

Les substances volatiles dans les genres *Cantharellus*, *Craterellus* et *Hydnum*

Françoise FONS^a, Sylvie RAPIOR^{b*},
Guillaume EYSSARTIER^c & Jean-Marie BESSIÈRE^d

^a Laboratoire de botanique et mycologie/UMR 7137 (LIMOS)
Faculté des Sciences, BP 239,
54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex
Francoise.Fons@pharma.u-nancy.fr

^b Laboratoire de botanique, phytochimie et mycologie/UMR 5175 (CEFE)
Faculté de Pharmacie, BP 14491,
15, avenue Charles-Flahault, F-34093 Montpellier Cedex 5
srapior@ww3.pharma.univ-montp1.fr

^c 19, avenue du petit parc, F-94300 Vincennes
geyssartier@wanadoo.fr

^d Laboratoire de chimie appliquée,
École nationale supérieure de chimie,
8, rue de l'École normale, F-34296 Montpellier Cedex 5
bessiere@enscm.fr

Résumé – Les composés volatils de *Cantharellus cibarius*, *Craterellus cornucopioides*, *C. lutescens*, *C. tubaeformis* et *Hydnum repandum* ont été étudiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. L'arôme fruité de ces champignons, et plus particulièrement celui des chanterelles, est souvent comparé à celui de la mirabelle et de l'abricot. Quinze composés volatils ont été identifiés pour *C. cibarius*, trente pour *C. cornucopioides*, onze pour *C. lutescens*, dix-huit pour *C. tubaeformis* et douze pour *H. repandum*. Les composés en C₈, souvent très représentés chez les champignons, et globalement responsables de « l'odeur fongique », sont retrouvés en proportions importantes pour chacune des cinq espèces, et notamment pour *C. cibarius* (88,6 %) et *C. lutescens* (62,8 %). L'oct-1-èn-3-ol et le (E)-oct-2-énol sont les composés volatils majoritaires chez *C. cibarius* tandis que l'oct-1-èn-3-ol est majoritaire chez les trois autres chanterelles; ce composé représente à lui seul de 15,3 % à 44 % de la fraction volatile. Plusieurs monoterpènes à arôme fruité comme le limonène (14,8 % chez *C. cornucopioides*), ont été identifiés; des composés volatils à noyau benzénique, d'odeurs agréables comme le benzaldéhyde (odeur d'amandes amères) et l'alcool benzylique (note douce-épicée), ainsi que le 2-phényléthanal (odeur de lilas et de jacinthe, 15 % chez *C. tubaeformis*) sont également présents en grande quantité. Le (E)-octa-1,3-diène (odeur fruitée) ainsi que les deux isomères du déca-2,4-diène (note verte) et le dihydroactinidiolide (odeur fruitée boisée), composés participant à l'arôme de l'abricot ou de la mirabelle ont également été identifiés chez les quatre chanterelles et le pied de mouton. Un mélange de composés volatils est donc à l'origine de l'odeur complexe de ces champignons.

Basidiomycota / Cantharellaceae / Craterellaceae / Hydnaceae / extraction par solvant / abricot / mirabelle

* Correspondance et tirés à part.

This paper was presented at Journées du Réseau Mycologie de Nancy, 15-17 January 2002.

Abstract – *Cantharellus cibarius*, *Craterellus cornucopioides*, *C. lutescens*, *C. tubaeformis* and *Hydnum repandum* are well-known to possess fruity flavours. The fresh wild mushrooms were investigated for volatile compounds by gas chromatography/mass spectrometry. Fifteen, thirty, eleven, eighteen and twelve components were identified, respectively in the latter species. The major constituents were C₈ derivatives, *i.e.*, 88.6 and 62.8 % for *C. cibarius* and *C. lutescens*, respectively; these volatile components are widely reported for their various mushroom-like odours. 1-Octen-3-ol and (E)-2-octenol were the main volatile components for *C. cibarius* while it was 1-octen-3-ol for the three other chanterelles; the latter compound ranged from 15.3 to 44 %. Many monoterpenes with fruity aroma, *i. e.*, limonene (14.8 % for *C. cornucopioides*) were identified; several aromatic components with pleasant odours such as benzaldehyde (almond odour) and benzyl alcohol (sweet-spicy odour) as well as 2-phenylethanal (reminiscent odour of lilac and hyacinth, 15 % for *C. tubaeformis*) were detected in high amounts. (E)-1,3-Octadiene along with both 2,4-decadienal isomers (green plant-like odour) and dihydroactinidiolide (sweet wood-like fruity odour), responsible for apricot and plum flavours were also identified for the Common Chanterelle, the Golden Chanterelle, the Trumpet Chanterelle, the Horn of Plenty and the Common Hedgehog Fungus. The overall fruity aroma of these mushrooms is really due to a volatile component combination.

Basidiomycota / Cantharellaceae / Craterellaceae / Hydnaceae / solvant extraction / apricot flavour / plum flavour

INTRODUCTION

Le genre *Cantharellus*, comme le genre *Craterellus* (Basidiomycota, *Aphyllphoromycetidae*, *Cantharellaceae* et *Craterellaceae* (Courtecuisse & Duhem, 2000), comporte des espèces connues sous le nom commun de « chanterelles » : celles-ci présentent un intérêt économique certain, et sont très appréciées des mycophiles (Danell, 2002; Danell & Camacho, 1997; Delmas, 1989; Flores *et al.*, 2002; Martins *et al.*, 2002; Pilz *et al.*, 2002). D'autre part, dans la famille des *Hydnaceae*, proche de celles des chanterelles, *Hydnum repandum* (pied-de-mouton) est également largement consommé sur différents continents (Flores *et al.*, 2002; Martins *et al.*, 2002; Yun *et al.*, 2001). L'arôme de *Cantharellus cibarius*, *Craterellus cornucopioides* et *Craterellus lutescens*, comme celui d'*H. repandum*, est souvent qualifié de « fruité », voire rapproché de celui de la mirabelle, de l'abricot ou de la pêche (Gilbert, 1932; Claus, 1978; Locquin, 1984; Mazza, 1998; Brandily, 2003). Pour Mazza (1998), l'odeur de *C. lutescens* rappelle celle des *Muscari* sp., celle de *C. tubaeformis* est terreuse avec des notes de musc et d'iode tandis que le pied-de-mouton possède une odeur d'eau de fleur d'oranger. Pourtant, peu d'auteurs ont tenté d'établir une corrélation entre l'odeur de ces champignons et les différents composés de leur fraction volatile. Dans le cadre de nos recherches sur les champignons à odeurs caractéristiques (Rapior *et al.*, 2000a; 2000b; 2002; 2003), nous présentons ici, l'étude des substances volatiles de *Cantharellus cibarius*, *Craterellus cornucopioides*, *C. lutescens*, *C. tubaeformis* et *Hydnum repandum* réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse afin d'identifier les composés odorants-clés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cantharellus cibarius Fr. : Fr., *Cantharellus lutescens* (Pers. : Fr.) Fr. et *Hydnum repandum* L. : Fr. ont été récoltés dans la région Languedoc-Roussillon (Hérault) tandis que *Craterellus cornucopioides* (L. : Fr.) Pers. et *Cantharellus tubaeformis* (Bull. : Fr.) Quéf. proviennent de la région Lorraine (Meurthe-et-Moselle). Les champignons frais, débarrassés de tous débris végétaux, sont découpés en petits cubes (1 cm³) et mis à macérer dans l'éther éthylique (poids / 2 volumes) immédiatement après la récolte. Après filtration, les extraits organiques sont concentrés sous azote en un faible volume (0,5 mL) directement analysé (1,0 µL) en duplicata par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

L'analyse GC/SM a été effectuée sur un chromatographe 5890-Hewlett-Packard et spectromètre 5971-Hewlett-Packard. Le chromatographe est équipé d'une colonne capillaire de silice greffée de diméthylpolysiloxane Optima 5 (Macherey-Nagel, 25 m × 0,20 µm × 0,13 µm). Le gaz vecteur est l'hélium de débit 0,9 mL/min. Les températures de l'injecteur et du détecteur sont respectivement 200 °C et 270 °C. La colonne est programmée aux températures suivantes : 50 °C (2 min)-200 °C à raison de 3 °C par minute. Les spectres de masse sont enregistrés par un détecteur de type quadrupole ; l'ionisation est réalisée par impact électronique sous un potentiel de 70 eV. Les composés volatils sont identifiés grâce à leur spectre de masse et à leur indice de rétention (Jennings & Shibamoto, 1980 ; The Mass Spectrometry Data Centre, 1986 ; MacLafferty & Stauffer, 1989 ; National Institute of Standard and Technology, 1994 ; Adams, 1995). Les substances volatiles des chanterelles et du pied de mouton sont reportées dans le tableau 1 selon leur ordre d'élution.

RÉSULTATS

Par analyse CG/SM, quinze composés volatils ont été identifiés pour *C. cibarius*, trente pour *C. cornucopioides*, onze pour *C. lutescens*, dix-huit pour *C. tubaeformis* et douze pour *H. repandum*. Les analyses chimiques de la fraction volatile des cinq espèces ont révélé la présence de 9 composés à huit atomes de carbone (tableau 1). Ces composés aliphatiques à 8 atomes de carbone, très souvent identifiés chez les champignons, ont été retrouvés en proportions importantes notamment dans la fraction volatile de *C. cibarius* (88,6 %) et de *C. lutescens* (62,8 %). Parmi les dérivés en C₈, l'oct-1-èn-3-ol représente à lui seul de 15,3 % à 44 % des composés volatils pour les cinq espèces : il est le composé majoritaire pour *C. cibarius*, *C. cornucopioides*, *C. lutescens* et *C. tubaeformis*. La plupart des composés aliphatiques à 8 atomes de carbone présentent une odeur fongique caractéristique nuancée de certaines notes plus spécifiques. Ainsi, l'oct-1-èn-3-ol révèle une odeur fongique typique, l'oct-1-èn-3-one possède une odeur fongique associée à une note métallique, l'octan-3-ol une note moisie terreuse, l'octan-3-one une note zestée à fruitée, et l'acétate d'octèn-3-yle une note plus savonneuse (Arctander, 1994 ; Breheret, 1997). Cependant, d'autres composés en C₈ ont une odeur différente beaucoup plus fruitée comme le (E)-octa-1,3-diène (Breheret *et al.*, 1997a ; 1998) ou miellée-orangée comme l'octanal selon le référentiel olfactif

Tableau 1. Composés volatils (pourcentage) des chanterelles et du pied de mouton.

Table 1. Volatile components (percentage) of fresh Chanterelles and Common Hedgehog Fungus.

<i>Composés volatils</i>	<i>RI*</i>	<i>C. cibarius</i>	<i>C. cornucopioides</i>	<i>C. lutescens</i>	<i>C. tubaeformis</i>	<i>H. repandum</i>
Hexanal	783					3,1 ^a
(E)-Octa-1,3-diène	820	0,2	1,6		0,5	0,1
Styrène	878		0,4			
α-Pinène	938		0,2		0,2	
Benzaldéhyde	940	0,5	7,6	0,6	3,0	
(E)-Hept-2-énal	943		1,6			
Oct-1-èn-3-one	948	0,2		1,8		
Octan-3-one	950	0,3		1,4		0,5
Oct-1-èn-3-ol	968	44,0	17,1	38,0	32,0	15,3
Sabinène	973		0,2			
Acide hexanoïque	980		1,8			
Myrcène	982		0,5			
Octan-3-ol	982	3,1				
Octanal	988	0,2			0,5	
n-Décane	1000		0,8			
α-Terpinène	1013		0,2			
Alcool benzylique	1016	0,2	1,4			
p-Cymène	1018		0,7			
Limonène	1026		14,8		1,1	
2-Phényléthanal	1038		4,3		15,0	
(E)-Oct-2-énol	1045	40,5	12,1	8,4	2,5	
γ-Terpinène	1052		2,7			
(E)-Oct-2-énal	1055	0,1		13,2		0,8
Octanol	1075					0,3
Terpinolène	1082		0,8			
Benzoate de méthyle	1085	0,5	4,2			
Nonanal	1087					3,2
2-Phényléthanol	1110		1,0		3,0	
Acétate d'octène-3-yle	1113	1,0			6,0	
Octanoate de méthyle	1120	0,8				
Undécatétraène ¹	1134			4,8		
Undécatétraène ¹	1145			18,8		
Acide benzoïque	1161					1,0
Décanal	1186					0,9
(Z,E)-Nona-2,4-diènal	1187				1,0	
Estragol	1189		0,6			
(E,E)-Nona-2,4-diènal	1212				10,0	
Acide phénylacétique	1250		5,7			
Acétate de 2-phényléthyle	1252				3,5	
(Z, E)-Déca-2,4-diènal	1290		1,2		4,0	1,1
Tridécane	1300		2,4			
(E,E)-Déca-2,4-diènal	1315		0,8		10,0	2,6
Décanoate de méthyle	1319	1,1				
2-Phénylacétamide	1330				4,3	
2-Méthyltridécane	1347		2,0			
β-Caryophyllène	1416		2,4			
(E)-β-Farnésène	1449		0,8			
Géranyl acétone	1450			3,8	0,4	
(E)-Dodéc-2-énol	1469			0,8		
2-Phénylhex-2-énal	1480					50,8
Dihydroactinidiolide	1495	0,3		2,2	1,5	
(E,E)-α-Farnésène	1496		0,7			
Pentadécane	1500		2,0			

¹ Stéréochimie non déterminée.^a Pourcentage relatif des composés volatils basé sur l'aire chromatographique CG/SM.^a Relative percentage of the volatile compounds based on the GC/MS chromatographic area.

de Jaubert *et al.* (1987). Le (E)-oct-2-énol présenterait quant à lui une odeur d'huile médicinale (Pyysalo & Suihko, 1976).

Différents composés à noyau benzénique d'odeur agréable ont été isolés chez les chanterelles, notamment chez *C. cornucopioides* et *C. tubaeformis*, ainsi que chez le pied-de-mouton (tableau 1). Le benzaldéhyde et l'alcool benzylique sont surtout connus pour leur odeur combinée d'amandes amères et d'anis dont la note prédominante anisée est dépendante de leurs proportions relatives, mais également de la sensibilité olfactive des membres du jury de l'analyse sensorielle (Wood *et al.*, 1990). Identifiés en proportions variables chez les chanterelles, le benzaldéhyde et l'alcool benzylique n'ont pas été détectés chez l'hydne. Parmi les autres composés aréniques identifiés, on notera, d'une part, que le 2-phénylhex-2-énal représente le composé volatil majoritaire (50,8 %) chez *H. repandum* et, d'autre part, la forte quantité chez *C. tubaeformis* du 2-phénylacétaldehyde encore appelé hyacinthine (15 %) qui présente une odeur de lilas ou de jacinthe sucrée selon les références (The Merck Index, 2001 ; Serot *et al.*, 2001). De plus, le styrène détecté chez *C. cornucopioides* présente une odeur dite éthérée-fruitée, et le 2-phényléthanol identifié chez *C. cornucopioides* et *C. tubaeformis* est largement utilisé dans l'industrie pour son odeur de rose.

Des monoterpènes particulièrement nombreux chez *C. cornucopioides* ont été également identifiés, notamment le limonène (arôme de citron, 14,8 % chez *C. cornucopioides*), le myrcène (arôme fruité balsamique ou de géranium), l' α -pinène (odeur terpénique dite de turpentine), le sabinène (odeur boisée, douce), les α et γ -terpinènes (odeurs citronnée et citronnée-herbacée, respectivement) et le *p*-cymène (odeur herbacée avec une note rappelant l'odeur du kérosène) (Breheret *et al.*, 1997b ; Steinhaus & Schieberle, 2000 ; The Merck Index, 2001). Des sesquiterpènes ont également été identifiés comme le β -caryophyllène à odeur terpénique décrite entre celle du clou de girofle et de la turpentine, oléorésine produite par *Pinus* sp. (The Merck Index, 2001).

Parmi les autres composés volatils remarquables et selon le référentiel olfactif de Jaubert *et al.* (1987), le (Z, E)-déca-2,4-diène, le (E, E)-déca-2,4-diène (note verte) et le dihydroactinidiolide (lactone à odeur fruitée boisée) ont été identifiés chez les différents champignons étudiés.

DISCUSSION

Les analyses chimiques de la fraction volatile que nous avons obtenues par CG/SM à partir d'extraits organiques confirment et complètent les données de la littérature pour *C. cibarius* (Pyysalo, 1976 ; Pyysalo & Suihko, 1976 ; George *et al.*, 1985) et *H. repandum* (Breheret, 1997 ; Breheret *et al.*, 1997a, b ; Giacinti-Martinie, 1999). De plus, elles rapportent pour la première fois les composés volatils de *C. cornucopioides*, *C. lutescens* et *C. tubaeformis* (tableau 1).

En effet, parmi les cinq champignons frais étudiés, seuls *C. cibarius* et *H. repandum* ont déjà fait l'objet d'analyse chimique pour identifier leurs substances volatiles. Pour ce qui concerne *C. cibarius*, différentes techniques d'extraction des composés volatils ont été utilisées sur des sporophores frais ou congelés, à savoir l'extraction aqueuse à chaud et à froid, l'hydrodistillation, l'entraînement à la vapeur d'eau puis l'extraction par l'éther éthylique ou le pentane et, enfin, l'analyse de l'espace de tête. Ces méthodes d'extraction, suivies dans tous

les cas par une analyse CG/SM ou CG-sniffing ont mis en évidence la forte proportion de l'oct-1-èn-3-ol et du (E)-oct-2-énol parmi les nombreux composés à 8 atomes de carbone, ainsi que la présence de monoterpènes, de benzaldéhyde et parfois d'alcool benzylique (Dijkstra, 1976; Pyysalo, 1976; Pyysalo & Suihko, 1976; George *et al.*, 1985; Buchbauer *et al.*, 1993; Breheret, 1997). Pour ce qui concerne *H. repandum*, différents composés en C₈ ont été précédemment rapportés, dont les deux isomères de l'octa-1,3-diène, l'oct-1-èn-3-ol et l'octan-3-one ainsi que des monoterpènes (Breheret, 1997; Breheret *et al.*, 1997a, b; Giacinti-Martinie, 1999).

Que ce soit chez les quatre chanterelles ou le pied-de-mouton, nos analyses CG/SM ont révélé la présence d'une série de 53 composés de diverses familles chimiques parmi lesquels, quelques-uns peuvent être considérés comme des composés odorants-clés. L'octanal et le (E)-oct-2-énal, retrouvés chez quatre des champignons analysés à l'exception de *C. cornucopioides*, participent à leur odeur fruitée mais également à l'odeur fruitée acidulée dite de mandarine de *Lactarius salmonicolor* (Breheret, 1997; Brandily, 2003).

Le benzaldéhyde, identifié chez les quatre chanterelles, mais en proportion importante seulement chez *C. cornucopioides* (7,6 %) où il est associé à l'alcool benzylique, est considéré comme un composé participant, d'une part, à l'arôme de l'abricot (*Prunus armeniaca*), quelquefois en quantité importante dans les variétés très aromatiques (Guichard & Souty, 1988) et, d'autre part, à l'arôme de la prune (*Prunus domestica*) (Ismail *et al.*, 1981). Il faut noter que le benzaldéhyde, retrouvé en concentration importante dans le jus et la confiture de cerise serait responsable de l'arôme de ce fruit (Schmid & Werner, 1986). Parmi les autres composés aréniques, le 2-phényléthanal et le 2-phényléthanol coïncident avec la zone aromatique florale du profil chromatographique des baies de sureau (Poll & Lewis, 1986).

Les composés terpéniques, souvent identifiés en grand nombre dans les fleurs et les fruits participent globalement plus qu'individuellement à leurs arômes. Or, treize monoterpènes et sesquiterpènes ont été détectés chez les chanterelles et le pied de mouton. Le terpinolène par exemple, identifié chez *C. cornucopioides*, est présent comme d'autres terpènes et esters en quantité importante dans les nectarines, traduisant ainsi leur arôme floral ou fruité (Visai & Vanoli, 1997).

Parmi les autres composés volatils, le (Z, E)-déca-2,4-diènal et le (E, E)-déca-2,4-diènal identifiés dans *C. cornucopioides*, *C. tubaeformis* et *H. repandum*, font partie des composés majeurs contribuant à l'arôme de l'abricot (Takeoka *et al.*, 1990). Le dihydroactinidiolide, lactone isolée dans les thés noirs de certaines régions de l'Inde, a été également isolé dans différentes variétés d'abricot (Guichard & Souty, 1988). Le nonanal, isolé chez *H. repandum* et présentant une odeur dite de bois ou de mandarine, est un composé retrouvé en quantité importante dans la cire épicuticulaire de certains cultivars de prune ce qui leur conférerait une odeur remarquable (Ismail *et al.*, 1977). Le nonanal, caractéristique de certains thés noirs indiens (Borse *et al.*, 2002), est également présent dans les cônes de houblon (Steinhaus & Schieberle, 2000). Chez *C. lutescens*, 2 isomères du undécatétraène de stéréochimie non déterminée ont été identifiés en grande quantité. Il faut noter que l'un de ces isomères a été mis en évidence pour la première fois dans des cônes de houblon, et présenterait une odeur fraîche ou balsamique (Steinhaus & Schieberle, 2000).

Parmi tous ces composés volatils, quelques-uns peuvent être considérés comme des composés odorants-clés, c'est-à-dire que leurs odeurs expliquent totalement ou en partie celle du sporophore; il peut s'agir d'un composé unique ou

d'un mélange de composés. Quelques composés odorants-clés — parmi les dérivés en C₈ dont le (E)-octa-1,3-diène ou un mélange de composés associant le benzaldéhyde, les deux isomères du déca-2,4-diène et le dihydroactinidiolide — semblent plus particulièrement responsables de l'odeur « abricot-mirabelle » ou fruitée largement décrite dans la littérature pour les 4 chanterelles et le pied-de-mouton. En fait, un mélange de composés odorants très largement répandus et référencés dans le règne végétal est donc à l'origine des odeurs complexes de *C. cibarius*, de *C. cornucopioides*, de *C. lutescens*, de *C. tubaeformis* et de *H. repandum*.

L'utilisation de plus en plus fine des outils analytiques, ainsi que l'optimisation et le développement de gammes d'extraits végétaux et de bases aromatisantes tendent à les rendre plus proches du désir du consommateur (Jaubert *et al.*, 1987 ; Dratz, 2001). Dans l'aromatization, les molécules volatiles importantes appartiennent aux familles chimiques que nous avons identifiées chez les espèces des genres *Cantharellus*, *Craterellus* et *Hydnum* : alcools, aldéhydes, esters, composés aromatiques, terpènes (Peytavin *et al.*, 1986 ; Mary, 1993). Pour valoriser le potentiel aromatique des champignons et tenir compte des restrictions réglementaires, il apparaît nécessaire d'envisager une approche biotechnologique à la production d'arômes fongiques (Janssens *et al.*, 1992 ; Lesage-Meesen *et al.*, 1996 ; Krings & Berger, 1998).

RÉFÉRENCES

- ADAMS R. P., 1995 — *Identification of essential oil components by gas chromatography-mass spectroscopy*. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, 469 p.
- ARCTANDER S., 1994 — *Perfume and Flavor Chemicals (Aroma Chemicals)*. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, 735 p.
- BORSE B. B., JAGAN MOHAN RAO L., NAGALAKSHMI S. & KRISHNAMURTHY N., 2002 — Fingerprint of black teas from India: identification of the region-specific characteristics. *Food Chemistry* 79: 419-424.
- BRANDILY O., 2003 — Les mycologues ont du nez. *Spécial Champignons Magazine* 32: 14-17.
- BREHERET S., 1997 — *Étude des arômes produits par des carpophores de champignons supérieurs sauvages et par des cultures mycéliennes de Morchella et de Pleurotus*. Thèse de l'Institut national polytechnique de Toulouse, spécialité « Sciences des Agroressources », Toulouse (n° d'ordre 1327), 277 p.
- BREHERET S., TALOU T., RAPIOR S. & BESSIÈRE J.-M., 1997a — Composés volatils: un outil pour la chimiotaxinomie des Basidiomycètes. *Cryptogamie, Mycologie* 18: 111-114.
- BREHERET S., TALOU T., RAPIOR S. & BESSIÈRE J.-M., 1997b — Monoterpenes in the aromas of fresh wild mushrooms (Basidiomycetes). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 831-836.
- BREHERET S., TALOU T., RAPIOR S. & BESSIÈRE J.-M., 1998 — (Z)- and (E)-1,3-octadiene. New major volatile compounds in mushroom aromas (*Basidiomycotina*). *Journal of Essential Oil Research* 10: 716-718.
- BUCHBAUER G., JIROVETZ L., WASICKY M. & NIKIFOROV A., 1993. Zum Aroma von Speisepilzen. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 197: 429-433.
- CLAUS G., 1978 — Des odeurs en mycologie. *Documents mycologiques* 8 (30-31): 31-63.
- COURTECUISSÉ R. & DUHEM B., 2000 — *Guide des champignons de France et d'Europe*. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 476 p.

- DANELL E., 2002 — Current research on chanterelle cultivation in Sweden. *In*: Hall I., Yun W., Zambonelli A. & Danell E. (éds.), *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation*. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms (2-6 July 2001), CD-ROM. New Zealand, Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch.
- DANELL E. & CAMACHO F. J., 1997 — Successful cultivation of the Golden Chanterelle. *Nature* 385: 303.
- DELMAS J., 1989 — *Les champignons et leur culture. Culture actuelle et potentielle des champignons supérieurs*. La Maison Rustique Flammarion, Paris, 970 p.
- DIJKSTRA F. Y., 1976 — Studies on mushroom flavours. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 160: 401-405.
- DRATZ M.T., 2001 — Le champ des odeurs de Jean-Noël Jaubert — Intérêt pédagogique et application en analyse sensorielle descriptive. *Annales des Falsifications de l'expertise chimique et toxicologique* 994: 69-78.
- FLORES R., BRAN M. C. & HONRUBIA M., 2002 — Edible mycorrhizal mushrooms of the west highland of Guatemala. *In*: Hall I., Yun W., Zambonelli A. & Danell E. (éds.), *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation*. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms (2-6 July 2001), CD-ROM. New Zealand, Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch.
- GEORGE V., SHARMA S. D., TRIPATHI A. K. & ABRAHAM S. P., 1985 — Flavour components of some edible fungi from Kashmir. *Pafai Journal* July-September: 27-30.
- GILBERT M. E., 1932 — Osmologie mycologique. *Bulletin de la Société mycologique de France* 48: 241-252.
- GIACINTI-MARTINIE G., 1999 — *Étude de quelques Macromycètes: aspects aromatique et fonctionnel*. Diplôme de Recherche Universitaire, Institut national polytechnique de Toulouse — École nationale supérieure de chimie de Toulouse, 220 p.
- GUICHARD E., & SOUTY M., 1988 — Comparison of the relative quantities of aroma compounds found in fresh apricot (*Prunus armeniaca*) from six different varieties. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 186: 301-307.
- ISMAIL H. M., BROWN G. A., TUCKNOTT O. G., HOLLOWAY P. J. & WILLIAMS A. A., 1977 — Nonanal in epicuticular wax of golden egg plums (*Prunus domestica*). *Phytochemistry* 16: 769-770.
- ISMAIL H. M., WILLIAMS A. A. & TUCKNOTT O. G., 1981 — The flavour components of plums: an examination of the aroma components present in the headspace above four cultivars of intact plums, Marjorie's seedling, Merton Gem, NA 10 and Victoria. *Journal of Science and Food Agriculture* 32: 498-502.
- JANSSENS L., De POOTER H.L., SCHAMP N. M. & VANDAMME E. J., 1992 — Production of flavours by microorganisms. *Process Biochemistry* 27: 195-215.
- JAUBERT J.N., GORDON G & DORE J.C., 1987 — Une organisation du champ des odeurs. Deuxième partie: Modèle descriptif de l'organisation de l'espace odorant. *Parfums, Cosmétiques, Arômes* 78: 71-82.
- JENNINGS W. & SHIBAMOTO T., 1980 — *Qualitative analysis of flavor and fragrance volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography*. Academic Press, New York, 472 p.
- KRINGS U. & BERGER R. G., 1998 — Biotechnological production of flavours and fragrances. *Applied Microbiology & Biotechnology* 49: 1-8.
- LESAGE-MEESEN L., DELATTRE M., HAON M., THIBAUT J. F., COLONNA CEC-CALDI B., BRUNERIE P. & ASTHER M., 1996 — A two-step bioconversion process for vanillin production from ferulic acid combining *Aspergillus niger* and *Pycnoporus cinnabarinus*. *Journal of Biotechnology* 50: 107-113.
- LOCQUIN M., 1984 — Les odeurs. *In: Mycologie générale et structurale*. Masson, Paris, pp. 337-346.
- McLAFFERTY F. W. & STAUFFER D. B., 1989 — *The Wiley NBS Registry of mass spectral data*. Wiley & Sons, New York, 256 p.

- MARTINS A., BAPTISTA P., SOUSA M. J., MEIRELES T. & PAIS M. S., 2002 — Edible mycorrhizal fungi associated with *Castanea sativa* Mill. trees in the north-east of Portugal. *In*: Hall I., Yun W., Zambonelli A. & Danell E. (éds.), *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation*. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms (2-6 July 2001), CD-ROM. New Zealand, Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch.
- MARY I., 1993 — L'arôme par le menu ! *Sciences et Avenir*, hors série 94: 25-29.
- MAZZA R., 1998 — Introduzione alla « micromologia ». *Pagine di micologia* (10): 29-96.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARD AND TECHNOLOGY, 1994 — *PC version of the NIST / EPA / NIH Mass Spectra Database*, version 4.5, U.S., Department of Commerce. Gaithersburg, Maryland.
- PEYTAVIN J.-L., JALLAGEAS J.-C., CROUZET J. & RICHARD H., 1986 — Arômes et parfums. *Biofutur*: 19-30.
- PILZ D., MOLINA R., DANELL E., WARING R., ROSE C., ALEXANDER S., LUOMA D., CROMACK K. & LEFEVRE C., 2002 — SilviShrooms: Predicting edible mushroom productivity using forest carbon allocation modelling and immunoassays of ectomycorrhizae. *In*: Hall I., Yun W., Zambonelli A. & Danell E. (éds.), *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation*. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms (2-6 July 2001), CD-ROM. New Zealand, Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch.
- POLL L. & LEWIS M., 1986 — Volatile components of elderberry juice. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 19: 258-262.
- PYYSAALO H., 1976 — Identification of volatile compounds in seven edible fresh mushrooms. *Acta Chemica Scandinavica* B30: 235-244.
- PYYSAALO H. & SUIHKO M., 1976 — Odour characterization and threshold values of some volatile compounds in fresh mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 9: 371-373.
- RAPIOR S., BREHERET S., TALOU T., PELISSIER Y. & BESSIÈRE J.-M., 2002 — The anise-like odor of *Clitocybe odora*, *Lentinellus cochleatus* and *Agaricus essettei*. *Mycologia* 94: 373-376.
- RAPIOR S., FONS F. & BESSIÈRE J.-M., 2000a — The fenugreek odor of *Lactarius helvus*. *Mycologia* 92: 305-309.
- RAPIOR S., FONS F. & BESSIÈRE J.-M., 2003 — Volatile flavor constituents of *Lepista nebularis*. *Cryptogamie, Mycologie* 24: 159-166.
- RAPIOR S., MAURUC M.J.; GUINBERTEAU J. MASSON C.-L. & BESSIÈRE J.-M., 2000b — Volatile composition of *Gyrophragmium dunalii*. *Mycologia* 92: 1043-1046.
- SCHMID W. & WERNER G., 1986 — Quantitative analysis of the volatile flavor compounds having high aroma values from sour (*Prunus cerasus* L.) and sweet (*Prunus avium* L.) cherry juices and jams. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 183 (1): 39-44.
- SEROT T., PROST C., VISAN L. & BURCEA M., 2001 — Identification of the main odor-active compounds in musts from French and Romanian hybrids by three olfactometric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 1909-1914.
- STEINHAUS M. & SCHIEBERLE P., 2000 — Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. variety Spalter select) based on GC-olfactometry and odor dilution techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1776-1783.
- TAKEOKA G. R., FLATH R. A., MON T. R., TERANISHI R. & GUENTERT M., 1990 — Volatile constituents of apricot (*Prunus armeniaca*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38: 471-477.
- THE MASS SPECTROMETRY DATA CENTRE, 1986 — *Eight peak index of mass spectra*, 3rd ed. Nottingham, The Royal Society of Chemistry, 1338 p.
- THE MERCK INDEX, 2001 — 13^e édition. Merck and Co, INC, Whitehouse Station, USA, 1818 p.

- VISAI C. & VANOLI M., 1997 — Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines. *Scientia Horticulturae* 70 (1): 15-24.
- WOOD W. F., WATSON R. L. & LARGENT D. L., 1990 — The odor of *Agaricus augustus*. *Mycologia* 82: 276-278.
- YUN W., BUCHANAN P. & HALL I., 2001 — A list of edible ectomycorrhizal mushrooms. *In*: Hall I., Yun W., Zambonelli A. & Danell E. (éds.). *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation*. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms (2-6 July 2001), CD-ROM. New Zealand, Institute for Crop and Food Research