

Effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc

Abdellah Farah ^(1,2), Mohamed Fechtal ⁽¹⁾, Abdelaziz Chaouch ⁽²⁾

⁽¹⁾ Centre national de la Recherche forestière. B.P. 763. Rabat Agdal 10050 (Maroc). E-mail : farah117@caramail.com

⁽²⁾ Département Chimie. Faculté des Sciences. Université Ibn Tofail. B.P. 133. Kénitra (Maroc).

Reçu le 24 juillet 2000, accepté le 13 juin 2002.

Au cours de ce travail, la qualité et la quantité des huiles essentielles de la biomasse foliaire de cinq hybrides ont été déterminées. Les croisements des eucalyptus : *E. cladocalyx*, *E. diversicolor*, *E. grandis*, *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. globulus* ssp. *maideni* avec *E. camaldulensis* ont été étudiés. Le rendement moyen des échantillons des espèces parentales varie d'une espèce à l'autre. Il est de 3,4 % pour *E. globulus* ssp. *maideni*, 2,5 % pour *E. globulus* ssp. *globulus* et 1,6 % pour *E. diversicolor*. Les eucalyptus *E. camaldulensis*, *E. grandis* et *E. cladocalyx* fournissent des rendements moyens inférieurs à 1 %, soit respectivement 0,8, 0,4 et 0,3 %. Le rendement moyen de l'hybride *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* est de l'ordre de 2,9 %. Il est suivi de l'hybride *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* avec un rendement de 1,4 %. Les combinaisons *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis* × *E. grandis* fournissent, respectivement, les rendements les plus faibles soit 1 %, 0,8 % et 0,8 %. L'analyse de la composition chimique montre que les hybrides *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* fournissent des taux de 1,8-cinéole supérieurs à 70 %, exigés par les utilisateurs. Comparativement à *E. camaldulensis*, les huiles essentielles des autres croisements ont montré une légère diminution du pourcentage de ce principe actif. Cependant, des augmentations des teneurs d'autres produits tels que l' -pinène et le p-cymène ont été enregistrées. En général, tous les produits détectés dans les huiles essentielles montrent des pourcentages moyens intermédiaires entre ceux des espèces parentales. L'hybridation des eucalyptus peut améliorer la qualité et la quantité des huiles essentielles des eucalyptus.

Mots-clés. Hybridation, *E. camaldulensis*, *E. globulus* ssp. *maideni*, *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. grandis*, *E. cladocalyx*, *E. diversicolor*, huiles essentielles, rendement, composition chimique, Maroc.

Interspecific hybridization effect on the content and the chemical composition of essential oils of eucalyptus grown in Morocco. In this work, the quality and quantity of the leaf essential oils of five Eucalyptus hybrids were determined. The crosses of *E. globulus* ssp. *maideni*, *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. grandis*, *E. cladocalyx* and *E. diversicolor* with *E. camaldulensis* have been studied. The average yield of parental species samples varies according to species. It is 3.4% for *E. globulus* ssp. *maideni*, 2.5% for *E. globulus* ssp. *globulus* and 1.6% for *E. diversicolor*. *E. camaldulensis*, *E. grandis* and *E. cladocalyx* are characterized by an average yield less than 1%, i.e. 0.8%, 0.4% and 0.3%, respectively. The average yields of the two hybrids *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* and *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* are 2.9% and 1.4% respectively. The combinations *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* and *E. camaldulensis* × *E. grandis* are characterized by the lowest yields, i.e. 1%, 0.8% and 0.8% respectively. The analysis of the chemical composition shows that the hybrids *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* give 1,8-cineole rates superior to 70%, which is required by the users. Comparatively to *E. camaldulensis*, the essential oils of the other crosses reveal a slight decrease in percentage of this product. However, increases of the -pinene and p-cymene contents have been recorded. In general, all products detected in essential oils have average percentages intermediate between those of parental species. Hybridization of eucalyptus can improve the quality and the quantity of eucalyptus essential oils.

Keywords. Hybridization, *E. camaldulensis*, *E. globulus* ssp. *maideni*, *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. grandis*, *E. cladocalyx*, *E. diversicolor*, essential oils, yield, chemical composition, Morocco.

1. INTRODUCTION

L'accroissement de la population mondiale allié à l'évolution des niveaux de vie entraîne une demande croissante de bois et des produits dérivés et par conséquent une pression continue sur les forêts. Cela tend de plus en plus à substituer à l'utilisation des forêts naturelles souvent complexes, la culture intensive d'essences à croissance rapide susceptibles de produire un fort volume de bois par unité de surface.

C'est dans cette optique et à l'instar d'autres pays comme le Brésil que le Maroc a introduit, depuis les années vingt, une centaine d'espèces d'eucalyptus. Ce genre d'arbre couvre actuellement environ 200.000 ha, dont près de 45 % sont occupés par *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., espèce la plus adaptée aux conditions bioclimatiques de la région nord-ouest du pays et la plus utilisée pour la production de pâte à papier (MCEF, 1998). Les autres espèces sont représentées par des superficies ne dépassant pas 5.000 ha. Depuis quelques années, le Maroc a défini, par le biais du Centre national d'Amélioration des Plants forestiers (Rabat-Maroc), un vaste programme d'amélioration génétique de l'eucalyptus, essence particulièrement intéressante par sa croissance rapide et son potentiel de production de fibres (Goujon, 1961). Sa diversité génétique et écologique (Coates et Sokolowski, 1989) place cette essence parmi le matériel de choix pour les généticiens (Martin, 1967 ; Vigner, 1991). Par ailleurs, 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 (M'Hirit *et al.*, 1997). En dehors de la multiplication des hybrides naturels performants, des essais d'hybridation par la pollinisation contrôlée ont été réalisés avec succès (Mesbah, 1995 ; El Youssfi *et al.*, 1997). Les eucalyptus *E. camaldulensis* Dehn., *E. grandis* Hill. ex Maid., *E. globulus* Labill. ssp. *globulus*, *E. globulus* Labill. ssp. *maideni* F.V.M., *E. diversicolor* F.V.M. et *E. cladocalyx* F.V.M., constituent les principales espèces croisées. Les croisements ont été réalisés principalement avec *E. camaldulensis* comme parent "femelle". Ce dernier est l'espèce la plus adaptée aux conditions bioclimatiques de la région de la Mamora (Nord-Ouest du Maroc). Les autres espèces sont écologiquement peu adaptées, mais fournissent un bois de qualité. La combinaison *E. camaldulensis* × *E. grandis* représente la moitié des croisements effectués. La production d'huiles essentielles peut également être envisagée au cours de cette sélection. Des études antérieures (Sandret, 1967 ; Zrira *et al.*, 1992 ; Zrira, Benjilali, 1996) réalisées sur *E. camaldulensis*, *E. grandis* et *E. cladocalyx*, ont

révélé une teneur en 1,8-cinéole inférieure à 70 %, taux exigé par les utilisateurs pharmaceutiques et cosmétiques de ces produits (Small, 1981). *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. globulus* ssp. *maideni* dont les huiles essentielles sont appréciées par les utilisateurs, sont des espèces exigeantes qui s'adaptent difficilement aux conditions climatiques et édaphiques de la région. Par contre, les huiles essentielles de quelques hybrides naturels fournissent des teneurs en 1,8-cinéole plus importantes que celles des espèces parentales (Farah *et al.*, 1999 ; Fechtal *et al.*, 1996).

Au cours de ce travail, l'effet de l'hybridation des eucalyptus sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles a été étudié.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

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 Plants 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 1997 sur des individus de même âge (10 ans).

Les croisements interspécifiques étudiés sont de la première génération (F1) :

E. camaldulensis (♀) × *E. globulus* ssp. *globulus*,
E. camaldulensis (♀) × *E. globulus* ssp. *maideni*,
E. camaldulensis (♀) × *E. diversicolor*,
E. camaldulensis (♀) × *E. cladocalyx*,
E. camaldulensis (♀) × *E. grandis*,

2.2. Mode d'extraction

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.

2.3. Analyses chromatographiques

Les analyses chromatographiques ont été effectuées sur un chromatographe en phase gazeuse Agilent HP 6890, équipé d'une colonne capillaire HP-5 (30 m × 0,25 mm, épaisseur du film : 0,25 µm), 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 µm). 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.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Rendement en huiles essentielles

Les rendements moyens en huiles essentielles sont présentés au **tableau 1**. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les espèces *E. globulus* ssp.

Tableau 1. Rendement en huiles essentielles des eucalyptus hybrides et de leurs espèces parentales — *Essential oils yields of eucalyptus hybrids and their parental species.*

Echantillons	Rendement (%)	CV (%)
<i>E. camaldulensis</i>	0,84	4,76
<i>E. globulus</i> ssp. <i>maideni</i>	3,38	4,45
<i>E. globulus</i> ssp. <i>globulus</i>	2,46	4,13
<i>E. diversicolor</i>	1,65	3,97
<i>E. grandis</i>	0,42	7,14
<i>E. cladocalyx</i>	0,30	10,60
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. globulus</i> ssp. <i>maideni</i>	2,93	15,46
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. globulus</i> ssp. <i>globulus</i>	0,98	2,94
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. diversicolor</i>	1,41	21,42
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. cladocalyx</i>	0,82	4,89
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. grandis</i>	0,80	2,20

CV : coefficient de variation.

maideni, *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. diversicolor* avec respectivement 3,4, 2,5 et 1,6 %. Ces espèces peuvent constituer une source importante d'huiles essentielles d'eucalyptus ; cependant, elles sont peu plantées au Maroc à cause de leur faible adaptation aux conditions édaphiques et climatiques du pays. *E. camaldulensis*, *E. grandis* et *E. cladocalyx* fournissent des rendements moyens inférieurs à 1 % (**Tableau 1**). Ces valeurs confirment celles rapportées dans la littérature (Ahmadouch, 1984 ; Zrira *et al.*, 1992 ; Fechtal *et al.*, 1995 ; Zrira, Benjilali, 1996 ; Farah *et al.*, 1999). Les rendements moyens des divers hybrides varient d'une combinaison à l'autre. L'écart avec les espèces parentales peut dépasser 1 %. La valeur la plus élevée est enregistrée pour l'hybride *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni*, avec un rendement de 2,93 %. Si le parent mâle *E. globulus* ssp. *maideni* est très exigeant en eau (Achhal El Kadmiri, Fechtal, 1994), l'hybride s'adapte bien dans la zone bioclimatique semi-aride de la région (Mesbah, 1995 ; El Youssfi *et al.*, 1997). Le rendement en huiles essentielles de l'hybride *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* est de 0,98 %. Cette valeur est légèrement supérieure à celle obtenue dans les mêmes conditions avec les échantillons d'*E. camaldulensis* et très inférieure à celle fournie par les échantillons d'*E. globulus* ssp. *globulus* (**Tableau 1**). Cet hybride montre des difficultés d'adaptation dans les zones de plantation d'*E. camaldulensis* (zones semi-arides) où on enregistre seulement 30 % de réussite des plantations, avec un faible niveau de production (El Youssfi *et al.*, 1997). L'hybride *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* fournit un rendement de 1,41 %, légèrement inférieur à celui d'*E. diversicolor* (1,65 %). Les échantillons des hybrides *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis* × *E. grandis* montrent des rendements moyens très proches de celui du parent femelle *E. camaldulensis*, soit respectivement 0,80 et 0,82 contre 0,84 % (**Tableau 1**).

Pour les hybrides *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* et *E. camaldulensis* × *E. diversicolor*, on constate une forte influence des parents mâles pour la production des huiles essentielles mais une dominance du parent femelle *E. camaldulensis* pour ce qui concerne les caractères morphologiques. Chez les hybrides *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis* × *E. grandis*, le rendement est similaire à celui observé chez le parent femelle. (**Tableau 1, Figure 1**).

Ces résultats confirment ceux rapportés par Menut *et al.* (1992) qui indiquent que les hybrides obtenus à partir de la combinaison entre *E. urophylla* et *E. grandis* fournissent des rendements intermédiaires, soit 1,3 % *versus* 1,4 et 0,6 % respectivement chez les

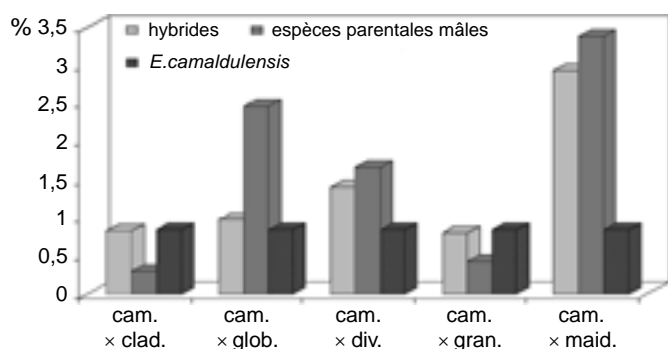


Figure 1. Effet de l'hybridation interspécifique sur le rendement en huiles essentielles — *Interspecific hybridization effect on essential oils yield.*

cam. x clad. = *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* ; cam. x glob. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* ; cam. x div. = *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* ; cam. x gran. = *E. camaldulensis* × *E. grandis* ; cam. x maid. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni*.

deux parents. Il en est de même pour l'hybride *E. ovata* × *E. crenulata* d'Australie (Simmons, Parsons, 1976). L'amélioration du rendement en huiles essentielles doit être un critère de sélection des meilleurs hybrides, en association avec une production plus élevée du bois et une adaptation aux conditions bioclimatiques du milieu. Le rendement en huiles essentielles n'est cependant pas suffisant, la composition chimique des huiles est aussi un facteur capital à considérer dans l'optique d'une valorisation rentable.

3.2. Composition chimique

Les analyses chromatographiques des différents échantillons ont permis l'identification de près de 40 constituants (Tableau 2). Ces composés ont déjà été identifiés comme constituants des huiles essentielles d'eucalyptus (Zrira, 1992 ; Zrira *et al.*, 1992 ; Menut *et al.*, 1992 ; Zrira, Benjilali, 1996).

Les échantillons des huiles essentielles étudiés présentent une composition chimique homogène avec l' α -pinène, le p-cymène et le 1,8-cinéole comme constituants majoritaires. Pour les espèces parentales, les taux de 1,8-cinéole, principe actif recherché, varient entre 13,7 et 81 % respectivement pour les échantillons des eucalyptus *E. cladocalyx* et *E. globulus* ssp. *maideni* (Tableau 2). Les eucalyptus *E. globulus* ssp. *maideni* et *E. globulus* ssp. *globulus* fournissent des huiles essentielles riches en 1,8-cinéole. Le taux de ce principe actif dépasse les 70 %, taux recommandé par les utilisateurs en industrie pharmaceutique et cosmétique (Lawrence, 1986). Les huiles essentielles d'*E. globulus* ssp. *globulus* sont très demandées ; le marché de ces produits est estimé à environ 1.500 tonnes/an (Lawrence, 1986).

Les pourcentages d' α -pinène et de p-cymène oscillent entre 0,30 et 23,2 % respectivement pour les échantillons d'huiles essentielles d'*E. globulus* ssp. *maideni* et d'*E. grandis* (Tableau 2). Les taux les plus élevés de terpinen-4-ol, d' α -terpinéol et d'acétate d' α -terpinyl sont dans l'ordre 4,6, 4 et 10,9 %, respectivement pour *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* et *E. diversicolor*. Les pourcentages les plus élevés de spathuléol (4,9 %), de globulol (5,34 %) et de gäiol (8,3 %) sont détectés, respectivement, dans les échantillons d'*E. camaldulensis*, d'*E. grandis* et d'*E. diversicolor*. Le taux de l' α -phellandène est souvent inférieur à 1 % sauf pour les échantillons d'*E. cladocalyx*, où il est de 1,8 %. Les normes d'utilisation des huiles essentielles des eucalyptus dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques stipulent une limite de ce produit à un taux inférieur à 1 % (AFNOR, 1995). Ces résultats confirment ceux fournis par la littérature (Zrira *et al.*, 1992 ; Fechtal *et al.*, 1995 ; Zrira, Benjilali, 1996).

Ainsi, la meilleure qualité des huiles essentielles étudiées correspond aux huiles des eucalyptus *E. globulus* ssp. *maideni* et *E. globulus* ssp. *globulus*. Cependant, en raison de leurs exigences climatique et édaphique (Achhal, Fechtal, 1994), ces espèces ne peuvent guère être plantées que dans des sols profonds et frais de la région côtière nord-ouest du Maroc, dont l'espace est très limité.

Les échantillons des huiles essentielles des différents hybrides étudiés présentent des teneurs en 1,8-cinéole comprises entre 45,27 et 80,41 %. Les hybrides *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx*, *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* et *E. camaldulensis* × *E. grandis*, montrent des teneurs supérieures par rapport à celles des parents mâles *E. cladocalyx*, *E. diversicolor* et *E. grandis*, mais une légère réduction par rapport à celles du parent femelle *E. camaldulensis* (Tableau 2).

Les hybrides *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* et *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* fournissent une teneur en 1,8-cinéole presque identique à celle des espèces parentales mâles *E. globulus* ssp. *maideni* et *E. globulus* ssp. *globulus*, soit respectivement 80,4 et 71 %. Pour les deux croisements, une nette amélioration de la teneur en ce principe actif a été enregistrée par comparaison avec celle d'*E. camaldulensis* (Figure 2). Cette amélioration est due essentiellement à la contribution génétique des deux espèces parentales mâles. Ces espèces présentent des pourcentages de 1,8-cinéole respectivement de 74,18 et 81 %. La teneur d'*E. camaldulensis* dépasse rarement 50 %.

Les autres produits détectés dans les huiles essentielles des échantillons des croisements présentent des teneurs moyennes intermédiaires entre celles des espèces parentales (Tableau 2).

Tableau 2. Composition chimique des huiles essentielles — *Chemical composition of essential oils.*

IK	Composés	Espèces parentales						Croisements interspécifiques				
		Cam.	Clad.	Glob.	Div.	Gran.	Maid.	Cam. × Clad.	Cam. × Glob.	Cam. × Div.	Cam. × Gran.	Cam. × Maid.
931	-thujène	t	0,20	t	-	0,17	-	0,17	t	t	0,12	t
939	-pinène	11,23	23,05	7,57	5,40	14,64	0,60	21,26	10,02	7,85	14,11	5,70
953	Camphène	-	0,12	0,51	0,20	2,56	0,09	0,14	0,48	0,23	0,06	0,08
980	-pinène	1,88	6,30	0,10	-	0,12	0,06	0,60	0,12	0,08	0,13	0,17
1005	-phéllandène	0,18	1,90	0,34	0,16	0,23	0,10	0,16	0,09	0,20	0,33	0,10
1026	p-cymène	11,24	16,30	0,60	-	23,2	0,30	13,47	0,80	3,02	22,57	0,37
1033	1,8-cinéole	50,69	13,70	74,18	30	20,43	81,00	45,27	71	48,72	47,69	80,41
1062	-terpinène	1,00	0,30	0,18	2,40	3,20	0,10	0,09	0,18	1,06	3,06	0,24
1099	Linalol	0,14	0,70	0,10	-	0,65	0,20	0,08	0,13	0,09	0,16	0,16
1113	Fenchol	0,30	0,20	t	-	3,85	0,10	0,08	0,22	0,16	0,70	0,19
1139	Trans-pinocarvéol	1,46	4,30	0,54	-	6,64	2,00	4,28	1,27	2,81	1,47	1,90
1146	Isopulégol	0,30	-	t	-	0,39	t	t	0,22	-	0,40	t
1163	Pinocarvone	0,10	-	0,05	-	-	-	-	0,07	-	0,05	t
1165	Bornéol	0,20	0,50	0,30	-	2,84	1,00	0,12	0,20	-	0,64	0,91
1177	Terpinen-4-ol	4,58	1,30	0,24	-	0,54	0,10	1,69	2,55	0,80	0,55	0,51
1183	p-cymen-8-ol	-	-	t	0,86	0,82	0,30	0,18	t	0,77	0,05	0,26
1189	-terpinéol	0,58	4	1,80	-	-	0,06	0,25	0,64	-	0,03	0,10
1193	Myrtenal	0,67	-	0,05	-	4,93	0,50	0,20	0,61	-	2,89	0,63
1194	Myrtéol	0,39	t	t	-	0,60	-	-	0,35	-	0,38	-
1217	Trans-carvéol	0,24	1,20	0,08	1,41	-	0,70	1,18	0,20	1,30	0,05	0,60
1228	Nérol	1,31	3,20	0,21	-	-	-	3,15	0,41	-	0,01	-
1230	Cis-carvéol	0,05	-	0,10	-	-	0,30	t	0,18	0,07	0,03	0,28
1242	Carvone	0,25	-	0,05	-	-	-	-	0,10	-	0,17	-
1252	Pipéritone	0,34	-	0,05	-	0,07	0,50	-	0,13	-	0,07	0,47
1255	Géranol	-	-	t	-	-	-	-	t	-	-	-
1298	Carvacrol	0,07	-	t	-	0,21	-	t	t	-	0,08	-
1350	Acétate d' -terpinyl	t	0,60	1,20	10,90	0,19	0,30	2,90	0,24	3,40	0,07	0,27
1418	-caryophyllène	t	0,33	0,03	0,40	0,20	0,20	0,32	0,03	0,36	0,03	0,14
1439	Aromadendrène	0,52	0,21	0,42	0,60	0,20	0,29	0,24	0,42	0,57	0,32	0,30
1461	Allo-aromadendrène	0,32	0,20	0,34	-	0,6	0,15	0,31	0,32	0,35	0,32	0,25
1494	-sélinène	0,05	-	0,20	-	0,42	-	-	0,03	-	0,11	0,03
1564	(E)-Nérolidol	0,35	-	0,25	-	0,11	0,50	0,94	0,27	0,08	0,14	0,48
1565	Lédol	0,06	-	0,13	0,50	0,50	0,20	0,12	0,09	0,50	0,09	0,14
1576	Spathuléol	4,90	-	1,50	-	-	1,40	0,33	3,16	0,40	0,01	1,56
1583	Globulol	0,94	2,10	0,70	-	5,34	2,00	0,20	0,78	0,37	1,08	1,77
1595	Gaiol	0,20	0,35	0,21	8,30	1,45	0,50	0,23	0,12	7,74	0,21	0,44
1630	-eudesmol	0,20	t	0,08	-	0,34	0,02	0,14	0,11	0,10	0,20	0,15
1649	-eudesmol	0,22	-	0,03	0,41	0,33	0,03	0,16	0,17	0,32	t	0,08
1652	-eudesmol	0,24	-	0,09	-	0,35	-	0,12	0,19	0,16	0,09	0,09
Total		95,28	81,12	92,45	61,54	96,12	93,62	98,43	95,98	81,55	98,51	98,84

IK = indices de Kováts ; t = traces (<0,05 %), Cam. = *E. camaldulensis* ; Clad. = *E. cladocalyx* ; Glob. = *E. globulus* ssp. *globulus* ; Div. = *E. diversicolor* ; Gran. = *E. grandis* ; Maid. = *E. globulus* ssp. *maideni* ; Cam. × Clad. = *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* ; Cam. × Glob. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus*. ; Cam. × Div. = *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* ; Cam. × Gran. = *E. camaldulensis* × *E. grandis* ; Cam. × Maid. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *Maideni*.

Aucune nouvelle molécule n'a été détectée dans les huiles essentielles des eucalyptus hybrides ; l'hybridation n'a, apparemment, pas d'effet sur la biosynthèse de nouveaux composés (Tableau 2). Ceci

confirme ce qui a été rapporté dans la littérature (Menut *et al.*, 1992 ; Simmons, Parsons, 1976).

Les hybrides *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* et *E. camaldulensis* × *E. grandis* ont fourni des huiles

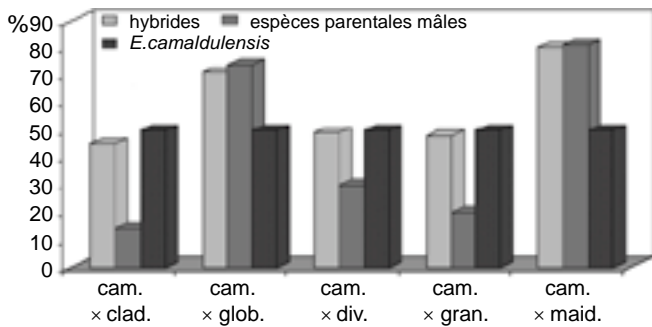


Figure 2. Effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur en 1,8-cinéole des huiles essentielles — *Interspecific hybridization effect on the 1,8-cineole content of essential oils.*

cam. × clad. = *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* ; cam. × glob. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* ; cam. × div. = *E. camaldulensis* × *E. diversicolor* ; cam. × gran. = *E. camaldulensis* × *E. grandis* ; cam. × maid. = *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni*.

essentiels avec des teneurs en -pinène et en p-cymène nettement plus élevées que celles de l'espèce parentale *E. camaldulensis* (Tableau 2). Ces variations sont dues à l'apport génétique des espèces parentales mâles dont les teneurs en -pinène et p-cymène sont plus élevées que celles des hybrides qui en résultent (Tableau 2). Les hybrides *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* se caractérisent par des teneurs en ces composantes relativement plus faibles que celle de l'espèce parentale *E. camaldulensis*.

4. CONCLUSION

La création d'hybrides a pour objectif l'amélioration de la productivité des peuplements d'eucalyptus. *E. camaldulensis*, principale espèce plantée au Maroc, est utilisée comme le parent femelle commun à ces hybrides. Ce choix est essentiellement basé sur l'adaptabilité de cette espèce aux conditions bioclimatiques du pays. L'étude des huiles essentielles de la biomasse foliaire des hybrides obtenus permet de détecter ceux qui pourraient constituer une source substantielle de production des huiles essentielles.

Au cours de ce travail, cinq espèces ont été croisées avec *E. camaldulensis* (♀) : *E. cladocalyx*, *E. diversicolor*, *E. grandis*, *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. globulus* ssp. *maideni*.

Le rendement moyen des échantillons des espèces parentales varie d'une espèce à l'autre. Il est de 3,4 % pour *E. globulus* ssp. *maideni*, 2,5 % pour *E. globulus* ssp. *globulus* et 1,6% pour *E. diversicolor*. Ces espèces peuvent constituer une source importante d'huiles essentielles d'eucalyptus mais elles sont mieux adaptées à des régions plus humides que la région de la Mamora. Les eucalyptus *E. camaldulensis*, *E.*

grandis et *E. cladocalyx* fournissent des rendements moyens inférieurs à 1 %, soit respectivement 0,8, 0,4 et 0,3 %.

Les rendements moyens des divers hybrides entre *E. camaldulensis* et d'autres espèces varient selon la combinaison. L'hybride *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* fournit un rendement de l'ordre de 2,9 % suivi de l'hybride *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* avec 1,4 %. Les combinaisons *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. camaldulensis* × *E. grandis* et *E. camaldulensis* × *E. cladocalyx* fournissent les rendements les plus faibles, soit 0,98, 0,80 et 0,82 %. Ces rendements sont peu différents de celui de l'espèce *E. camaldulensis* (♀).

L'analyse de la composition chimique montre que les hybrides *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *globulus* et *E. camaldulensis* × *E. globulus* ssp. *maideni* sont caractérisés par des taux de 1,8-cinéole supérieurs à 70 %, ce qui est exigé par les utilisateurs. Cette amélioration résulte de la contribution génétique des deux espèces parentales "mâles". Comparativement à *E. camaldulensis*, les huiles essentielles des autres croisements montrent une légère diminution du pourcentage de 1,8-cinéole. Cependant, des augmentations des teneurs d'autres produits tels que l'-pinène et le p-cymène ont été enregistrées. En général, tous les produits détectés dans les huiles essentielles montrent des pourcentages moyens intermédiaires entre ceux des espèces parentales. Cette constatation a été confirmée au niveau des différents constituants identifiés tels que l'-pinène, le p-cymène et le globulol.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier pour leur collaboration Mr. F. Saltron ingénieur au Laboratoire interrégional de Marseille (France), MM. SM. El Youssfi et A. Chakour du Centre national d'Amélioration génétique des Plantes forestières (Maroc).

Bibliographie

- Achhal El Kadmiri A., Fechtal M. (éds) (1994). *Atlas des Eucalyptus du Maroc*. Rabat, Maroc : CNCA, 217 p.
- AFNOR (1995). Révision de la norme ISO/CD 770. "Huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*" (T75 A-Doc 992).
- Ahmadouch A. (1984). *Étude des huiles essentielles de diverses espèces d'eucalyptus cultivées au Maroc*. Thèse 3^e cycle. Univ. Mohamed V. Fac. Sci. Rabat, Maroc, 199 p.
- Clevenger JF. (1928). Apparatus for the determination of volatile oil. *J. Am. Pharm. Assoc.* **17**, p. 346–341.
- Coates DJ., Sokolowski RE. (1989). Geographic patterns of

- genetic diversity in Karri (*E. diversicolor* F. Muell.). *Aust. J. Bot.* **37**, p 145–156.
- El Youssfi SM., Marien JN., Chakour A. (1997). L'amélioration génétique des eucalyptus au Maroc. *Actes du séminaire sur l'amélioration, la conservation et l'utilisation des ressources génétiques forestières marocaines. ENFI Salé, Maroc, 08–10 Mai 1997*, p. 104–124.
- Farah A., Fechtal M., Zrira S., Chaouch A. (1999). Les huiles essentielles des eucalyptus hybrides naturels au Maroc. *Minbar Al Jamiaâ : Actes du Colloque International sur les Substances Naturelles, 25–26 avril 1997, Méknès, Maroc*, p. 91–97.
- Fechtal M., Aberchane M., Benjilali B., Ismaili MA. (1995). Rectification des huiles essentielles d'*Eucalyptus camaldulensis*. *Ann. Rech. For. Maroc.* **28**, p. 117–126.
- Fechtal M., Farah A., Chaouch A., Zrira S. (1996). Les huiles essentielles des eucalyptus hybrides. *Ann. Rech. For. Maroc.* **29**, p. 79–87.
- Goujon P. (1961). Un exemple de reboisement industriel au Maroc. *In 2^e conférence mondiale sur l'eucalyptus. Sao-Paulo, Brésil.* **2**, p. 839–856.
- Lawrence B. (1986). A review of the world production of essential oils. (Newsletter of medicinal and aromatic plants). *Herba Hungarica* **2**, p. 66–79.
- Martin B. (1987). *Amélioration génétique des eucalyptus tropicaux. Contribution majeure à la foresterie clonale.* Thèse de doctorat, Univ. Paris XI, 130 p.
- MCEF (1998). Ministère Chargé des Eaux et Forêts, Maroc. *Bilan des reboisements de la campagne 96–97.* Rabat, Maroc, 12 p.
- Menut C., Lamaty G., Malanda Kiyabou G., Bessière JM. (1992). Aromatic plants of tropical Africa. VIII. Individual selection of eucalyptus for essential oil production in the Congo. *J. Essent. Oil. Res.* **4**, p. 427–432.
- Mesbah H. (1995). Apport de l'hybridation interspécifique à l'amélioration génétique des eucalyptus au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc* **28**, p. 56–71.
- M'Hirit O., Sbay H., El Alami SL., Kerrouani H. (1997). Bilan de la recherche en matière de génétique forestière au Maroc. *Actes du séminaire sur l'amélioration, la conservation et l'utilisation des ressources génétiques forestières marocaines. ENFI Salé, Maroc, 08–10 mai 1997*, p. 1–29.
- Sandret FG. (1965). *Eucalyptus globulus* et *Eucalyptus cneorifolia* pour la production d'huiles essentielles au Maroc. *Ann. For. Maroc.* **9**, p. 260–279.
- Simmons D., Parsons RF. (1976). Analysis of a hybride swarm involving *Eucalyptus crenulata* and *ovata* using oils and morphology. *Biochem. Syst. Ecol.* **4**, p. 97–101.
- Small BEJ. (1981). The Australian eucalyptus oil industry, an overview. *Aust. For.* **44** (3), p. 170–177.
- Vignerone P. (1991). Création et amélioration de variétés d'eucalyptus au Congo. *IUFRO Symposium on intensive forestry: The role of eucalyptus. September. Durban, Afrique du Sud*, **1**, p. 345–360.
- Wright JW. (1963). *Aspects génétiques de l'amélioration des arbres forestiers.* Rome : FAO, 431 p.
- Zrira S. (1992). *Étude des huiles essentielles des eucalyptus acclimatés au Maroc.* Thèse de doctorat es-sciences agronomique. I.A.V. Hassan II. Rabat, Maroc, 180 p.
- Zrira S., Benjilali B. (1996). Seasonal changes in volatile oil and cineole contents of five eucalyptus species growing in Morocco. *J. Ess. Oil. Res.* **8**, p. 19–24.
- Zrira S., Benjilali B., Fechtal M., Richard H. (1992). Essential oils of twenty seven eucalyptus species grown in Morocco. *J. Ess. Oil. Res.* **4**, p. 259–264.

(24 réf.)