

# Variabilité (espèce, forêt, arbre, largeur de cernes et âge) de l'odeur du chêne français de tonnellerie (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) étudiée par flairage de copeaux

François Sauvageot<sup>a\*</sup>, Corinne Tessier<sup>b</sup> et François Feuillat<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Ingénierie Moléculaire et Sensorielle de l'Aliment, École Nationale de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation, Université de Bourgogne, Campus Universitaire, 21000 Dijon, France

<sup>b</sup>Agro-émergences, Theza, 66200, France

<sup>c</sup>Office National des Forêts, Direction Régionale de Bourgogne, 29 rue de Talant, 21000 Dijon, France

(Reçu le 2 janvier 2001 ; accepté le 30 août 2001)

**Résumé** – L'odeur d'échantillons de bois provenant de 288 arbres a été évaluée par un jury de six sujets. Ces 288 arbres provenaient (i) de sept lots de chêne sessile et de cinq lots de chêne pédonculé et (ii) de neuf forêts couvrant les principales zones d'approvisionnement des tonnellerie françaises. Trois forêts (Cîteaux, Darney et Tronçais) étaient représentées à la fois par du chêne sessile et du chêne pédonculé. Le nombre d'arbres sélectionnés par lot était égal à 24 ( $\pm 2$ ). Les échantillons étaient des copeaux déposés à l'intérieur de boîtes en verre. Les sujets ont noté, après flairage et sur une échelle à 6 points, l'intensité de six descripteurs : « noix de coco », « vanille », « bois frais », « foin », « clou de girofle » et « pharmacie ». Les résultats ont montré, pour les trois forêts comportant du chêne sessile et du chêne pédonculé, un effet significatif de l'espèce : le bois de chêne sessile développe des odeurs « noix de coco » et « vanille » plus intenses et une odeur « foin » moins intense que le bois de chêne pédonculé. Ces différences entre espèces ont été également, globalement, observées quand le bois provenait de forêts représentées par une seule espèce : l'espèce chêne sessile conduit à des odeurs « noix de coco » et « vanille » plus intenses et à une odeur « foin » moins intense que l'espèce chêne pédonculé. Des différences significatives entre les forêts d'une même espèce ont été également mises en évidence : elles concernent les descripteurs « vanille », « bois frais » et « clou de girofle » pour l'espèce chêne sessile et le descripteur « pharmacie » pour l'espèce chêne pédonculé. Les corrélations calculées montrent que ces effets « espèce » et « forêt » sont très mal expliqués par les différences de largeur de cernes ou d'âge entre les arbres. Enfin, l'effet « arbre dans forêt » est rarement significatif pour les descripteurs sensoriels. Il est cependant plus élevé pour l'espèce chêne sessile que pour l'espèce chêne pédonculé.

**chêne sessile / chêne pédonculé / tonnellerie / odeur du bois / flairage**

**Abstract – Variation (according to species, forest and tree) in the aroma of French oak cooperage evaluated by the sniffing of wood chips.** A six member jury evaluated the smell of wood samples derived from 288 trees. These trees were classed (i) by species, with seven lots of sessile oak and five lots of pedunculate oak, and (ii) by forest, with six single-species forests and three mixed forests (Cîteaux, Darney and Tronçais) containing both sessile and pedunculate oak. These nine forests covered the principal regions supplying wood to French coopers. The number of trees per lot was 24 ( $\pm 2$ ). The samples consisted of wood chips placed into glass jars.

\* Correspondance et tirés-à-part

Tél. (33) 03 80 39 66 57 ; Fax. (33) 03 80 39 66 11 ; e-mail : Francois.Sauvageot@u-bourgogne.fr

The members of the jury sniffed samples and recorded (on a scale of 0–5) the intensity of the following six descriptors: “coconut”, “vanilla”, “fresh wood”, “hay”, “cloves” and “medicinal”. The results showed that for the three mixed forests there was a significant species effect, with the wood of sessile oak giving more intense “coconut” and “vanilla” odours and a less intense “hay” odour than the wood of pedunculate oak. In general, the species effect was equally observed in the wood from forests representing a single species: the sessile oak species produced more intense “coconut” and “vanilla” odours and a less intense “hay” than the pedunculate oak species. Some significant differences between forests of the same species were also found. These differences concerned the “vanilla”, “fresh wood” and “clove” descriptors for sessile oak, and the “medicinal” descriptor for pedunculate oak. Calculated correlation coefficients indicated that the effects of “species” and “forest” could not simply be explained by differences in the width of annual growth rings or tree age. Finally, the three within forest effect is rarely significant for sensory descriptors. However, this effect is stronger for the sessile oak species than for the pedunculate oak species.

**sessile oak / pedunculate oak / cooperage / wood aroma / sniffing**

## 1. INTRODUCTION

Depuis une douzaine d’années, un certain nombre de travaux [par exemple 2, 4, 6, 11–14, 16, 17, 24, 25] ont étudié la composition (qualitative et quantitative) en extractibles des bois de chêne utilisés en tonnellerie (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl., *Quercus alba*). L’objectif général de ces travaux était de préciser l’influence du bois neuf sur la qualité des boissons élaborées en fûts. En effet, les molécules du bois qui sont extraites par le vin ou l’eau-de-vie sont, pour une grande part, considérées comme responsables de l’impact organoleptique du fût neuf [2, 6, 20, 22] et elles sont à l’origine de la pratique, massive dans les nouveaux pays producteurs de vin, de l’addition de copeaux au cours de la maturation des vins [19]. Parmi les substances cédées par le fût neuf, certaines comme celle connue sous le nom de whisky lactone à odeur rappelant le « chêne frais » et la « noix de coco » sont naturellement présentes dans le bois de chêne, alors que d’autres, comme les guaiacols caractéristiques de la nuance « brûlé », apparaissent lors de la chauffe des douelles [6].

Francis et al. [9] et Mosedale et Ford [15] ont étudié l’arôme du bois de chêne par approche sensorielle. Ces auteurs ont demandé à leurs sujets d’évaluer l’odeur d’extraits hydro-alcooliques afin de se rapprocher des conditions d’utilisation du bois dans les vins [9] ou les eaux-de-vie [15]. Mais il n’existe pas, à notre connaissance, d’étude portant sur la variabilité de l’arôme spécifique du bois de chêne après séchage à l’air. Cependant, l’odeur caractéristique de certaines essences est parfois utilisée comme un critère pour la reconnaissance des bois : odeur de « rance » pour l’orme et le sapin frais, odeur de « moisi » pour le tilleul, odeur de « brou » pour le noyer, odeur « épiceée » pour le pin pignon, odeur de

« citron » pour le cyprès (*Chamaecyparis* de Lawson), odeur de « coumarine » pour le poirier et le cerisier, odeur de « crayon » pour les génévriers [27]. Les chênes des espèces sessile et pédonculé présentent également une odeur typique, couramment associée à celle rencontrée dans les scieries ou les menuiseries. De plus, lorsque l’on interroge les fendeurs de merrains, il semble que des nuances aromatiques différentes selon l’origine du chêne apparaissent lors de la fente des grumes.

Le travail qui suit a porté sur 288 chênes sessiles et pédonculés provenant de neuf origines géographiques couvrant les principales zones d’approvisionnement en chênes à merrains français, à l’exception de la Normandie. L’étude a consisté à demander à un jury entraîné de flairer des copeaux bruts provenant de ces 288 arbres et n’ayant jamais macéré dans aucun solvant. L’objectif était de mieux caractériser l’odeur du bois de chêne séché à l’air et d’en évaluer la variabilité. Les résultats ont été analysés en fonction de variables forestières connues (forêt, espèce et arbre) ou mesurées sur les arbres (largeur de cernes et âge).

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. L’échantillonnage

#### 2.1.1. Le choix des arbres

Douze lots monospécifiques (chêne sessile ou chêne pédonculé) de 24 arbres ont été sélectionnés dans neuf régions françaises (*tableau 1*). Cinq lots étaient constitués par des chênes pédonculés et sept lots par des chênes sessiles. Trois forêts (Cîteaux, Darney et Tronçais) étaient

**Tableau I.** Nombre d'arbres par lot (avec, entre parenthèses, le numéro du département français), largeur moyenne de cernes (depuis la moelle) et âge moyen par lot (avec, entre parenthèses, l'écart type). Source : Feuillat et al. [8].

Lot (département)	Nombre d'arbres	Largeur de cernes (en mm)	Age total (en années)
<b>chêne sessile :</b>			
Bertranges (58)	24	1,93 (0,20)	136 (11)
Bitche (57)	24	1,35 (0,25)	195 (34)
Cîteaux (21)	23	1,92 (0,27)	141 (17)
Darney (88)	22	1,62 (0,25)	169 (28)
Jupilles (72)	24	1,30 (0,20)	184 (27)
Saint-Palais (18)	24	1,90 (0,23)	128 (14)
Tronçais (03)	24	1,51 (0,20)	174 (16)
<b>chêne pédonculé :</b>			
Cîteaux (21)	25	1,96 (0,36)	152 (20)
Darney (88)	26	1,61 (0,26)	180 (52)
Limousin (87)	24	2,47 (0,42)	130 (26)
Sud-Ouest (32 – 40)	24	2,46 (0,42)	121 (23)
Tronçais (03)	24	1,58 (0,18)	167 (17)

représentées à la fois par du chêne pédonculé et par du chêne sessile. Quatre forêts (Bertranges, Bitche, Jupilles et Saint Palais) comportaient uniquement du chêne sessile et deux (Limousin et Sud-Ouest) uniquement du chêne pédonculé.

Dans chacun des lots, les arbres ont été choisis dans deux types stationnels préalablement identifiés (12 arbres par type) ; chaque arbre devait répondre aux critères correspondant à la qualité « merrain ». Pour les deux origines Limousin et Sud-Ouest, les arbres ont été sélectionnés dans deux sites géographiquement éloignés d'une cinquantaine de km (12 arbres par site) de sorte que l'origine appelée « Limousin » regroupe deux forêts privées de la Haute-Vienne et l'origine appelée « Sud Ouest » deux forêts communales situées, l'une, dans les Landes (Laurède) et, l'autre, dans le Gers (la forêt de Montlezun). Pour des raisons de simplicité, nous avons conservé dans le texte qui suit les appellations impropres de forêt du Limousin et de forêt du Sud-Ouest.

Les arbres ont été repérés à l'état défeuillé (hiver 1996/1997) sur les critères suivants : morphologie caractéristique de l'espèce (écorce, cylindricité du tronc, allure du houppier, branchaison, longueur des pédoncules des glands se trouvant au sol), dimension du tronc (diamètre entre 50 et 85 cm) et qualité externe de la grume (absence de gélivure et de picots, faible nodosité, rectitude du fil de bois). L'obtention de greffes des arbres « mères » (cinq greffes par arbre) suivie d'une analyse morphologique basée sur trois critères foliaires a conduit à ré-affecter l'espèce de huit arbres, mal identifiés sur le terrain [8]. Sept arbres concernaient la forêt de Darney (5 chênes sessiles et 2 chênes pédonculés) et le dernier

concernait la forêt de Cîteaux (1 chêne sessile), de sorte que pour ces deux forêts le nombre d'arbre par lots a différé de 1 ou 2 unité(s) par rapport au nombre initial : 24 (*tableau I*).

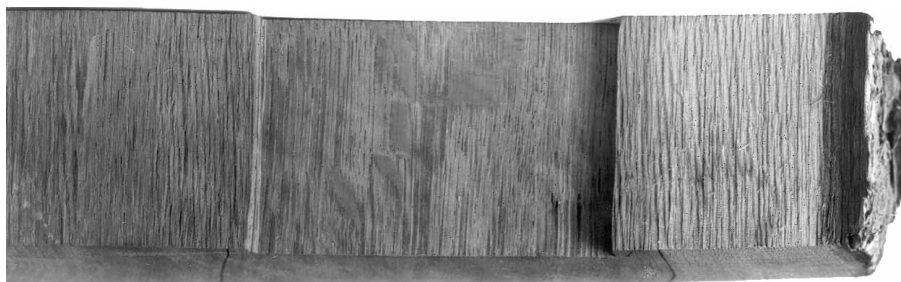
### 2.1.2. La fabrication des merrains et des échantillons utilisés pour la caractérisation du bois

Les arbres ont été débités, entre avril et juin 1997, en merrains par 7 merrandiers selon la technique traditionnelle de fente. Une rondelle de 7 cm d'épaisseur a été découpée entre les deux billons de merrain (fonds et douelles) destinés à la fabrication des fûts. La rondelle a ensuite été découpée de manière à obtenir un barreau parallélépipédique contenant la moelle et l'écorce [8].

Les barreaux ont été séchés sous abri pendant 15 mois. Chaque barreau a été ensuite divisé en trois parties destinées, respectivement, à des études anatomique, chimique et sensorielle. La zone d'étude des propriétés du bois correspond à la partie du bois utilisé pour la fabrication des merrains de l'expérimentation, c'est-à-dire à une couronne de 10 cm dans le duramen externe (*figure 1*).

### 2.1.3. La mesure de la largeur de cernes et de l'âge

Pour chaque arbre, cinq paramètres ont été mesurés, sur deux rayons diamétralement opposés, par le Laboratoire de Recherches en Sciences Forestières de l'ENGREF de Nancy : la largeur moyenne de cernes de la moelle à l'écorce, la largeur moyenne de cernes dans la zone merrain, l'âge total de l'arbre, l'âge cambial de la zone merrain (nombre de cernes comptés depuis la moelle



**Figure 1.** Photographie d'un 1/2 barreau. Les copeaux ont été prélevés dans la partie en creux du duramen externe. À l'extrémité droite : l'écorce.

jusqu'au cerne central de la zone merrain) et l'âge de duraminisation de la zone merrain (nombre de cernes comptés depuis la limite aubier-duramen jusqu'au cerne central de la zone merrain). Les valeurs moyennes par lot pour la largeur moyenne de cernes (de la moelle à l'écorce) et l'âge total de l'arbre sont données dans le *tableau 1*.

#### **2.1.4. La préparation des copeaux et la présentation des échantillons utilisés pour le flairage**

Les copeaux ont été prélevés à l'aide d'un rabot électrique (Bosch, modèle PHO 35-82 C) dans la direction longitudinale radiale sur l'un des deux rayons de chacun des 288 barreaux (*figure 1*) ; la hauteur de « coupe » était réglée sur 2 mm. À noter que des variations de forme selon les arbres ont été observées sur les copeaux, imputables sans doute à des différences de structure anatomique. La surface des copeaux utilisés pour l'analyse a varié entre 0,5 et 1 cm<sup>2</sup> (pour une épaisseur de l'ordre de 1 mm). Les copeaux ont été conservés dans des sacs plastiques alimentaires (sans odeur) fermés (par un élastique) pendant une durée comprise entre un et trois jours. La veille de leur évaluation, les copeaux étaient introduits dans des bocaux cylindriques en verre d'un volume égal à 1 litre à raison de 4 grammes par bocal. Les bocaux, une fois remplis, étaient recouverts par une boîte de Petri.

### **2.2. Le groupe d'évaluation sensorielle**

Il était composé, à l'origine, de huit sujets (3 femmes et 5 hommes) âgés entre 22 et 25 ans. Ces sujets, indemnisés financièrement, avaient participé, avant l'expérience rapportée dans cet article, à quatorze séances d'analyse sensorielle (durée moyenne d'une séance : 45 minutes). Au cours de ces séances, les sujets avaient effectué différentes tâches, notamment : (1) une

sélection de descripteurs pour caractériser l'odeur d'échantillons de bois massif séché à l'air à partir de la liste utilisée par Sauvageot et Feuillat [22] pour étudier l'apport du bois de chêne à l'arôme d'un Pinot noir élevé en fûts neufs ; (2) des classements d'intensité sur des échantillons provenant des cinq arbres de la forêt de Cîteaux étudiés par Sauvageot et Feuillat [22] ; ces classements avaient porté sur quatre descripteurs : « vanille », « boisé », « foin » et « bouchon (liège) », l'objectif étant d'optimiser la méthode d'évaluation sensorielle (par exemple : mode de présentation des échantillons (bois massif ou copeaux) ; forme du récipient dans lequel les copeaux étaient introduits (bocal cylindrique, Erlenmeyer, verre AFNOR) ; macération ou non des copeaux dans de l'eau ; conservation ou non des échantillons...) ; (3) une génération libre de descripteurs pour caractériser à la fois les copeaux secs et un échantillon de whisky lactone fourni gracieusement par la Station des arômes de l'INRA-Dijon ; (4) un apprentissage de certains descripteurs (comme « bois frais »).

Sur ces huit personnes, deux (un homme et une femme) n'ont pas pu participer à la deuxième répétition (voir section 2.4.), de sorte que les résultats présentés dans les pages qui suivent ont été obtenus sur les réponses données par un groupe de six personnes.

### **2.3. La technique d'évaluation sensorielle**

Les copeaux ont été évalués par flairage. Pour chaque échantillon, les sujets ont évalué, sur une échelle à 6 points (avec 0 : intensité nulle et 5 : intensité très forte), l'intensité des six descripteurs suivants : « noix de coco », « vanille », « bois frais », « foin », « clou de girofle » et « pharmacie ». Les termes « noix de coco » et « bois frais » sont caractéristiques de l'odeur de la whisky lactone, substance aromatique caractéristique du bois de chêne [1, 2]. Le terme « vanille » est associé à la

présence de vanilline dans le bois ; mais il a également été cité, par trois des six sujets de l'étude, comme très caractéristique de l'échantillon de whisky lactone. Les odeurs « clou de girofle » et « pharmacie » sont associées à la présence, dans le bois, d'eugénol et d'autres phénols. Enfin, la présence du descripteur « foin » s'explique par l'utilisation fréquente de ce terme lors de la séance de génération des descripteurs.

#### 2.4. Le plan d'expérience et l'organisation des séances

Deux répétitions (sur des échantillons différents) ont été effectuées en juillet 1998, avec un intervalle de quinze jours entre les deux répétitions. La personne qui a prélevé les copeaux, préparé les bocaux et assuré le suivi des séances a été la même pour les deux répétitions (C. Tessier).

Chaque sujet a évalué, au cours d'une séance, l'odeur de 48 échantillons. Douze ((288 × 2) / 48) séances ont donc été nécessaires pour effectuer les deux répétitions.

Les échantillons étaient disposés sur quatre tables, à raison de 12 bocaux par table et d'un bocal de chaque lot par table. Au cours d'une séance, quatre arbres de chaque lot étaient donc évalués (avec 2 arbres par type stationnel). Le numéro de l'arbre, dans chaque type stationnel, avait été tiré au hasard.

Les sujets venaient, au cours d'une demi-journée, évaluer les échantillons à l'heure de leur choix ; ils choisissaient eux-mêmes l'ordre des tables (et également, dans une table, l'ordre des échantillons). La durée d'une séance était libre (en moyenne : 40–45 minutes). Les sujets pouvaient flairer un échantillon autant de fois qu'ils le désiraient. En revanche, ils ne pouvaient pas revenir sur un échantillon déjà évalué. Les sujets répondaient sur un questionnaire papier (Fizz, Biosystèmes, 21560 Couternon, France).

Le temps d'attente entre l'ouverture du même bocal par deux sujets différents a été au moins égal à 20 minutes.

#### 2.5. L'exploitation statistique

Pour chaque répétition, pour chaque descripteur et chaque arbre, la note qui a été soumise à l'analyse statistique a été la note moyenne calculée sur les réponses des six sujets. L'effet « forêt » a été étudié, pour chacune des deux espèces, au moyen d'une analyse de la variance (ANOVA) à trois facteurs : deux facteurs fixes et croisés (les facteurs « forêt » et « répétition ») et un facteur aléatoire, emboîté dans le facteur « forêt » : le facteur « arbre » (voir également les légendes des *tableaux II et III*). L'effet « espèce » a été étudié, d'une part, au moyen d'une ANOVA à quatre facteurs pour les trois forêts Cîteaux, Darney et Tronçais (avec le facteur « forêt » considéré comme un facteur fixe) et, d'autre part, au

**Tableau II.** Effet « forêt » dans le cas de l'espèce chêne sessile. En caractères gras : les probabilités conduisant à des effets significatifs ( $p < 0,05$ ). Quand l'effet est significatif, les différences entre moyennes sont recherchées au moyen du test de Duncan : des moyennes affectées en exposant d'une lettre différente sont différentes à  $p < 0,05$ .

	Moyennes d'intensité (sur une échelle 0–5)							Probabilité attachée à l'effet			
	Bertranges	Bitche	Cîteaux	Darney	Jupilles	St Palais	Tronçais	forêt <sup>2</sup>	rép. <sup>3</sup>	for. × rép. <sup>3</sup>	arbre <sup>3</sup>
N. coco <sup>1</sup>	1,02	1,02	0,89	0,89	0,99	1,15	1,03	0,15	<b>0,0001</b>	0,33	<b>0,03</b>
Vanille	1,25 <sup>b</sup>	1,65 <sup>a</sup>	1,26 <sup>b</sup>	1,27 <sup>b</sup>	1,30 <sup>b</sup>	1,43 <sup>b</sup>	1,30 <sup>b</sup>	<b>0,01</b>	<b>0,0001</b>	0,75	<b>0,04</b>
Bois frais	1,58 <sup>a,b</sup>	1,67 <sup>a</sup>	1,46 <sup>b</sup>	1,43 <sup>b</sup>	1,43 <sup>b</sup>	1,47 <sup>b</sup>	1,58 <sup>a,b</sup>	<b>0,05</b>	<b>0,0001</b>	0,91	0,38
Foin	0,93	0,81	0,85	0,78	0,77	0,81	0,84	0,29	<b>0,0001</b>	0,66	0,85
C. girofle <sup>1</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,44 <sup>a</sup>	<b>0,01</b>	<b>0,0002</b>	0,38	0,46
Pharmacie	0,30	0,19	0,24	0,22	0,26	0,17	0,20	0,12	0,94	0,20	<b>0,001</b>

<sup>1</sup> pour « noix de coco » et « clou de girofle ».

<sup>2</sup> L'effet « forêt » est éprouvé en comparant le CME (carré moyen des écarts) du facteur « forêt » avec le CME du facteur « arbre dans forêt », soit avec 6 degrés de liberté (ddl) au numérateur (7 forêts) et 158 ddl au dénominateur ((24 – 1) × 5 + (23 – 1) + (22 – 1)).

<sup>3</sup> Les effets « répétition », « forêt × répétition » et « arbre dans forêt » sont éprouvés en comparant les CME appropriés avec le CME résiduel, soit avec, respectivement, 1 (pour le facteur « répétition »), 6 (pour l'interaction « forêt × répétition ») et 158 (pour le facteur « arbre dans forêt ») ddl au numérateur et 158 ddl au dénominateur.

**Tableau III.** Effet « forêt » dans le cas de l'espèce chêne pédonculé. En caractères gras : les probabilités conduisant à des effets significatifs ( $p < 0,05$ ). Pour la signification des lettres en exposant, voir la légende du *tableau II*.

	Moyennes d'intensité (sur une échelle 0–5)					Probabilité attachée à l'effet			
	Cîteaux	Darney	Limousin	Sud-Ouest	Tronçais	forêt <sup>1</sup>	rép. <sup>2</sup>	forêt × rép. <sup>2</sup>	arbre <sup>2</sup>
N. coco	0,76	0,85	0,82	0,80	0,76	0,59	<b>0,0001</b>	0,32	0,62
Vanille	1,01	1,09	1,01	0,92	0,98	0,55	<b>0,0001</b>	0,45	0,16
Bois frais	1,48	1,57	1,46	1,36	1,53	0,20	<b>0,0001</b>	0,48	0,14
Foin	0,91	0,93	0,80	0,89	0,91	0,40	<b>0,007</b>	0,79	0,71
C. girofle	0,31	0,26	0,29	0,32	0,33	0,41	<b>0,006</b>	0,13	0,78
Pharmacie	0,24 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,25 <sup>b</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,23 <sup>b</sup>	<b>0,01</b>	0,97	0,08	0,98

<sup>1</sup> La probabilité attachée à l'effet « forêt » est calculée avec 4 ddl au numérateur (5 forêts) et 118 dl au dénominateur ((24 – 1) × 3 + (25 – 1) + (26 – 1)).

<sup>2</sup> La probabilité attachée aux effets « répétition », « forêt × répétition » et « arbre dans forêt » est calculée avec, respectivement, 1, 4 et 118 ddl au numérateur et 118 ddl au dénominateur.

moyen d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) centrée réduite avec les 12 lots d'arbres comme individus et les 6 descripteurs sensoriels comme variables. L'ACP a été préférée à l'Analyse Factorielle Discriminante, l'objectif de la présente étude étant de « comprendre » les différences entre forêts et espèces et non de porter un diagnostic ou d'assurer une affectation. L'effet « arbre » a été étudié, non seulement au moyen des ANOVAS à trois facteurs indiquées précédemment, mais également au moyen d'une ANOVA à deux facteurs effectuée lot par lot.

Les ANOVAS et l'ACP ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (version 6.12, procédures GLM et PCA).

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. L'effet « forêt » dans le cas de l'espèce chêne sessile

L'ANOVA à 3 facteurs (modèle : descripteur = forêt + arbre dans forêt + répétition + forêt × répétition + erreur) met en évidence trois descripteurs pour lesquels l'effet « forêt » est significatif (*tableau II*) : « vanille », « bois frais » et « clou de girofle ». Le descripteur « vanille » oppose les arbres de la forêt de Bitche (qui développent l'odeur « vanille » la plus intense) aux arbres de toutes les autres forêts. Le descripteur « bois frais » est également perçu comme le plus intense pour Bitche, mais deux forêts obtiennent des notes très proches de cette forêt : Bertranges et Tronçais. À l'inverse, le descripteur

« clou de girofle » est perçu comme étant le plus faible pour Bitche et le plus élevé pour Tronçais. La forêt de Bitche se caractérise donc par des odeurs « vanille » et « bois frais » (relativement) intenses et par une odeur « clou de girofle » faible ; pour les trois autres descripteurs, elle se situe en position moyenne sauf pour le descripteur « pharmacie » pour lequel elle arrive en avant dernière position.

Le facteur « répétition » est très hautement significatif pour cinq descripteurs. Ce phénomène est dû à ce que les sujets ont donné des notes moyennes plus élevées lors de la répétition 2 que lors de la répétition 1. Mais comme l'interaction forêt × répétition n'est jamais significative, ce phénomène ne remet pas en cause les conclusions précédentes sur l'effet « forêt ».

#### 3.2. L'effet « forêt » dans le cas de l'espèce chêne pédonculé

Alors que trois descripteurs étaient significativement différents pour l'espèce chêne sessile, il existe pour l'espèce chêne pédonculé un seul descripteur pour lequel l'effet « forêt » est significatif : le descripteur « pharmacie ». Ce descripteur oppose la forêt du Sud-Ouest aux quatre autres forêts (Cîteaux, Darney, Limousin et Tronçais, *tableau III*). Pour les cinq autres descripteurs, l'effet « forêt » est négligeable puisque la probabilité attachée à cet effet est toujours très supérieure à la valeur critique 0,05.

Les conclusions concernant le facteur répétition et l'interaction sont identiques à celles émises pour

l'espèce chêne sessile : les notes attribuées lors de la répétition 2 sont plus élevées que celles attribuées lors de la répétition 1, sans toutefois que cette donnée remette en question les conclusions concernant l'effet « forêt » puisque l'interaction forêt × répétition n'est jamais significative.

### 3.3. L'effet « espèce »

Puisqu'il existe un effet « forêt » pour certains descripteurs, l'effet « espèce » peut être étudié seulement dans les trois forêts où les deux espèces sont représentées : Cîteaux, Darney et Tronçais. Une ANOVA à 4 facteurs (selon le modèle : descripteur = forêt + espèce + forêt × espèce + arbre (dans forêt et espèce) + répétition + erreur) conduit à un effet « espèce » significatif pour trois descripteurs : « vanille », « noix de coco » et « foin » (tableau IV). L'espèce sessile apparaît plus « vanille », plus « noix de coco » et moins « foin » que l'espèce pédonculé. Cette conclusion est valable pour les trois forêts puisqu'aucune des trois interactions forêt × espèce n'est significative. Cependant, pour les deux descripteurs « noix de coco » et « vanille », l'effet est légèrement plus élevé pour la forêt de Tronçais que pour la forêt de Darney, la forêt de Cîteaux étant intermédiaire (tableaux II et III). L'observation est inverse pour le descripteur « foin » pour lequel l'effet « espèce » est

légèrement plus élevé pour la forêt de Darney que pour les deux autres forêts.

L'ACP permettant de positionner, sur un même plan, chacun des douze lots étudiés, il est possible d'examiner si les conclusions précédentes peuvent être généralisées. Le premier axe (48 % de l'inertie) oppose les descripteurs « vanille » et « noix de coco » au descripteur « pharmacie » ; le deuxième axe (21 % de l'inertie), plus difficile à caractériser, rendrait compte des différences concernant les descripteurs « foin » et « bois frais » (figure 2a).

Le plan des individus (figure 2b) montre que, pour chacune des trois forêts comportant les deux espèces, le lot chêne sessile est toujours situé sur le premier axe à la droite du lot chêne pédonculé correspondant ; ce phénomène est le plus marqué pour la forêt de Tronçais, conformément aux résultats du tableau IV. De même, les trois lots de chêne sessile s'opposent sur le deuxième axe aux trois lots de chêne pédonculés : les bois provenant des lots sessiles présentent une odeur « foin » plus faible que les bois provenant des lots pédonculés correspondants.

Le caractère plus « noix de coco » et plus « vanille » des lots chênes sessiles, comparés aux lots chênes pédonculés, apparaît clairement : les quatre autres forêts de chêne sessile (Bertranges, Bitche, Jupilles et Saint-Palais) sont situées, sur le premier axe, à la droite des cinq lots de chêne pédonculé. Il semble donc que, de manière

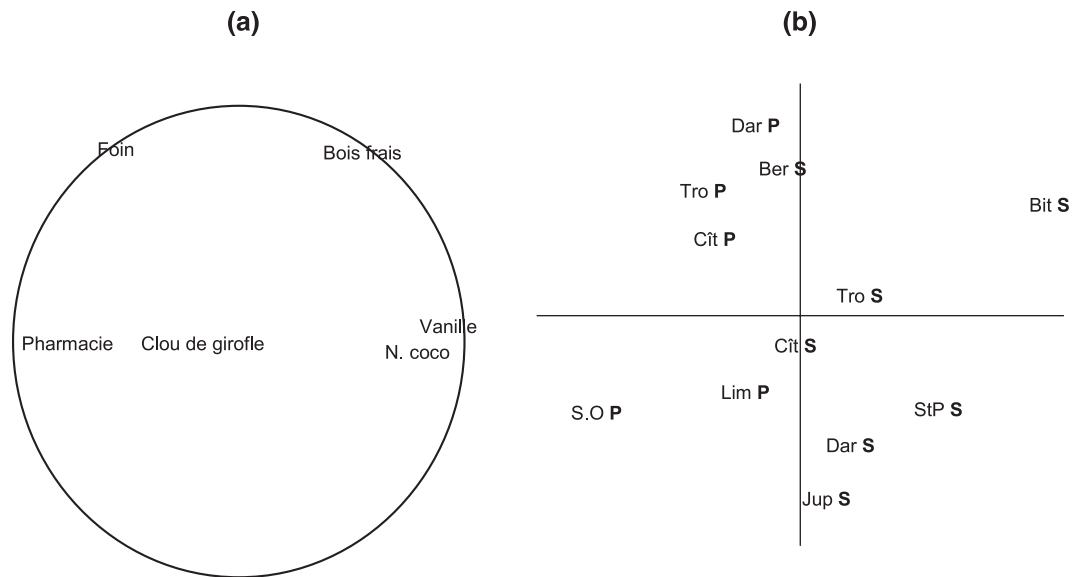
**Tableau IV.** Effet « espèce » pour les trois forêts (Cîteaux, Darney et Tronçais) comportant les deux espèces chêne sessile et chêne pédonculé. En caractères gras : les probabilités conduisant à des effets significatifs ( $p < 0,05$ ).

	Espèce		Probabilité attachée à l'effet		
	ch. sessile	ch. pédonculé	Espèce	forêt × espèce	arbre (dans forêt × espèce)
N. coco	0,94	0,79	<b>0,002</b>	0,13	0,26
Vanille	1,27	1,03	<b>0,0002</b>	0,70	<b>0,02</b>
Bois frais	1,49	1,53	0,47	0,31	0,07
Foin	0,82	0,92	<b>0,027</b>	0,61	0,82
C. girofle	0,33	0,30	0,30	0,38	0,45
Pharmacie	0,22	0,24	0,53	0,83	0,98

Le modèle utilisé est : descripteur = espèce + forêt + espèce × forêt + arbre dans espèce × forêt + répétition + erreur. Le facteur « répétition » a été considéré, compte tenu des résultats obtenus tableaux III et IV, comme un facteur « bloc » (d'où l'absence des interactions « forêt × répétition » et « espèce × répétition » dans le modèle).

La probabilité attachée aux effets « espèce » et « espèce × forêt » est calculée, respectivement, avec 1 (2 espèces) et 2 (2 espèces × 3 forêts) ddl au numérateur et 138 ddl au dénominateur (les variations entre arbre pour une même espèce et une même forêt :  $(24 - 1) \times 2 + (25 - 1) + (26 - 1) + (23 - 1) + (22 - 1)$ ). Celle attachée à l'effet « arbre dans espèce × forêt » est calculée avec 138 ddl au numérateur et 143 ddl au dénominateur.

La probabilité attachée à l'effet « forêt » n'est pas présentée dans ce tableau. Elle varie entre 0,47 et 0,90 pour tous les descripteurs, sauf pour le descripteur « clou de girofle » pour lequel la probabilité est égale à 0,004 : la forêt de Tronçais développe une odeur « clou de girofle » plus élevée (0,38) que les forêts de Cîteaux (0,30) et de Darney (0,26).



**Figure 2.** Position des variables (6 descripteurs sensoriels, (a)) et des lots (7 de chêne sessile et 5 de chêne pédonculé, (b)) dans le premier plan factoriel de l'Analyse en Composantes Principales. Les lots sont repérés par la forêt (3 caractères) et l'espèce (S ou P en caractères gras). Le premier axe (axe horizontal) et le deuxième axe (axe vertical) rendent compte, respectivement, de 48 % et 21 % de l'inertie.

très générale, les lots de l'espèce sessile présentent des caractères plus « vanille », plus « noix de coco » et moins « foin » que les lots de l'espèce pédonculé. En revanche, le deuxième axe sépare mal les deux espèces.

### 3.4. La position respective des douze lots dans le premier plan factoriel de l'ACP

La figure 2b montre que, parmi les lots de chêne sessile, le lot Bitche est celui qui apparaît, sur l'axe 1, le plus « vanillé » et « noix de coco » et que ce lot s'oppose aux lots Cîteaux et Bertranges qui sont les plus proches des lots de chêne pédonculé. Sur l'axe 2, le lot Bertranges s'oppose, par ses caractères plus « foin » et plus « bois frais », aux lots Darney et Jupilles.

Le descripteur « clou de girofle », significatif cependant pour l'effet « forêt » dans le cas de l'espèce sessile, est mal représenté sur le premier plan factoriel ; en revanche, il contribue seul à la formation de l'axe 3 (non représenté) qui explique 17 % de l'inertie. Cet axe oppose, logiquement, le lot Tronçais (le plus « clou de girofle ») aux lots Darney et Bitche.

Parmi les lots de chêne pédonculé, le lot Sud-Ouest se singularise par sa position extrême sur les deux axes : il est perçu comme le plus « pharmacie », le moins « vanille » et le moins « bois frais ». Il partage cette dernière caractéristique avec le lot du Limousin.

### 3.5. L'effet « arbre »

#### 3.5.1. Les résultats de l'ANOVA à 3 facteurs

Dans ce paragraphe, l'effet est recherché, pour chaque espèce, au moyen du modèle : descripteur = forêt + arbre dans forêt + répétition + forêt × répétition + erreur. L'effet « arbre » n'est jamais significatif dans le cas de l'espèce chêne pédonculé (tableau III) ; en revanche, il est significatif pour trois descripteurs (« noix de coco », « vanille », « pharmacie ») dans le cas de l'espèce chêne sessile (tableau II). Cet effet ne signifie pas, par exemple dans le cas du descripteur « vanille », qu'il existe des différences entre les valeurs brutes observées sur les 165 arbres de l'espèce chêne sessile : il n'est pas calculé avec 164 (165 - 1) degrés de liberté mais avec 161 degrés de liberté, c'est-à-dire qu'il est calculé par sommation de toutes les différences entre arbres à l'intérieur de chacune des sept forêts. Il signifie que, même lorsque l'on a



éliminé l'effet moyen de chaque forêt (c'est-à-dire lorsque l'on a centré toutes les valeurs des arbres d'une même forêt sur la moyenne générale), il existe des différences significatives entre les 165 arbres. La condition de validité à la base de l'approche statistique adoptée est que les variances intra-forêts (pour les *tableaux II et III*) ou intra-lots (pour le *tableau IV*) sont homogènes. Ce postulat semble recevable lorsque l'on examine les écarts types calculés lot par lot (*tableau V*). Le rapport (calculé) entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus faible doit être supérieur à la valeur théorique 2,08 pour les (5) forêts de chêne pédonculé ou à la valeur 2,17 pour les (7) forêts de chêne sessile pour que les écarts types puissent être déclarés significativement différents ( $p < 0,05$ , test de Hartley [5]). Un seul rapport est à la limite de la signification : il implique, pour l'espèce chêne sessile et le descripteur « clou de girofle », les arbres de la forêt de Tronçais dont la variabilité est élevée (écart type égal à 0,26) et ceux de la forêt de Bertranges dont la variabilité, au contraire, est faible (écart type égal à 0,12).

### 3.5.2. Les résultats d'une ANOVA à deux facteurs

L'approche précédente est effectuée espèce par espèce. Il est possible de la compléter par une analyse, lot par lot, effectuée selon le modèle : descripteur = arbre + répétition + erreur. Dans ce cas (données non présentées), l'effet « arbre » est significatif, sur les  $6 \times 12 = 72$  comparaisons effectuées, pour les quatre couples « pharmacie »-Darney chêne sessile ( $p < 0,0001$ ), « vanille »-Darney chêne pédonculé ( $p < 0,01$ ), « bois frais »-Darney chêne pédonculé ( $p < 0,01$ ) et « noix de coco »-Tronçais chêne sessile ( $p < 0,05$ ). Comme le nombre d'observations par arbre est faible (il est égal à 2), l'ANOVA est peu puissante ; c'est pourquoi nous avons également dénombré les couples pour lesquels l'effet « arbre » est significatif à  $p = 0,10$ . L'effet

« arbre » est alors significatif pour sept couples. Comme ceux-ci concernent seulement l'espèce chêne sessile, nous retrouvons un résultat identique à celui obtenu précédemment, à savoir une plus forte variabilité entre arbres pour l'espèce chêne sessile. Ces sept couples impliquent le descripteur « bois frais » pour les trois forêts Jupilles, Cîteaux et Darney, le descripteur « vanille » pour les deux forêts Tronçais et Bitche, le descripteur « foin » pour la forêt de Darney et le descripteur « clou de girofle » pour la forêt de Darney.

Les différences les plus nettes semblent affecter la forêt de Darney puisque les différences sont significatives pour six descripteurs (quatre dans le cas des chênes sessiles et deux dans le cas des chênes pédonculés) et qu'elle est la seule forêt comportant des chênes pédonculés pour laquelle l'effet « arbre » est significatif.

### 3.6. L'effet de la largeur de cernes et de l'âge

Les coefficients de corrélations linéaires calculées sur 288 arbres sont données dans le *tableau VI*. Les deux corrélations les plus élevées concernent l'intensité « vanille » qui diminue ( $p < 0,001$ ) avec la largeur de cernes et augmente ( $p < 0,01$ ) avec l'âge total (la corrélation entre largeur de cernes et âge étant, comme attendu, très hautement significative :  $r = -0,79$ ). Les deux corrélations impliquant le descripteur « vanille » (données non présentées) sont également significatives dans le cas des 165 arbres de l'espèce chêne sessile (avec la largeur moyenne de cernes :  $-0,19$ ,  $p < 0,05$  ; avec l'âge total :  $+0,21$ ,  $p < 0,01$ ) ; mais elles ne le sont pas dans le cas des 123 arbres de l'espèce chêne pédonculé ( $-0,14$  et  $+0,12$  respectivement).

Quand les corrélations sont calculées sur les moyennes par lot, deux coefficients sont significatifs : ils

**Tableau V.** Écart-types entre arbres d'un même lot.

	Espèce sessile							Espèce pédonculé				
	Bertranges	Bitche	Cîteaux	Darney	Jupilles	St Palais	Tronçais	Cîteaux	Darney	Limousin	S-Ouest	Tronçais
N. coco	0,34	0,38	0,31	0,30	0,26	0,37	0,38	0,24	0,17	0,24	0,23	0,24
Vanille	0,36	0,43	0,37	0,45	0,35	0,52	0,41	0,40	0,38	0,30	0,29	0,33
Bois frais	0,29	0,32	0,35	0,30	0,30	0,29	0,27	0,40	0,26	0,34	0,35	0,29
Foin	0,22	0,25	0,25	0,25	0,19	0,22	0,30	0,23	0,22	0,27	0,27	0,24
C. girofle	0,12	0,13	0,13	0,15	0,18	0,15	0,26	0,13	0,13	0,14	0,19	0,16
Pharmacie	0,22	0,15	0,13	0,19	0,21	0,16	0,13	0,18	0,17	0,16	0,25	0,12

**Tableau VI.** Coefficients de corrélations linéaires entre les notes sensorielles et les deux variables largeur de cernes et âge total ( $n = 288$  arbres).

	Largeur moyenne de cernes	Âge total
Noix de coco	- 0,15**	+ 0,09 n.s.
Vanille	- 0,29***	+ 0,21**
Bois frais	- 0,14*	+ 0,10 n.s.
Foin	+ 0,11 n.s.	- 0,06 n.s.
Clou de girofle	+ 0,03 n.s.	- 0,05 n.s.
Pharmacie	+ 0,11 n.s.	- 0,03 n.s.

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

concernent la largeur moyenne de cernes avec d'une part le descripteur « vanille » ( $-0,59, p < 0,05$ ) et d'autre part le descripteur « pharmacie » ( $+0,58, p < 0,05$ ).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Les descripteurs utilisés

Les six descripteurs utilisés par les sujets sont opérationnels puisque chacun d'eux conduit à des différences significatives, au moins pour l'une des comparaisons effectuées (*tableaux II à IV*). Cette observation ne signifie pas que la liste proposée ne puisse pas être améliorée. Ainsi, dans une étude effectuée postérieurement entre les chênes sessiles et les chênes pédonculés de la forêt de Cîteaux, nous avons nous-mêmes introduit deux descripteurs supplémentaires [23] : les descripteurs « acétique » et « gruyère ». Mais il est vrai que l'étude portait alors sur des carottes de sondage de bois frais, et non sur des échantillons de bois séché. Francis et al. [9] avaient utilisé une liste de 9 descripteurs pour caractériser l'odeur d'extraits hydroalcooliques (12 % d'éthanol) de bois de chêne dans trois conditions : à l'état frais, séché à l'air (12 mois) et chauffé. Dans cette liste, deux descripteurs se retrouvent dans notre étude : « noix de coco » et « vanille », et six sont différents : « fenouil », « beurre », « raisin sec », « caramel », « cèdre » et « noisette », l'intensité des trois derniers augmentant fortement avec la chauffe du bois et le descripteur « raisin sec » apparaissant caractéristique de l'arôme du bois frais. Le dernier descripteur, « épice », est peut-être synonyme de « clou de girofle ». Dans leur étude portant sur du bois chauffé provenant de deux forêts françaises (Limousin et Tronçais) et effectuée également sur des extraits hydroalcooliques (63 % d'éthanol), Mosedale et Ford [15] ont

obtenu, dans une liste de 40 descripteurs générés par les sujets selon la technique du profil libre, sept termes discriminants : « brûlé », « doux » (ou « sucré » ?), « sciure », « noix de coco », « savon », « aigre-acide » et « phénolique » (ou « pharmaceutique »). Dans cette liste, nous retrouvons trois descripteurs utilisés dans la présente étude : « noix de coco », « sciure » (sans doute synonyme de « bois frais ») et « pharmaceutique ».

Cependant, comme le soulignent Mosedale et Ford [15], les termes peuvent être trompeurs, rendant la comparaison délicate entre études différentes. En effet, des termes différents peuvent traduire la même sensation et des termes identiques traduire des sensations différentes. Ainsi une même molécule odorante peut-être décrite par des termes différents selon les sujets, fonction à la fois de leur perception sensorielle et de leur vécu propres [26]. Dans notre groupe de six sujets, trois d'entre eux ont spontanément décrit un échantillon de whisky lactone comme « noix de coco » alors que les trois autres l'ont décrit comme « vanille » (ce terme ne fait cependant pas partie des descripteurs signalés dans la littérature pour la whisky lactone par Günther et Mosandl [10]. Les différences entre sujets dans la manière de « nommer » les odeurs est un phénomène à présent bien connu (et admis) des praticiens en évaluation sensorielle. Il est à l'origine de la technique dite du profil libre.

Chacun des six sujets de notre étude a apporté une contribution pertinente, mais différente, à la description de l'odeur du bois de chêne. Une ANOVA a été effectuée sujet par sujet de manière à obtenir, pour chaque sujet, un tableau identique au *tableau IV* et à dénombrer le nombre de descripteurs significatifs ( $p < 0,05$ ) par sujet. Les calculs (données non présentées) ont conduit aux valeurs suivantes concernant le nombre de descripteurs significatifs par sujet : 4, 3, 2, 1, 0 et 0. Ces deux derniers sujets, qui n'ont pas perçu de différences significatives entre les deux espèces, sont toutefois efficaces lorsque l'on s'intéresse à l'effet « forêt » : l'un différencie les forêts de l'espèce sessile au moyen du descripteur « clou de girofle » et l'autre, les forêts de l'espèce pédonculé au moyen du descripteur « pharmacie ».

### 4.2. L'intensité des différences sensorielles perçues

Pour les deux différences sensorielles les plus élevées observées entre chênes pédonculés et chênes sessiles (*tableau IV*), la différence est égale (sur une échelle 0-5) à 0,24 ( $p = 0,0002$ ) pour le descripteur « vanille » et à 0,15 ( $p = 0,002$ ) pour le descripteur « noix de coco ». Si nous rapportons ces deux valeurs à la moyenne obtenue

pour le chêne pédonculé, l'augmentation des descripteurs « noix de coco » et « vanille » est, respectivement, de 18 % et de 21 % entre les espèces.

Cette augmentation peut sembler faible, surtout quand on la compare aux différences de teneurs en whisky lactone rapportées dans la littérature. Plusieurs explications peuvent être avancées : (i) un effet « préparation » (les chimistes travaillent sur un extrait hydroalcoolique alors que nos sujets ont flairé des copeaux bruts) ; (ii) un effet « pente dite de Stevens » (la pente de la relation entre le logarithme de l'intensité perçue  $I$  et le logarithme de la teneur en composés actifs  $C$  :  $\ln I = n \ln C$  serait très inférieure à 1, de sorte que des différences notables dans la teneur en composés actifs se traduiraient par des différences sensorielles beaucoup plus faibles ; or beaucoup de composés olfactifs ont des pentes inférieures à 0,50 [18]) ; (iii) une utilisation inadéquate de l'échelle utilisée par les sujets. Nous avons signalé dans la partie « résultats » que les notes moyennes données lors de la répétition 2 étaient plus élevées que celles données lors de la répétition 1 : l'augmentation moyenne est de 0,33 pour le descripteur « noix de coco » et de 0,32 pour le descripteur « vanille ». À mesure que les évaluations avançaient, les sujets ont utilisé de plus en plus la totalité de l'échelle. Lors de la répétition 1, ils évitaient d'utiliser les notes supérieures à 3 : la fréquence d'utilisation des notes 4 et 5 était égale à 0,05 alors qu'elle a presque doublé (elle est passée à 0,09) lors de la répétition 2. Mais si cette tendance à étaler davantage l'échelle s'est traduite par une augmentation de la différence entre chêne sessile et chêne pédonculé pour le descripteur « vanille » (elle est passée de 17 % (répétition 1) à 25 % (répétition 2), le phénomène observé est inverse pour le descripteur « noix de coco » : l'augmentation est passée de 26 % (répétition 1) à 9 % (répétition 2). L'explication d'une utilisation inadéquate de l'échelle est donc mal assurée.

#### 4.3. L'effet « espèce »

Comme nous l'avons signalé dans le paragraphe précédent, les différences d'odeur observées en fonction de l'espèce peuvent, probablement, être expliquées en partie par les variations de teneurs du bois en cis- et trans- $\beta$ -méthyl- $\gamma$ -octalactone mises en évidence entre le chêne sessile et le chêne pédonculé [3, 16, 17]. L'odeur de « noix de coco », signalée dans les vins élevés en fûts de chêne neufs, est attribuée à la cis- $\beta$ -méthyl- $\gamma$ -octalactone, forme la plus odorante de la molécule [1, 6]. L'odeur de « vanille » ne peut probablement pas être imputée à la vanilline puisque ni l'étude de Mosedale et al.

[17] ni celle de Chatonnet et Dubourdieu [3] n'ont montré de teneurs significativement différentes entre les bois des deux espèces ; au contraire, dans ces deux études, le chêne pédonculé est apparu en moyenne un peu plus riche en vanilline que le chêne sessile. L'explication la plus plausible est que l'effet « espèce » sur les odeurs « noix de coco » et « vanille » est due à la même molécule (la whisky lactone), perçue différemment selon les sujets. L'absence de différences entre les deux espèces pour « bois frais », qui apparaît pourtant pour Dubois [6] comme l'un des principaux descripteurs de la whisky lactone, n'est pas en désaccord avec cette hypothèse : pour les sujets de notre étude, la whisky lactone est essentiellement « noix de coco » et « vanille » et les différences concernant le descripteur « bois frais » semblent avoir une autre origine que la variation de ce composé dans le bois.

L'odeur de « foin », plus intense dans le cas de l'espèce pédonculé, ne peut être attribuée à aucun des composés aromatiques déjà identifiés dans le bois de chêne. L'absence d'effet « espèce » sur le descripteur « clou de girofle » est en accord avec les résultats de Mosedale et al. [17] qui, pour la forêt de Cîteaux, n'ont pas observé de différences significatives entre espèces concernant la teneur du bois en eugénol, molécule tenue pour responsable de la note « clou de girofle » [6]. Toutefois Chatonnet et Dubourdieu [3] ont observé des différences de teneur du bois en eugénol entre des chênes de l'Allier (chêne sessile probable) et des chênes du Limousin (chêne pédonculé probable).

#### 4.4. L'effet « forêt »

À espèce identique, on observe des différences sensorielles significatives entre les forêts pour quatre descripteurs : « vanille », « bois frais », « clou de girofle » (espèce sessile, *tableau II*) et « pharmacie » (espèce pédonculé, *tableau III*). À l'exception de « vanille », les trois autres descripteurs n'ont pas montré de variations significatives entre les deux espèces quand on prend en compte les trois forêts où elles sont toutes deux représentées (*tableau IV*). Le manque de données expérimentales ne permet pas d'expliquer l'origine de cet effet « forêt » (effets du milieu, de la sylviculture, de la génétique...). On peut toutefois noter que la différence d'intensité de l'odeur « clou de girofle » observée, pour l'espèce chêne sessile, entre Tronçais et Bitche ou entre Tronçais et Darney est en accord avec les rares travaux relatifs à la variabilité géographique de la composition chimique du bois de chêne. Chatonnet [2] a observé une teneur plus élevée en eugénol (qui confère une odeur de « clou de

girofle ») dans des bois de l'Allier (forêt de Moladier, chêne sessile probable) que dans ceux des Vosges (forêt de Darney, chêne sessile probable). De même Snakkers et al. [25] ont observé des teneurs en eugénol plus élevées dans des bois de chêne sessile de l'Allier que dans des bois de chêne sessile de Lorraine. En ce qui concerne le descripteur « vanille » que nous attribuons à l'odeur de la whisky lactone, on doit noter que ces mêmes auteurs n'ont pas mis en évidence d'effet « région » sur la teneur du bois de chêne sessile en lactone cis.

Les différences d'odeur entre les forêts apparaissent plus faibles pour l'espèce pédonculé (un seul descripteur significatif) que pour l'espèce sessile (trois descripteurs significatifs). Mosedale et Ford [15] ont également trouvé une plus grande diversité aromatique sur des extraits hydroalcooliques réalisés avec des bois de Tronçais (chêne sessile probable) que dans ceux provenant des bois du Limousin (chêne pédonculé probable). Toutefois il convient de souligner que, dans la présente étude, le nombre de forêts de chêne pédonculé [4] est plus faible que celui de forêts de chêne sessile [6], ce qui diminue la puissance de la comparaison entre forêts pour le chêne pédonculé.

#### 4.5. L'effet « arbre »

On aurait pu s'attendre à observer des différences entre arbres d'un même lot plus élevées que celles obtenues. En effet, on sait depuis longtemps que les variations des propriétés du bois de chêne, entre arbres d'un même peuplement, peuvent être considérables (par exemple, [21] et [25]). Dans la présente étude, les coefficients de variation calculés lot par lot oscillent entre 20 et 37 % pour le descripteur « noix de coco », entre 26 et 36 % pour le descripteur « vanille », et entre 17 et 26 % pour le descripteur « bois frais », valeurs qui sont faibles quand on les compare aux variations chimiques interindividuelles. Par exemple, dans l'étude de Masson et al. [12], elles sont, pour la teneur en bois en whisky lactone, proches de 100 % dans le cas de l'espèce chêne sessile et de 50 % dans le cas de l'espèce chêne pédonculé [4]. Or s'il est vrai que, dans la présente étude, l'effet « arbre » a été estimé seulement à partir de 12 valeurs (6 sujets  $\times$  2 répétitions) et que les comparaisons statistiques manquent de puissance, cette explication s'applique mal à la comparaison des valeurs brutes des coefficients de variation.

Les résultats de notre étude sont cependant en accord avec ceux des études chimiques antérieures montrant une plus forte variabilité interindividuelle chez le chêne sessile que chez le chêne pédonculé : en effet, sur 11 descripteurs

pour lesquels l'effet « arbre » est significatif (à  $p < 0,10$ ), 9 concernaient l'espèce chêne sessile.

#### 4.6. L'effet de la largeur de cernes et de l'âge

Dans la pratique courante, la largeur de cernes (synonyme de « grain ») est souvent utilisée comme un indicateur des propriétés des chênes à merrains [7]. Ainsi, les merrains à « grain fin » (par exemple Tronçais) sont les plus prisés pour l'élevage des vins alors que ceux à « gros grain » (par exemple Limousin) sont traditionnellement employés pour le vieillissement des eaux-de-vie (Cognac et Armagnac).

On peut alors se poser la question de savoir si ce classement des merrains en fonction du « grain » est pertinent vis-à-vis de l'intensité de l'odeur du bois après séchage. Si l'on prend l'exemple du descripteur « vanille », la réponse est affirmative puisque son intensité augmente de manière significative quand la largeur du « grain » diminue. Cependant, la valeur prédictive de la corrélation (donc du « grain ») est très faible (8 %,  $R = -0,29$ ) quand elle est examinée au niveau « arbre » même si elle augmente très notablement quand elle est examinée au niveau « lot » (35 %,  $R = -0,59$  ; *figure 3*).

Toutefois cette dernière valeur ne permet pas de conclure à un effet du « grain » sur les différences d'intensité du caractère « vanille » observées entre espèces ou entre forêts. Pour les trois forêts représentées par du chêne rouvre et du chêne pédonculé, les différences entre les espèces sont observées à largeur de cernes quasi identique. Dans le cas de l'espèce sessile, la diminution de la note « vanille » avec l'augmentation de la largeur de cernes n'est que très peu convaincante car elle est uniquement due au lot « Bitche ». En effet, à largeur de cernes identique, les lots Bitche et Jupilles diffèrent significativement pour le caractère « vanille » et, au contraire, à largeur de cernes différente, les lots Jupilles, Tronçais, Darney, Cîteaux et Bertranges ont des notes extrêmement proches. De plus, le lot Saint Palais qui présente des cernes plutôt larges et la note « vanille » la plus élevée (après Bitche) est en contradiction avec le sens général de la corrélation (cernes larges, note « vanille » faible). En d'autres termes, la corrélation présentée dans la *figure 3* peut être expliquée par la différence de largeur de cernes entre les lots de l'espèce sessile (notamment Jupilles et Bitche, qui sont les plus « vanille ») et les lots de l'espèce pédonculé (notamment Limousin et Sud-Ouest), qui sont les moins « vanille ». Cette conclusion est en accord avec l'étude de Mosedale et al. [17] qui, sur la forêt de Cîteaux, ont montré des différences significatives de teneur du bois en whisky lactone (composés tenus pour

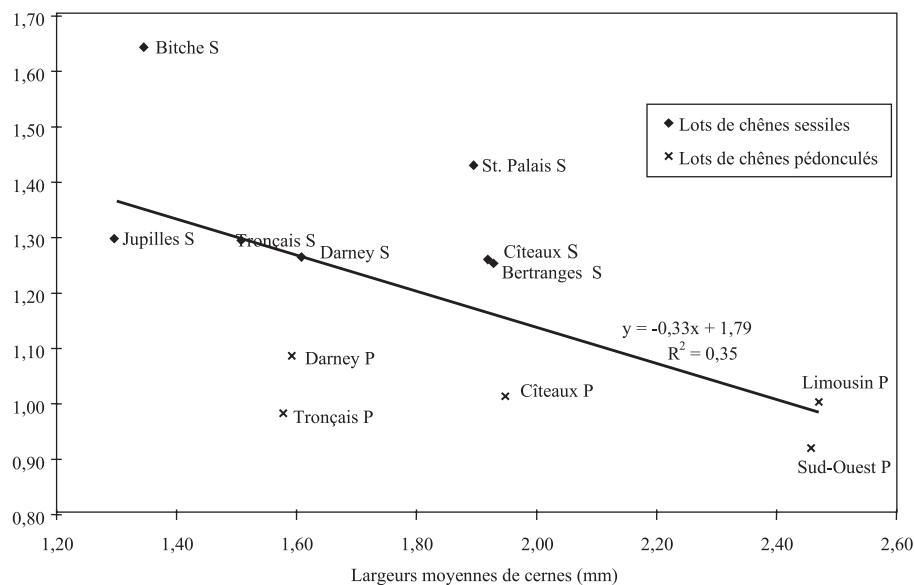


Figure 3. Corrélation entre l'intensité du descripteur « vanille » et la largeur moyenne de cerne des lots.

responsables, dans la présente étude, des notes « noix de coco » et « vanille » entre les espèces et entre les arbres, différences qui n'étaient pas liées à la largeur de cerne. Ces résultats confortent notre hypothèse [7] selon laquelle l'effet « grain » sur les propriétés chimiques (et par conséquent sur les propriétés sensorielles) du bois de chêne pourrait être expliqué, en grande partie, par une différence de représentation des espèces dans les merrains à « grain fin » (prédominance de l'espèce chêne sessile) et dans le merrains à « gros grain » (prédominance de l'espèce chêne pédonculé). À cet égard, la comparaison entre les arbres de Tronçais (chênes sessiles et pédonculés à « grain fin ») et les arbres du Limousin (chênes pédonculés à « grain plus grossier ») constitue peut-être (voir tableaux II et III) la meilleure illustration de cette opinion.

## 5. CONCLUSION

La présente étude, effectuée par flairage de copeaux non macérés, a mis en évidence des différences d'odeur significatives en fonction de l'espèce et de la forêt. Le bois de chêne sessile développe une odeur plus marquée pour les descripteurs « noix de coco » et « vanille » et moins marquée pour le descripteur « foin » que le bois de chêne pédonculé. Ces différences entre espèces sont observées dans chacune des trois forêts comportant les deux espèces (Darney, Cîteaux et Tronçais) ; elles sont également, globalement, observées quand le bois provient de

forêts représentées par une seule espèce : l'espèce sessile conduit à des odeurs « noix de coco » et « vanille » plus intenses et à une odeur « foin » moins intense que l'espèce pédonculé dans les forêts comportant une seule espèce. Des différences significatives entre les forêts d'une même espèce ont été également observées : elles portent sur les descripteurs « vanille », « bois frais » et « clou de girofle » pour l'espèce chêne sessile et le descripteur « pharmacie » pour l'espèce chêne pédonculé. Par ailleurs, la variabilité sensorielle de l'odeur du bois de chêne semble faiblement corrélée avec la largeur de cerne (« grain ») ou avec l'âge des arbres. L'effet « grain » des merrains sur l'arôme boisé des vins élevés en fûts neufs de chêne pourrait être lié à une différence de représentation des espèces dans les approvisionnements en bois.

## RÉFÉRENCES

- [1] Boidron J.-N., Chatonnet P., Pons M., Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins, Rev. Fr. Œnol. 144 (1988) 54-59.
- [2] Chatonnet P., Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins. Applications technologiques, Mémoire de DERUB, Institut d'Oenologie, Université de Bordeaux II, 1991, 224 pp.
- [3] Chatonnet P., Dubourdiou D., Comparative study of the characteristics of american white oak (*Quercus alba*) and european oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for production of

barrels used in barrel aging of wines, *Am. J. Enol. Vitic.* 49 (1998) 79–85.

[4] Chatonnet P., Caractéristiques et intérêts du bois de chêne de Russie Adyghé-Moreau : nouvelles acquisitions et perspectives, *Rev. Fr. Œnol.* 175 (1999) 20–24.

[5] Dagnélie P., Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : inférence statistique à une et à deux dimensions, De Boeck et Larcier, Paris-Bruxelles, 1998, 659 pp.

[6] Dubois P., Apports du fût de chêne neuf à l'arôme des vins, *Rev. Fr. Œnol.* 120 (1989) 19–24.

[7] Feuillat F., Keller R., Huber F., « Grain » et qualité du chêne de tonnellerie (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) : mythe ou réalité ? *Rev. Œnologues*, 87 (1998) 11–15 (1<sup>re</sup> partie) ; 88 : 30–32 (2<sup>e</sup> partie).

[8] Feuillat F., Keller R., Sauvageot F., Puech J.-L., Characterization of French oak cooperage (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.). Research of the study group on barrel-aging Burgundy wines, *Am. J. Enol. Vitic.* 50 (1999) 513–518.

[9] Francis I.L., Sefton M.A., Williams P. J., A study by sensory descriptive analysis of the effects of oak origin, seasoning, and heating on the aromas of oak model wine extracts, *Am. J. Enol. Vitic.* 43 (1992) 23–30.

[10] Günther C., Mosandl A., Chirospesifische analyse natürlicher Aromastoffe : 3-methyl-4-octanolid – « *Quercus* lacton-Whiskylacton », *Z. Lebensm. Unters. Forsh.* 185 (1987) 1–4.

[11] Masson G., Moutounet M., Puech J.-L., Ellagitannin content of oak wood as a function of species and of sampling position in the tree, *Am. J. Enol. Vitic.* 46 (1995) 262–268.

[12] Masson G., Guichard B., Fournier N., Puech J.-L., Stereoisomers of  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -octalactone. II – Content in wood of French (*Quercus robur* and *petraea*) and American (*Quercus alba*) oaks, *Am. J. Enol. Vitic.* 46 (1995) 424–428.

[13] Mosedale J.-R., Charrier B., Janin G., Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*), *Forestry* 69 (1996) 111–124.

[14] Mosedale, J.-R., Charrier B., Crouch N., Janin G., Savill P., Variation in the composition and content of ellagitannins in the heartwood of European oaks. A comparison of two French forests and variation with heartwood age, *Ann. Sci. For.* 53 (1996) 1005–1018.

[15] Mosedale J.-R., Ford J., Variation of the flavour and extractives of European oak wood from two French forests, *J. Sci. Food Agric.* 70 (1996) 273–287.

[16] Mosedale J.-R., Savill P., Variation of heartwood phenolics and oak lactones between the species and phenological types of *Quercus petraea* and *Q. robur*, *Forestry* 69 (1996) 47–54.

[17] Mosedale J.-R., Feuillat F., Baumes R., Dupouey J.-L., Puech J.-L., Variability of wood extractives among European oaks (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) and their relation to wood anatomy and leaf morphology, *Can. J. For. Res.* 28 (1998) 1–13.

[18] Patte F., Etcheto M., Laffort P., Selected and standardized values of suprathreshold odor intensities for 110 substances, *Chem. Senses Flavor* 1 (1975) 283–305.

[19] Pérez-Coello M.S., Gonzalez-Vidnas M.A., Garcia-Romero E., Cabezudo M.D., Sans J., Chemical and sensory changes in white wines fermented in the presence of oak chips, *Int. J. Food Sci. Technol.* 35 (2000) 23–32.

[20] Piggott J.-R., Conner J.M., Melvin J.L., The contribution of oak lactone aroma of wood-aged wine. in: Charalambous G. (Ed.), *Food Flavors: Generation, analysis and process influence*, Elsevier Science, 1995, pp. 1695–1712.

[21] Polge H., Keller R., Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt de Tronçais, *Ann. Sci. For.* 30 (1973) 91–125.

[22] Sauvageot F., Feuillat F., The influence of oak wood (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl.) on the flavor of Burgundy pinot noir. An examination of variation among individual trees, *Am. J. Enol. Vitic.* 50 (1999) 447–450.

[23] Sauvageot F., Feuillat F., Quelques données expérimentales récentes concernant les différences sensorielles entre les deux espèces de chêne français utilisées en tonnellerie (chêne rouvre et chêne pédonculé), *Rev. Œnologues* 92 (1999) 17–19.

[24] Sefton M.A., Francis I.L., Williams P.J., Volatile flavour components of oakwood. in: Williams P.J., Davidson D., Lee T.H., (Eds.) *Proceedings of the 7th Australian Wine Industry Technical Conference*, Aug. 14–17, 1989, Australian Industrial Publishers, Adelaide, 1990, pp. 107–112.

[25] Snakkers G., Neveu G., Guilley E., Cantagrel R., Variabilité géographique, sylvicole et individuelle de la teneur en extractibles de chênes sessiles français (*Quercus petraea* Liebl.) : polyphénols, octalactones et phénols volatils, *Ann. For. Sci.* 57 (2000) 251–260.

[26] Sulmont C., Impact de la mémoire des odeurs sur la réponse hédonique au cours d'une exposition répétée, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2000, 163 pp.

[27] Venet J., Keller R., Identification et classement des bois français. 2<sup>e</sup> édition, ENGREF, Nancy, 1986, 89 pp.