à l'air libre,
- Blanchiment à 90°C pendant 2 mn, puis séchage à l'air libre.

1. Matériel végétal

Pour réaliser cette étude, on a travaillé sur des feuilles adultes d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn prélevées sur des arbres âgées de 18 ans.

2. Traitement avant distillation

• Stockage à l'air libre

Des lots de 100g de feuilles ont été placés à l'ombre et à l'air libre. L'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation a été effectuée chaque jour pendant 40 jours de stockage.

• Stockage à l'air libre suivi d'un broyage

On a suivi le protocole expérimental précédent, mais avant la distillation on a procédé à un broyage très fin des feuilles.

• Stockage à basse température

On a procédé de la même manière que précédemment mais au lieu de placer les échantillons à l'air libre, ils sont stockés à -18°C.

• Blanchiment puis stockage à l'air libre

On a effectué le blanchiment des feuilles, juste après ramassage, dans de l'eau bouillante pendant 2mn. Les feuilles ainsi traitées sont ensuite placées à l'ombre puis suivies au cours du temps comme précédemment.

• Étuvage puis stockage à l'air libre

On a procédé à l'étuvage à 70°C pendant 15mn et 30mn. Les feuilles traitées ont été alors stockées à l'ombre et suivies comme précédemment.

3. Extraction des huiles essentielles

Les feuilles, ayant subi les différents traitements, ont été soumises à une extraction par hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger (Zrira, 1992). Les rendements sont exprimés par rapport à la matière sèche. L'humidité du matériel végétal est déterminé par étuvage à 105°C pendant 4 heures

4. Analyse chimique

L'analyse chimique des huiles essentielles a été faite par chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un chromatographe de type DANI Modèle 6500 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne capillaire en silice fondue de 50 m de long et de 0,32 mm de diamètre intérieur, imprégnée d'une phase stationnaire de type DB5. Le gaz vecteur utilisé est l'azote dont le débit est fixé à 2 ml/mn. La température de la colonne est programmée automatiquement de 50°C à 220°C à raison de 5°C/mn. La température de l'injecteur est de 210°C ; celle du détecteur est de 225°C.

L'identification des constituants a été faite en déterminant les indices de Kovats et en utilisant le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CPG/SM). Le spectromètre de masse HP 5870 est couplé au chromatographe HP 5890, équipé d'une colonne OV 101 de 25m de long et 0,18mm de diamètre intérieur. La température a été programmée de 60°C à 220°C à raison de 4°C/mn.

L'analyse quantitative est réalisée en utilisant un intégrateur de type Shimadzu serie C-R6A. Tous les coefficients de réponse sont supposés voisins. Les pourcentages des différents constituants sont donc assimilés aux pourcentages des aires des pics du chromatogramme.

RÉSULTATS & DISCUSSION

1. Rendements

• Séchage à l'ombre

Le rendement en H.E. d'*E. camaldulensis* obtenu à l'état frais et son évolution au cours du séchage à l'air libre sont illustrés sur la figure 1 qui montre que le rendement en H.E. augmente au cours du stockage à l'air libre. Il passe de 0,91 à 1,42% au bout de 16 jours, soit une augmentation de 56%. Au delà de cette période, on note une diminution du rendement. Au cours de la même période, l'humidité des feuilles est passée de 50 à 7%.

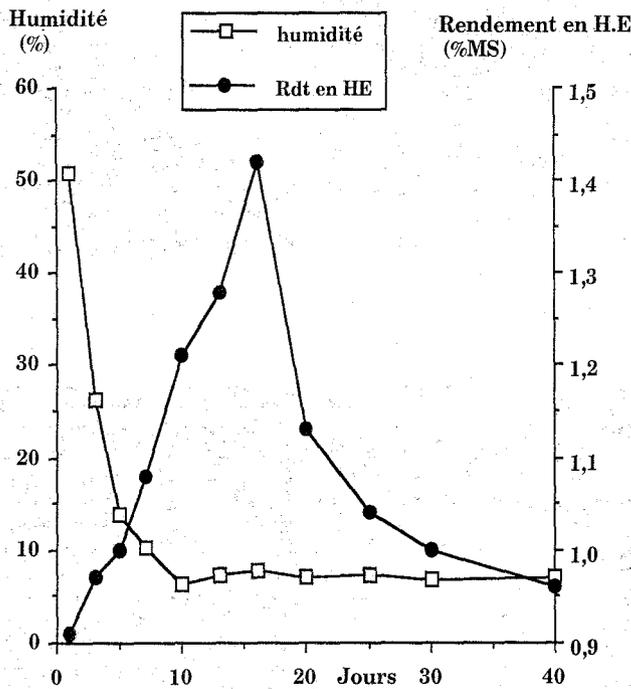


Figure 1. Évolution du rendement en H.E. des feuilles d'*E. camaldulensis* au cours du séchage à l'ombre

• Séchage à l'ombre suivi d'un broyage avant distillation

Les feuilles d'*E. camaldulensis* stockées à l'air libre sont broyées avant distillation. Là aussi, le rendement en H.E. des feuilles d'*E. camaldulensis* augmente durant le stockage. Il passe de 0,91 à 1,29% au bout de 16 jours, soit une augmentation de 41,8%. Au delà de cette période le rendement en H.E. diminue pour atteindre 0,95% le 40ème jour (Figure 2).

D'autre part, le broyage n'augmente pas le rendement car il diminue même légèrement (Figure 2). L'hypothèse qui suppose que l'augmentation du rendement en H.E. est dû à un phénomène physique ne semble pas se confirmer.

Rendement en H.E. (%MS)

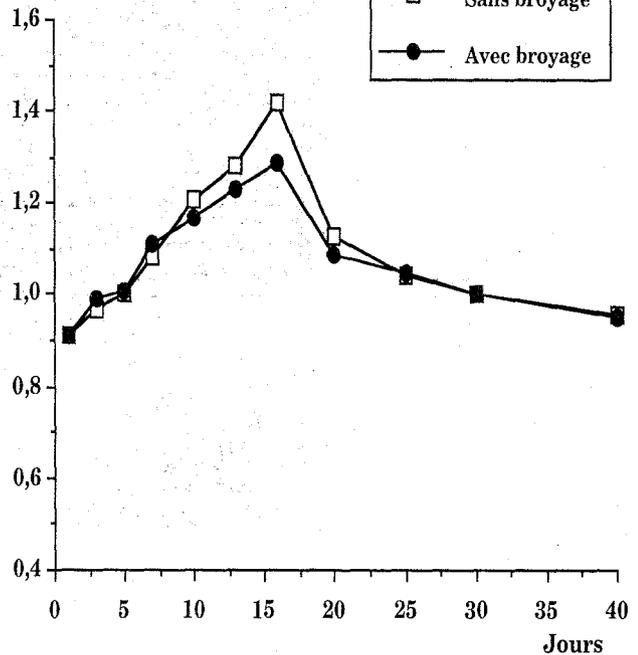


Figure 2. Comparaison de l'évolution des rendements en H.E. des feuilles d'*E. camaldulensis* stockées à l'air libre broyées et non broyées

Pour vérifier ceci, on a réalisé des coupes histologiques des feuilles d'*E. camaldulensis* afin d'observer la forme générale des glandes à l'état frais et à l'état sec. Les coupes histologiques réalisées sur les feuilles d'*E. camaldulensis* à l'état frais et à l'état sec (Figures 3 & 4) ont permis de constater que les poches sécrétrices d'H.E. sont situées soit juste sous l'épiderme soit dans le parenchyme chlorophyllien pallissadique.

Ces poches de sécrétion communiquent avec l'extérieur à travers les estriols ou bien à travers les orifices épidermiques. Les cellules sécrétrices (à paroi très mince) sont situées à l'intérieur des glandes.

La comparaison des coupes de feuilles réalisées à l'état frais et à l'état sec montre que la structure des poches sécrétrices n'est pas affectée par le séchage. Aucune différence significative ne peut être décelée entre les deux états des feuilles (état sec et état frais).

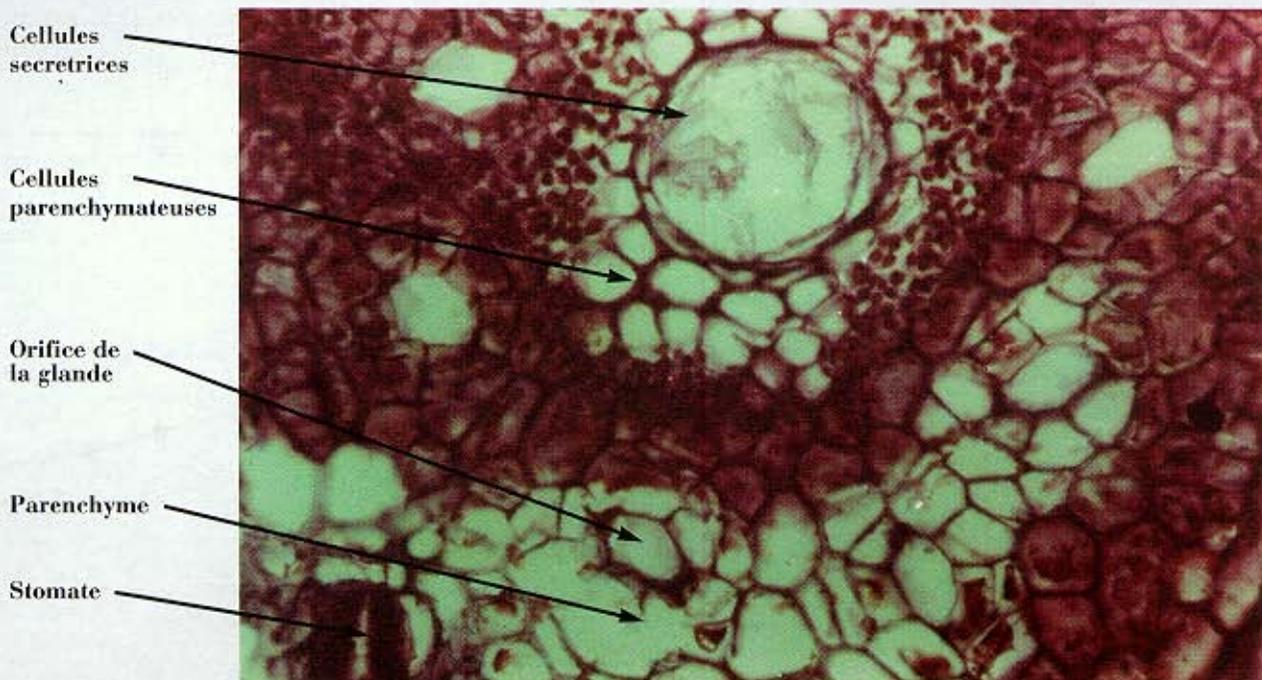


Figure 3. Coupe transversale de la feuille d'*E. camaldulensis* à l'état frais (grossissement x 40)

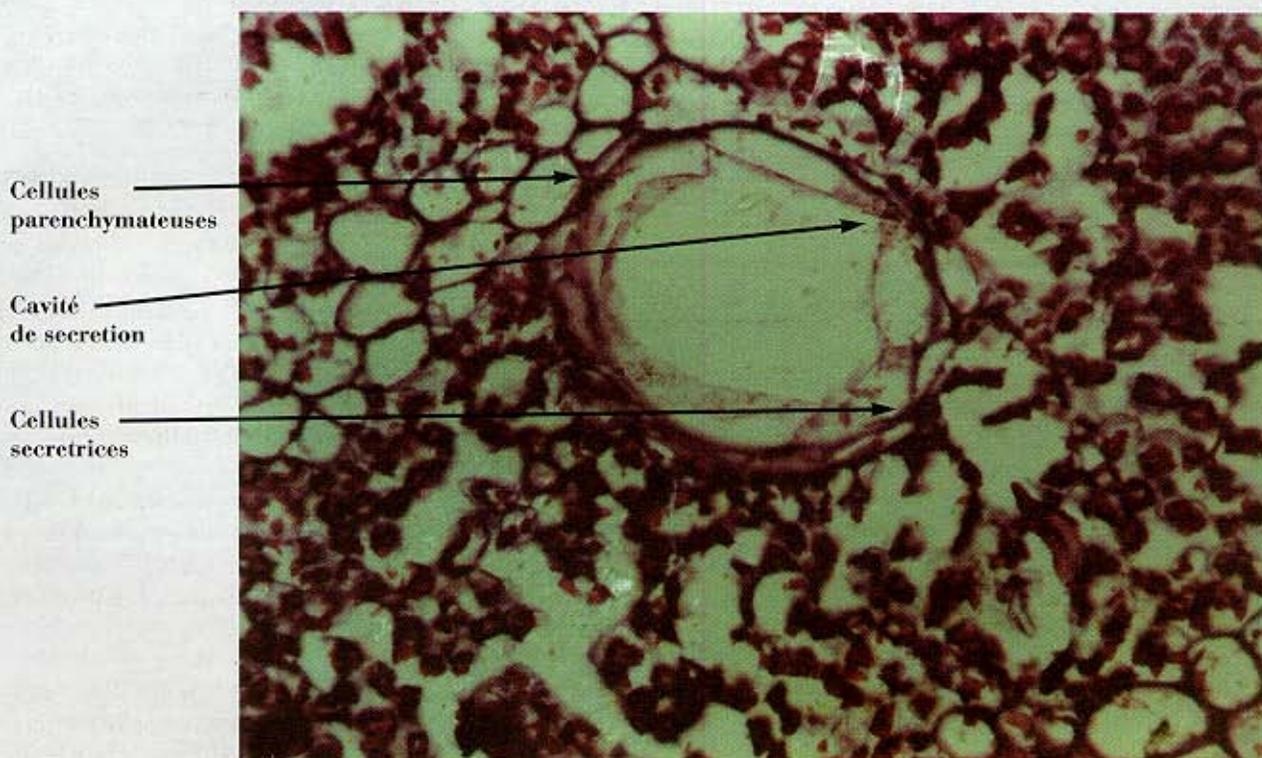


Figure 4. Coupe transversale de la feuille d'*E. camaldulensis* à l'état sec (grossissement x 40)

• Stockage à froid (-18°C)

Durant le stockage des feuilles d'*E. camaldulensis* à basse température (-18°C), le rendement en H.E. est resté constant et égal à 0,82% MS. L'humidité des feuilles est restée égale à sa valeur initiale soit 50%.

• Stockage à l'air libre après étuvage à 70°C

L'étuvage à 70°C entraîne une perte en H.E.. Les pertes enregistrées sont de 4,5% après 15mn d'étuvage et de 14,1% après 30mn d'étuvage. On note cependant que le rendement en H.E. des feuilles stockées après les deux traitements augmente au début et se stabilise rapidement pour le reste de la période de stockage (Figure 5). Dans le cas des feuilles étuvées pendant 15mn, le rendement en H.E. passe de 0,88 à 1,08% MS soit une augmentation de 22,7%. Après étuvage pendant 30mn la teneur en H.E. passe de 0,79 à 1,02% soit une augmentation de 29,1%.

• Stockage à l'air libre après blanchiment

Les feuilles blanchies et stockées à l'air libre ont gardé une teneur en H.E. constante et égale à 0,80%.

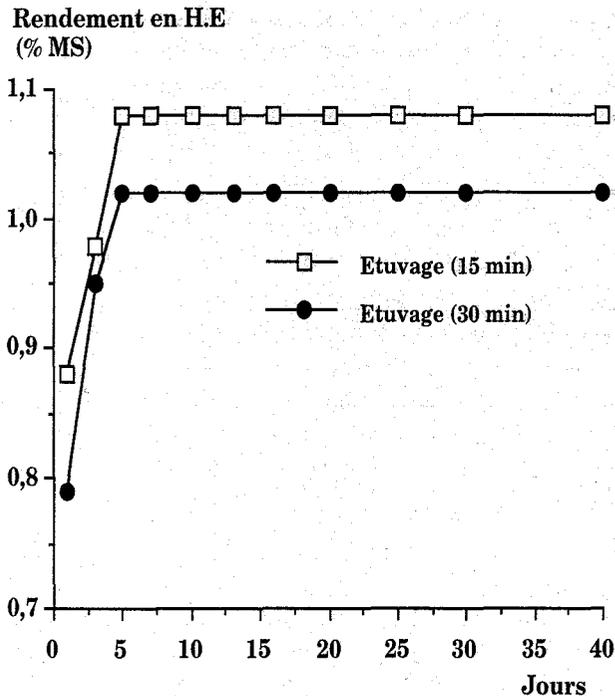


Figure 5. Évolution du rendement en H.E. des feuilles d'*E.camaldulensis* étuvées à 70°C puis stockées à l'ombre

L'augmentation du rendement en H.E. durant le stockage à l'air libre des feuilles d'*Eucalyptus* semble être :

- différent d'un phénomène purement physique ;
- sensible à la chaleur : il est réduit par l'étuvage à 70°C et totalement inhibé par blanchiment à 90°C pendant 2mn ;
- sensible au froid: à -18°C le phénomène est totalement inhibé.

L'ensemble de ces observations laissent penser à un phénomène enzymatique: la biosynthèse des H.E., semble continuer après la récolte du matériel végétal.

Plusieurs chercheurs, travaillant sur d'autres espèces d'*Eucalyptus*, ont observé le même phénomène: augmentation du rendement en H.E. au cours du stockage. Penfold et al. (1948) ont rapporté que la période de stockage des feuilles d'*E. citriodora* ne doit pas dépasser 14 jours. Au-delà de cette période, le rendement en H.E. diminue progressivement.

Shiva et al. (1983), étudiant l'effet du stockage des feuilles d'*E. hybrid (E. tereticornis)* de l'Inde sur leur teneur en H.E., ont trouvé que le rendement en H.E. varie de 1,32 à 1,54% quand les feuilles sont stockées à l'ombre pendant deux semaines. Cette variation est de 1,31 à 1,42% quand celles-ci sont conservées au soleil pour la même période. Ce résultat semble être similaire à celui obtenu au cours de cette étude.

D'autres auteurs ont relevé, à propos des *Eucalyptus*, des résultats similaires aux nôtres (Sandret 1967; Singh et al. 1977; Boelens 1985; Singh et al. 1986).

Le phénomène observé dans le cas d'*E.camaldulensis* du Maroc a donc été déjà relevé pour d'autres espèces. Cependant, aucune explication de la cause de cette augmentation n'a été avancée.

L'hypothèse que nous avons émise, à savoir que la biosynthèse continue dans les feuilles après la récolte peut être formulée autrement: la biosynthèse des composés terpéniques constituant l'H.E. est accélérée quand les feuilles sont en stress hydrique (période de séchage). Une telle conclusion est déjà appliquée de façon empirique par certains distillateurs de plantes aromatiques. En particulier, les producteurs d'essence de sauge connaissent bien l'effet bénéfique du stress

hydrique sur le rendement en H.E. de cette plante. Ils recommandent d'arrêter l'irrigation de la plante une semaine avant la distillation. Ce phénomène a été également observé chez d'autres plantes et pour d'autres composés. Rasmusen (1976) a montré que les feuilles de tomate recevant une quantité insuffisante d'eau -donc en stress hydrique- connaissent une augmentation de la concentration de l'acide abscisique. Cet acide permet à la plante de s'adapter au stress hydrique. Le même phénomène a été relevé chez les épinards (Zeevaart, 1971) et les petits pois (Simpson & Saunders, 1972).

Singh et al. (1973) ont pu montrer que la concentration de la proline augmente rapidement dans les feuilles d'orge en période de stress hydrique. Le taux de cet acide revient à la normale quand les feuilles d'orge sont suffisamment réhydratées.

Dans le cas de l'*Eucalyptus*, peut-on supposer que c'est le même phénomène qui se produit? Les composés terpéniques joueraient-ils le même rôle que l'acide abscisique dans la tomate?

2. Composition chimique

• Séchage à l'ombre

Le séchage à l'ombre des feuilles d'*E. camaldulensis* n'affecte pas d'une manière significative la composition chimique de l'H.E. (Tableau 1) qui reste dans l'ensemble relativement constante. On note, cependant, une légère augmentation des teneurs en α -pinène et en 1,8-cinéole et une diminution des taux de sesquiterpènes.

• Séchage à l'ombre puis broyage avant distillation

La composition chimique des H.E. extraites des feuilles d'*E. camaldulensis* stockées à l'air libre puis broyées avant distillation est similaire à celle des H.E. obtenues à partir des feuilles non broyées. On observe, là aussi, une diminution importante des teneurs en sesquiterpènes et en particulier le spathulénol dont le taux passe de 10,1 à 1,3% après 5 semaines de stockage.

• Stockage à froid (-18°C)

Le stockage à basse température ne semble pas modifier la composition chimique de l'H.E. des feuilles d'*Eucalyptus*.

• Stockage à l'air libre après étuvage

Les feuilles d'*E. camaldulensis* étuvées à 70°C ont donné une H.E. de composition légèrement différente de celle des feuilles non traitées (Tableau 2).

En effet, l'H.E. obtenue après étuvage est particulièrement pauvre en composés sesquiterpéniques. Notons que la durée d'étuvage n'a pas affecté la composition de l'H.E.. Cette dernière a évolué de la même manière dans les feuilles étuvées pendant 15 et 30 minutes.

• Stockage à l'air libre après blanchiment

Les H.E. extraites des feuilles d'*E. camaldulensis* blanchies puis stockées à l'air libre possèdent une composition chimique similaire à celle des H.E. obtenues après étuvage.

CONCLUSION

Le stockage à l'air libre des feuilles d'*E. camaldulensis* permet d'augmenter leur rendement en H.E. Le maximum est obtenu le 16ème jour du stockage. Jusqu'au 40ème jour le rendement en H.E. reste toujours supérieur à celui des feuilles fraîches.

Ce résultat est très important pour une exploitation industrielle: le matériel végétal récolté peut attendre quelques jours, voire quelques semaines avant d'être traité.

Un séjour de deux semaines à l'ombre est plutôt recommandé, puisque le rendement en H.E. serait maximal.

L'augmentation de la teneur en H.E. est apparemment d'origine enzymatique: la biosynthèse des H.E. semble continuer après la récolte mais elle est ralentie par étuvage à 70°C et elle est totalement arrêtée lors du stockage à -18°C; une inhibition de l'activité est obtenue par blanchiment des feuilles à 90°C pendant 2mn.

Le stockage à l'air libre n'affecte pas d'une manière significative la composition chimique de l'H.E. des feuilles d'*E. camaldulensis*. Les variations observées sont plutôt positives puisqu'on assiste à une légère augmentation du taux d'eucalyptol et une diminution de la teneur en composés sesquiterpéniques.

Tableau 1. Évolution de la composition chimique de l'H.E. des feuilles d'*E.camaldulensis* au cours du stockage à l'air libre

ComposésSéjour à l'ombre.....						
	1er jour	1ère semaine	2ème semaine	3ème semaine	4ème semaine	5ème semaine	6ème semaine
alpha -pinène	1,4	1,5	1,8	1,9	1,6	2,1	3,8
camphène	0,5	tr	0,0	tr	0,1	tr	0,0
béta -pinène	0,1	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
myrcène	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
alpha -phellandrène	tr	tr	0,0	tr	0,0	0,0	0,0
p-cymène	5,9	6,2	11,4	4,5	8,5	3,6	10,5
1,8-cinéole	65,8	72,7	69,5	69,8	72,1	76,1	75,3
gamma-terpinène	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2
fenchone	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
p-cymenène	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
inalol	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5
fenchol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
aldéhyde campholéniq	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
transpinocarvéol	1,2	1,2	0,9	1,8	1,0	1,3	0,9
isopulégol	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
pinocarvone	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
bornéol	0,7	0,6	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5
terpinéol-4	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6
alpha-terpinéol	1,4	1,4	1,1	2,5	1,1	1,6	1,4
myrténal	0,7	0,6	0,5	-	0,4	-	-
myrténol	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
carvéol-1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
nérol	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
carvéol-2	1,3	1,3	1,0	2,6	1,0	1,2	0,8
cuminal	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
carvone	tr	tr	tr	tr	0,0	tr	tr
pipéritone	1,1	1,5	1,3	1,8	1,3	1,0	1,1
acétate de linalyle	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
caryophyllène	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
aromadendrène	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,8	0,0
alpha-humulène	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	0,0
alloaromadendrène	tr	-	tr	-	-	tr	-
gamma-muuroène	0,0	tr	0,0	-	0,0	0,1	0,2
gamma-cadinène	tr	tr	tr	tr	0,0	0,0	tr
béta -nérolidol	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1
lédol	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
spathuléol	5,1	1,8	1,8	2,7	2,1	2,2	0,5
oxyde de caryophyllène	1,0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,1
globulol	1,2	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,2
guaïol	0,7	0,1	0,5	0,2	0,2	0,2	0,0
gamma-eudesmol	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	tr
alpha-eudesmol	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	tr
béta-eudesmol	1,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,1

tr = traces (<0,05%)

Tableau 2. Évolution de la composition chimique de l'H.E des feuilles d'*E.camaldulensis* étuvées à 70°C au cours du stockage à l'air libre

ComposésSéjour à l'ombre.....			
	1 er jour	1ère semaine	3 ème semaine	5 ème semaine
alpha-pinène	1,6	1,1	1,6	1,4
camphène	0,0	0,1	0,0	0,0
béta-pinène	0,0	0,5	0,0	tr
myrcène	0,0	tr	tr	0,0
alpha-phellandrène	0,5	0,4	0,3	0,3
p-cymène	9,9	12,3	8,7	5,6
1,8-cinéole	72,6	70,5	77,2	83,5
gamma-terpinène	0,3	0,2	0,2	0,2
fenchone	tr	0,0	tr	tr
p-cymenène	0,4	0,4	0,3	0,3
linalol	1,5	1,0	0,6	0,5
fenchol	0,0	0,2	0,1	tr
aldéhyde campholéniq	tr	tr	tr	tr
transpinocarvéol	0,9	0,9	0,6	1,0
isopulégol	0,1	0,1	0,0	-
pinocarvone	0,2	0,2	0,2	0,1
bornéol	0,3	0,7	0,2	0,2
terpinéol-4	0,5	0,5	0,4	0,4
alpha-terpinéol	1,6	1,0	0,7	0,8
myrténal	0,1	0,2	0,1	0,0
carvéol-1	0,0	0,0	tr	tr
nérol	0,2	0,2	0,1	0,1
carvéol-2	0,8	0,8	0,7	0,7
cuminal	0,2	0,0	0,1	0,1
carvone	tr	tr	-	-
pipéritone	0,7	0,7	0,6	0,6
acétate de linalyle	0,2	0,1	0,1	0,0
béta-caryophyllène	0,0	0,0	0,0	tr
aromadendrène	0,7	0,8	0,6	0,3
alpha-humulène	0,2	0,3	0,2	0,2
alloaromadendrène	-	0,1	0,0	0,0
gamma-muurdène	0,2	0,2	0,2	tr
gamma-cadinène	0,4	0,5	0,4	0,1
béta-nérolidol	0,2	0,2	0,2	0,0
lédol	0,0	-	0,0	tr
spathuléol	0,5	0,4	0,6	0,4
oxyde de caryophyllène	0,1	0,0	0,1	0,0
globulol	0,2	0,2	0,2	0,0
guaïol	0,2	0,2	0,2	0,1
gamma-eudesmol	tr	tr	0,0	tr
alpha-eudesmol	tr	tr	tr	tr
béta-eudesmol	0,2	0,2	0,2	0,0

tr = traces (<0,05%)

RÉFÉRENCES CITÉES

- Boelens M.H. (1985). Essential oils and aroma chemicals from *Eucalyptus globulus* Labill. *Perfumer & Flavorist* 9(6): 1-13
- Penfold A.R.; Morisson F.R. & McKerns H.H.G. (1948). Studies in the Myrtaceae and their essential oils: Part II. Some sources of error in the study of plant populations *E.citriodora* Hook. *Res. Ess. Oils Aust. Fl.*, 1, 8-11
- Sandret F.G. (1967). *Eucalyptus globulus* et *E.cnéorifolia* pour la production d'huiles essentielles au Maroc. Annales de la Recherche Forestière au Maroc. 9, Rapport 1965, 259-279
- Rasmusen O.S. (1976) water stress in plants I. abscisic acid level in tomato leaves after a long period of wilting. *Physiol.Plant.* 36: 203- 212
- Shiva, M.P. , Jain P.P.; Suri R.K.; Jagat R & Gulati N.K. (1983). Effect of storage of *Eucalyptus hybrid* leaves on their essential oil. *Indian Forester*. December, 926-932
- Simpson G.M. & Saunders P.F. (1972). abscisic acid associated with wilting in dwarf and tall *Pisum sativum*. *Planta* . 102: 272-276
- Singh A., Palez L.G. & Aspinal D. (1973). Stress metabolism III. Variation in response to water deficit in the barley plant. *Aust. J. Biol. Sci.* 26: 65-76
- Singh A., Singh S.R., Duve R.N., Vithalbha C.L. & Drysdale P. (1977) The distillation and properties of *Eucalyptus citriodora* oil. *Fiji. Agric. J.* 39, 33-38
- Singh A.K., Bhattacharva A.K., Singh K. & Diwedi B.N. (1986) Evaluation of essential oil in Eucalyptus varieties grown in Kumaon Hills (Ranikhet) Uttar Pradesh for timber *Indian Forester*, Marsh, 223-237
- Zeevaart J.A.D. (1971) (+) Abscisic acid content of spinach in relation to photoperiod and water stress. *Plant Physiol.* 48: 86-90
- Zrira S. & Benjilali B. (1991) Effect of drying on leaf oil production of Moroccan *E.camaldulensis*. *J. Ess. Oil. Res.*, 3 (2), 117-118
- Zrira S. (1992) Les huiles essentielles d'*Eucalyptus* du Maroc. Thèse de Doctorat ès Sciences Agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat, Maroc