

Le Projet «Fûts de chêne suisses» de l'Ecole d'ingénieurs de Changins

Elevage des vins du terroir en fûts de chêne du terroir

Judith AUER, A. RAWYLER et Nicole DUMONT-BEBOUX, Ecole d'ingénieurs de Changins, 1260 Nyon 1

@ E-mail: judith.auer@eic.vd.ch
Tél. (+41) 22 36 34 050.

Résumé

L'utilisation, pour l'élevage des vins, de fûts de chêne dont l'espèce botanique et l'origine géographique sont contrôlées, ne prend tout son sens que si des traits spécifiques, regroupés ici sous la dénomination de «Terroirs Chêne», sont conférés aux vins par ces bois. L'Ecole d'ingénieurs de Changins s'est attachée à mettre en évidence et à caractériser ces «Terroirs Chêne» par des analyses chimiques de la teneur en composés (semi-) volatils aromatiques de merrains de chênes sessile et pédonculé de diverses origines et par l'analyse sensorielle de vins de Chardonnay et de Pinot noir élevés dans ces bois. L'analyse en composantes principales des données brutes du bois a non seulement permis de discriminer des chênes à l'échelle de la région (Jura *versus* Plateau), à celle du massif forestier et selon leur espèce, mais également de différencier des vins selon ces mêmes critères. Même si le bouquet boisé dû à l'espèce et à l'origine du chêne est aussi influencé par la matrice-vin (rouge ou blanc) et par la durée de l'élevage, l'existence de «Terroirs Chêne» paraît bien réelle, ce qui est tout à l'avantage du praticien.



Chêne de tonnellerie typique. ▷

Introduction

Après plusieurs mois d'élevage sous bois, le vin développe un complexe aromatique original et unique. Son profil sensoriel est étroitement dépendant du bois de chêne ayant servi à la construction des fûts.

L'un des objectifs du projet «Grands crus suisses: élevage des vins du terroir en fûts de chênes indigènes», mené par l'Ecole d'ingénieurs de Changins entre 2001 et 2005, était de vérifier s'il existe en Suisse des «Terroirs Chêne» présentant des caractéristiques boisées défi-

nies. En effet, l'hypothèse a été formulée que les qualités physiques et chimiques du bois pouvaient être liées aux facteurs génétiques, sylvoles et environnementaux (Horisberger, 2006). Ainsi le «Terroir Chêne» pourrait être lié non seulement à l'origine géographique du bois mais également à l'espèce de chêne.

Les recherches ont été menées selon trois axes:

- analyse sensorielle de vins élevés en fûts de chêne dont l'origine et l'espèce étaient clairement définies;

- analyse chimique des composés aromatiques (xylovolatils) de merrains frais et séchés, ainsi que de douelles bousinées;
- analyse chimique de ces xylovolatils dans les vins élevés sous bois avec l'intention de caractériser des «Terroirs Chêne» à l'échelle régionale, puis à celle, plus fine, de massifs forestiers délimités. L'influence des modalités d'élevage des vins blancs et rouges et celle de la durée d'élevage sous bois sur l'expression du «Terroir Chêne» ont également été examinées.

Matériel et méthodes

Massif forestier

Au cours des années 2002, 2003 et 2004, dix-huit massifs forestiers (quatorze de la région du Jura et quatre du Plateau) ont été étudiés dans les cantons de Vaud, Neuchâtel, Fribourg, Berne et du Jura (tabl.1). Dans les massifs forestiers de Grancy et Pampigny, les deux espèces de chênes (sessile et pédonculé) ont pu être comparées.

Chauffe

Les fûts employés dans cette étude ont tous été soumis à une durée de chauffe de 45 minutes, afin de minimiser les différences sensorielles et analytiques qui ne seraient pas attribuables à l'origine et à l'espèce botanique des bois.

Vinification

Les vinifications ont été conduites dans sept caves des cantons de Genève, Neuchâtel, Tessin, Vaud et Valais. Des dix-huit massifs forestiers, seize ont pu être comparés simultanément sur cépages Chardonnay et Pinot noir. Un protocole de vinification commun a été établi pour toutes les caves. La mise en fût des blancs a été effectuée après débouillage et celle des rouges après soutirage des grosses lies. La durée de l'élevage sous bois a été de onze mois. Aucun soutirage ni traitement œnologique n'ont été effectués

en cours de vinification. La mise en bouteilles des vins a été réalisée par un simple soutirage par gravité, sans filtration.

Analyse sensorielle

Des analyses sensorielles des vins ont été réalisées en cours d'élevage et après mise sous verre avec un panel de dégustateurs préalablement entraînés à la reconnaissance des descripteurs boisés. Des épreuves descriptives ont permis de juger les profils sensoriels boisés (qualitatifs et quantitatifs) des vins. Au terme de ces épreuves, un classement des vins par ordre de préférence était effectué. Des épreuves discriminantes (tests triangulaires) ont ensuite permis de vérifier s'il existait des différences statistiquement significatives entre les échantillons.

Analyse chimique

Analyse des xylovolatils en bois et en vin

Les bois séchés et bousinés, réduits en copeaux, sont extraits à l'acétone. L'extrait filtré et séché est réparti entre le diéthyl-éther et une solution saline. La phase étherique est concentrée. Les xylovolatils sont séparés par chromatographie en phase gazeuse et analysés par spectrométrie de masse (GC-MS).

Les vins (30 ml), préalablement clarifiés par une centrifugation de 30 min à 4500 × g, sont extraits au dichlorométhane. La phase organique est lavée, séchée sur Na₂SO₄ anhydre, concentrée et les xylovolatils sont analysés comme précédemment par GC-MS.

Analyse des bois par nez électronique

Les merrains sont aussi analysés, sous forme de poudre, par le système SMart Nose®. Ce «nez électronique» mesure le spectre de masse global d'un mélange de composés volatils (sans aucune séparation préalable de ceux-ci). Il permet donc de caractériser directement des odeurs et des composants organiques volatils issus d'échantillons gazeux, liquides ou solides. Le résultat d'une telle analyse est une «empreinte volatile», signature caractéristique de chaque échantillon de bois. Ces données sont traitées par un outil statistique (analyse en composantes principales) qui livre une carte bidimensionnelle sur laquelle les différents échantillons de bois sont représentés. Cette méthode, exclusivement comparative, se borne à discriminer des échantillons selon leur empreinte aromatique globale. A ce titre, elle complète utilement les analyses par GC-MS.

Résultats et discussion

Espèce de chêne et expression boisée des vins

Les composés volatils du chêne, déjà relativement nombreux dans le bois non chauffé, le sont bien davantage dans le bois bousiné. Parmi ces composés, 29 xylovolatils endogènes et empyreumatiques (Rawyler *et al.*, 2006) ont été sélectionnés et suivis en cours de vinification dans les vins blancs et rouges élevés en fûts. Douze de ces xylovolatils, particulièrement actifs dans l'élaboration du profil aromatique boisé des vins, ont fait l'objet d'une étude plus approfondie (tabl. 2). Les isomères *cis*- et *trans*- de la β -méthyl- γ -octalactone (ci-après c-MOL et t-MOL), la vanilline, le gaïacol et l'eugénol sont les principales substances identifiées qui présentent une odeur caractéristique (Chatonnet, 1991). En France, divers travaux ont montré que les deux espèces de chêne présentent de grandes différences de teneur en xylovolatils (Chatonnet, 1992; Masson *et al.*, 1996; Feuillat *et al.*, 2003). De plus, de nombreuses études concluent à une variabilité interindividuelle importante parmi les chênes d'une même espèce issus d'une même origine: c'est l'effet «arbre» (Polge et Keller, 1973; Masson *et al.*, 1996; Snakers *et al.*, 2000). Un comportement similaire caractérise également les chênes suisses. Bien que les deux espèces de chêne renferment les mêmes xylovolatils endogènes, les c-MOL, t-MOL et 2-méthoxy-4-vinylphénol sont fortement enrichis chez les chênes sessiles, tandis que l'acide hexadécanoïque, le conféraldéhyde et le sinapaldéhyde pré-

Tableau 1. Massifs forestiers d'origine des chênes utilisés pour la construction des fûts de l'expérimentation «Terroirs Chêne».

Région	Origine chêne	Code	Canton	Espèce	Millésime expérimentation
Jura	Arrufens/Pampigny	ARR	VD	S	2002, 2003, 2004
	Bevaix	BEV	NE	S	2003
	Boncourt	BON	JU	S	2003
	Bonfol	BOF	JU	S	2004
	Boudry	BOD	NE	S	2004
	Concise	CON	VD	S	2002, 2003
	Grancy	GRA_S	VD	S	2002, 2003
	Grancy	GRA_P	VD	P	2002, 2003
	Lugnez	LUG	JU	S	2004
	Montagny	MOT	VD	S	2004
	Neuchâtel	NEU	NE	S	2003, 2004
	Onnens	ONN	VD	S	2004
	Pampigny	PAM_S	VD	S	2003, 2004
Pampigny	PAM_P	VD	P	2002, 2003, 2004	
Plateau	Bueren	BUE	BE	S	2004
	Bussigny	BUS	VD	S	2002, 2003
	Galm	GAL	FR	S	2004
	Montmagny	MON	VD	S	2003

S: sessile, P: pédonculé.

Tableau 2. Xylovolatils actifs dans l'élaboration du profil aromatique boisé des vins.

	Noms	Abréviations	Précurseur	Descripteurs
1	2-furaldéhyde	2-fur	hémicelluloses	amande
2	5-méthyl-2-furaldéhyde	5-Me-fur	hémicelluloses	caramel, amande grillée
3	cyclotène	cycl	hémicelluloses	grillé
4	maltol	malt	hémicelluloses	sucre brûlé, caramel, grillé
5	2-méthoxyphénol	gaïacol	lignines	phénolique, fumé
6	2,6-diméthoxyphénol	sy	lignines	fumé
7	<i>cis</i> - β -méthyl- γ -octalactone	c-MOL	lipides	coco, boisé
8	<i>trans</i> - β -méthyl- γ -octalactone	t-MOL	lipides	boisé
9	<i>trans</i> -2-nonénal	2-non	lipides	planche
10	eugénol	eug	lignines	épicé, clou de girofle
11	isoeugénol	i-eug	lignines	épicé
12	vanilline	van	lignines	vanillé

dominant chez les chênes pédonculés (fig. 1, barres). Il convient de noter aussi la très grande variabilité qui affecte ces composés dans les chênes, indépendamment de leur espèce (fig. 1, cercles). Quant à l'effet «arbre», il peut s'illustrer par l'analyse en composantes principales de la composition en xylo-

volatils de merrains issus de six chênes sessiles provenant d'un massif forestier unique, qui permet de distinguer aisément ces six arbres (fig. 2). On conçoit dès lors que les fonds (non chauffés) du fût, qui détiennent ainsi un potentiel aromatique très diversifié, soient un élément essentiel du complexe «Terroir

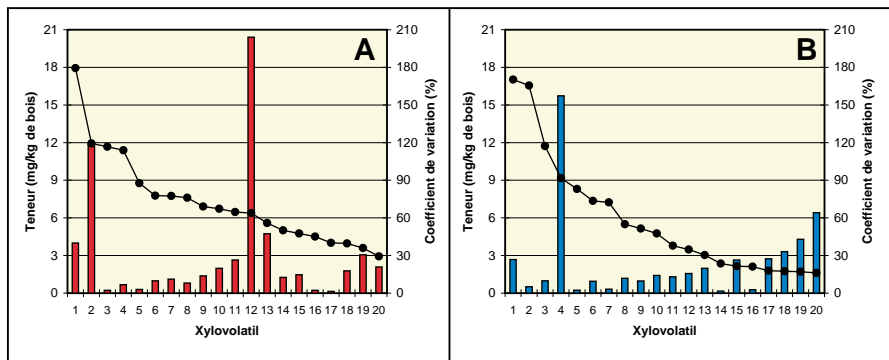


Fig. 1. Teneurs moyennes (■, ■) et coefficients de variation (●) de 20 xylovolatils extraits de merrains de chênes sessiles (13 origines; n = 26) (A) et pédonculés (deux origines; n = 3) (B). Classés par coefficients de variation décroissants, les xylovolatils sont: (1) *trans*-méthyl-octalactone; (2) *cis*-méthyl-octalactone; (3) 3,4,5-triméthoxyphénol; (4) acide hexadécanoïque; (5) desaspidinol; (6) isoeugénol; (7) acétosyringone; (8) 2,6-diméthoxy-4-vinylphénol; (9) eugénol; (10) acide 2-furancarboxylique; (11) 2,6-diméthoxyphénol; (12) 2-méthoxy-4-vinylphénol; (13) α -amino-3-hydroxy-4-méthoxyacétophénone; (14) *trans*-2-nonénal; (15) α -tocophérol; (16) acétovanillone; (17) coniféraldéhyde; (18) sinapaldéhyde; (19) vanilline; (20) syringaldéhyde.

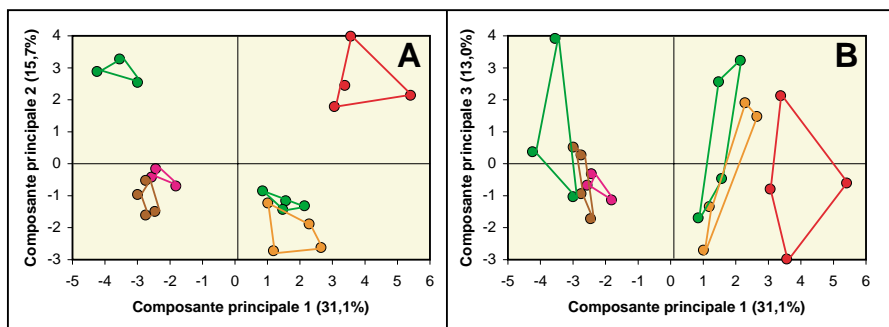


Fig. 2. Effet «arbre» illustré par la discrimination entre chênes sessiles voisins provenant du massif forestier de Corcelles-sur-Concise. Les arbres ont été abattus en hiver 2000-2001 et les merrains séchés pendant quatre à six mois avant analyse.

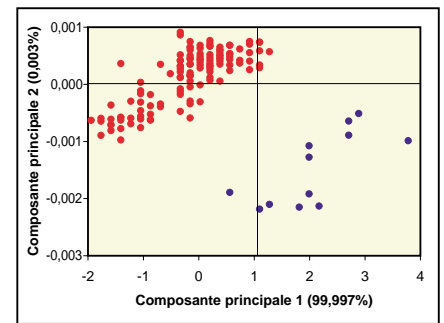


Fig. 3. Analyse en composantes principales de bois de chêne sessile (●) et pédonculé (●). Les bois proviennent de huit origines différentes. Les empreintes volatiles des échantillons sont fournies par le système Smart Nose®.

Chêne» décrit ci-dessus. Enfin, la différence entre chênes sessiles et pédonculés ne concerne pas seulement les bois frais ou séchés, mais elle se manifeste également dans les bois bousinés, quelle que soit leur origine (fig. 3). Cet ancrage persistant de l'espèce dans le complexe aromatique des bois de chêne de tonnellerie justifie pleinement les efforts d'identification et de ségrégation des chênes sessiles et pédonculés à toutes les étapes de la filière d'approvisionnement.

La plus grande aromaticité du chêne sessile est due, pour une large part, à la réserve de c-MOL et t-MOL potentiellement libérables que constitue le précurseur des MOL (un ester de l'acide 3-méthyl-4-hydroxyoctanoïque et de l'acide 3-hydroxyvanillique), abondant chez le chêne sessile et peu présent chez le chêne pédonculé (Otsuka *et al.*, 1980). Si le potentiel aromatique du bois de chêne est largement tributaire de sa teneur en MOL totale, c'est surtout à son isomère *cis* qu'il le doit. En solution modèle hydroalcoolique, le seuil de perception de la c-MOL (25 $\mu\text{g/l}$) est quatre à cinq fois plus bas que celui de la t-MOL (110 $\mu\text{g/l}$) (Chatonnet, 1991); de plus, parmi tous les xylovolatils endogènes du chêne, la c-MOL est non seulement relativement abondante (fig. 1A), mais figure aussi parmi ceux dont le seuil de perception est le plus bas. Ces trois propriétés expliquent son rôle important dans le bouquet boisé des vins.

En 2002, une expérimentation a été mise en place afin de vérifier l'incidence de l'espèce de chêne sur les profils sensoriel et analytique d'un même vin. Du Pinot noir (de Sierre) a été logé, après soutirage des grosses lies, dans quatre fûts en chêne provenant du massif forestier de Grancy (pied du Jura vaudois), deux de l'espèce sessile et deux de l'espèce pédonculée. Les modalités de construction, de chauffe et de vinifi-

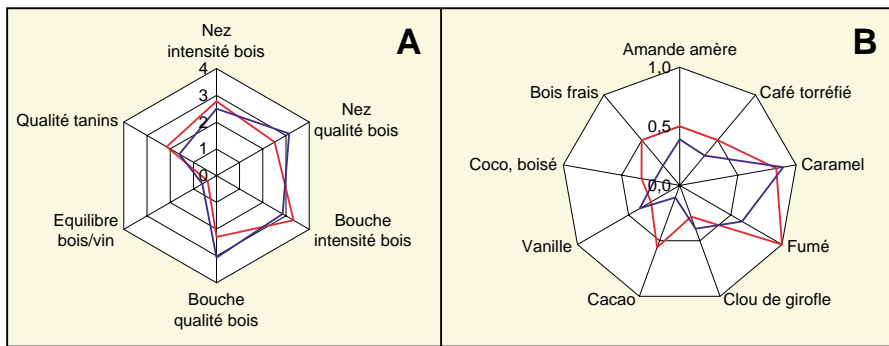


Fig. 4. Profils sensoriels global (A) et détaillé (B) d'un vin de Pinot noir 2002 élevé en chène sessile (—) ou pédonculé (—) de Grancy, établis après mise sous verre.

cation ont été identiques pour ces quatre fûts. Les vins ont été dégustés par un panel de seize dégustateurs après mise sous verre. L'analyse du classement des vins (test de Friedman) a permis de mettre en évidence une différence hautement significative ($p = 0,01$) entre les variantes sessiles et pédonculées, ces dernières étant préférées. Cette différence hautement significative a été confirmée par les tests triangulaires. Les vins élevés en chène pédonculé présentent une meilleure qualité olfactive et gustative, un meilleur équilibre bois/vin et une meilleure qualité boisée au nez et en bouche. En revanche, le chène sessile développe en bouche et au nez des intensités boisées plus élevées, tout en bonifiant les tanins du vin (fig. 4A). Les caractères d'amande amère, de café torréfié, de fumé, de cacao, de noix de coco-boisé et de bois frais sont moins marqués dans les vins élevés en chène pédonculé (fig. 4B). Cette plus grande discrétion du bois explique probablement la préférence du panel pour le vin élevé en chène pédonculé.

L'analyse chimique des xylovolatils de ces vins est en accord avec leur analyse sensorielle (fig. 5). Afin que l'analyse chimique reflète le mieux possible l'analyse sensorielle précédente, les concentrations des xylovolatils mesurées dans les vins ont été converties en indices aromatiques (I_{ar}) (voir la légende de la figure 5). L'ensemble des I_{ar} correspond ainsi au profil aromatique qui serait engendré dans un milieu hydroalcoolique standard (par exemple éthanol 12% vol. + acide tartrique 5 g/l, pH 3,4) par le contenu en xylovolatils des vins étudiés. Une information d'ordre sensoriel est ainsi obtenue par des moyens analytiques: les I_{ar} de la c-MOL et du gaiacol sont respectivement quatre à cinq fois et deux fois plus élevés dans les vins élevés en chène sessile que dans les vins élevés en chène pédonculé, alors que l'apport aromatique des autres xylovolatils est similaire dans les deux

cas (fig. 5). La différence d'impact sensoriel et analytique entre les deux espèces de chène est donc manifeste.

Origine des chênes et expression boisée des vins

Les essais conduits en 2002, 2003 et 2004 avaient pour but de vérifier l'incidence de l'origine du chène sur les pro-

files sensoriel et analytique des vins. Les essais ont été réalisés dans cinq caves privées (NE, VD et VS). Chacune des caves a testé deux origines de chênes de l'espèce sessile, à la fois avec du Chardonnay et du Pinot noir, avec trois répétitions par essai (soit douze fûts par cave). Les modalités de construction, de chauffe et de vinification ont été identiques pour tous les fûts. Dans un premier temps, ayant réparti les différentes origines de chênes en deux grandes régions – le Jura et le Plateau –, nous avons cherché à savoir si les qualités boisées des vins élevés en chênes sessiles du Jura différaient de celles des vins élevés en chênes sessiles du Plateau. Nous présentons ici des résultats sur Chardonnay du millésime 2004. Le couple étudié est: Arrufens-Pampigny (VD) pour le Jura et Galm (FR) pour le Plateau. Après cinq mois d'élevage, les bois de chène du Jura confèrent au vin des intensités boisées au nez et en bouche supérieures à celles des chênes du Plateau. Ces intensités plus fortes semblent être préjudiciables à l'équilibre

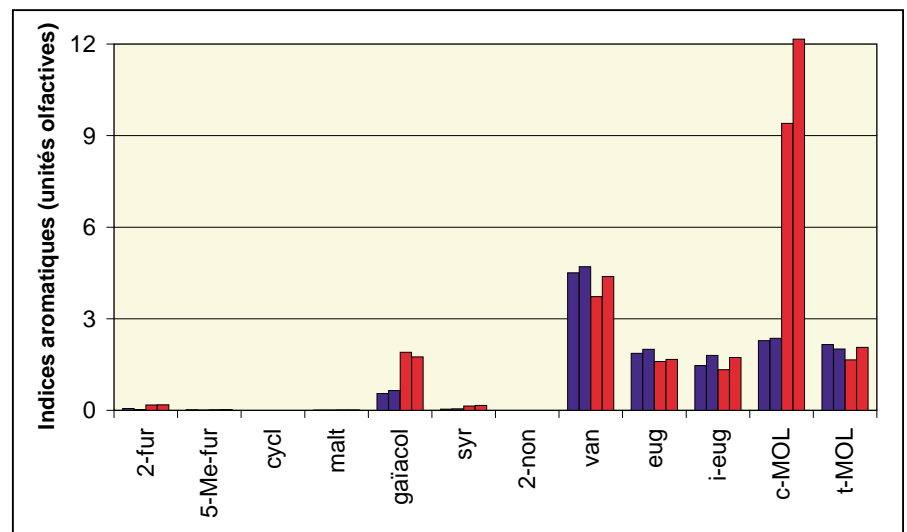


Fig. 5. Profils chimiques de l'apport boisé (décrits sous forme d'indices aromatiques I_{ar} et exprimés en unités olfactives) pour les quatre vins de Pinot noir 2002 élevés dans deux fûts de chène pédonculé (■) ou sessile (■) de Grancy. Les profils ont été déterminés après mise sous verre. L'indice aromatique I_{ar} d'un xylovolatil donné est défini par le rapport entre sa concentration dans le vin ($\mu\text{g/l}$) et son seuil de perception ($\mu\text{g/l}$).

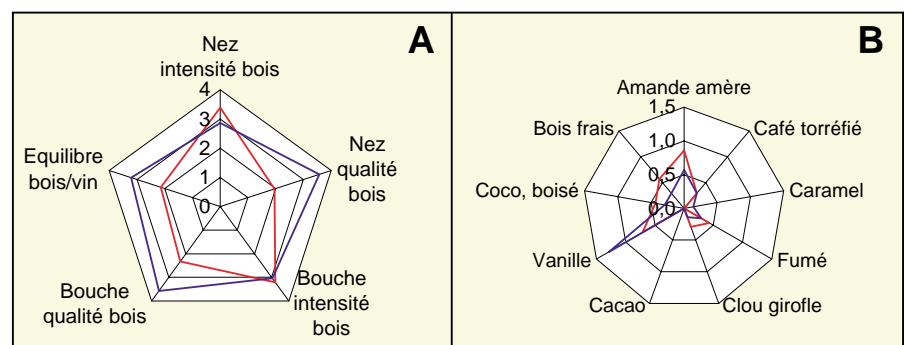


Fig. 6. Profils sensoriels global (A) et détaillé (B) de Chardonnay 2004 après cinq mois d'élevage en chène sessile, provenant d'Arrufens-Pampigny, Jura (—) ou de Galm, Plateau (—).

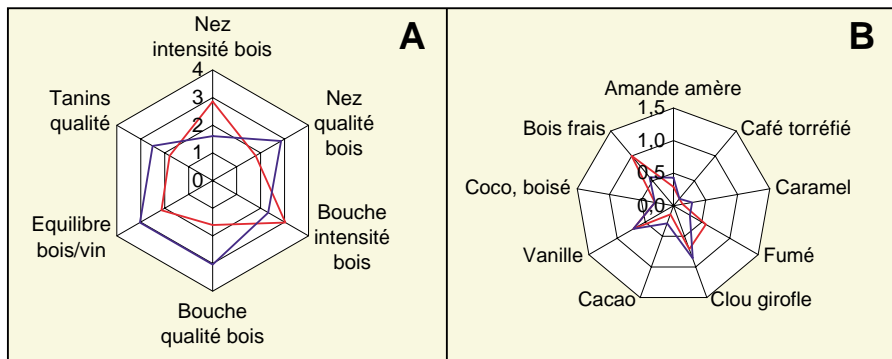


Fig. 7. Profils sensoriels global (A) et détaillé (B) de Pinot noir 2004 après cinq mois d'élevage en chêne sessile, provenant d'Arrufens-Pampigny, Jura (—) ou de Galm, Plateau (—).

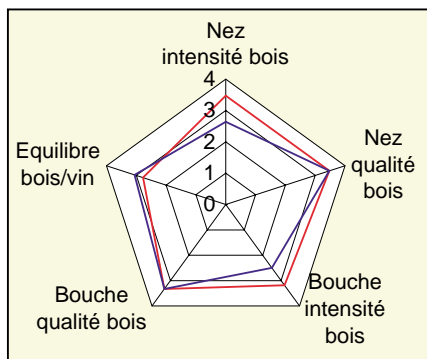


Fig. 8. Profil sensoriel global de Chardonnay 2003 après cinq mois d'élevage en chêne sessile de Bevaix, Jura (—) ou de Montmagny, Plateau (—).

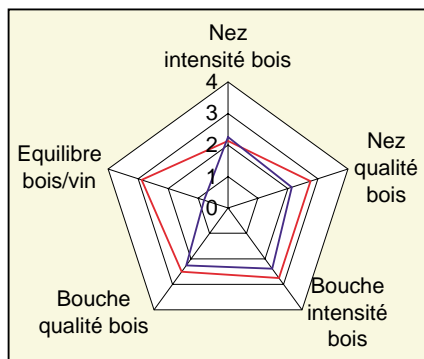


Fig. 9. Profil sensoriel global de Chardonnay 2003 mis sous verre après onze mois d'élevage. Les vins étaient élevés en chêne sessile de Bevaix, Jura (—) ou de Montmagny, Plateau (—).

aromatique des vins (fig. 6A). L'intensité du boisé est due principalement aux notes aromatiques coco-boisé et bois frais (fig. 6B). Des résultats similaires sont également observés avec le Pinot noir (fig. 7A et B).

L'évolution du boisé a ensuite été étudiée au cours du temps en évaluant les vins après cinq mois et après leur mise sous verre. Les résultats du Chardonnay du millésime 2003 sont présentés

ici. Le couple Jura/Plateau comparé est Bevaix (NE) et Montmagny (VD). Après cinq mois, l'intensité boisée du vin élevé en chêne sessile du Jura est à nouveau supérieure à celle du vin élevé en chêne sessile du Plateau (fig. 8). Cependant, après onze mois d'élevage et mise sous verre, ces vins témoignent de profondes modifications de leur profil (fig. 9). Le Chardonnay élevé en chêne sessile du Jura présente une meilleure

qualité boisée au nez et en bouche ainsi qu'un meilleur équilibre bois/vin que le Chardonnay élevé en chêne sessile du Plateau. De telles informations sont précieuses non seulement pour la sélection des origines de chêne mais également pour la gestion de la durée de l'élevage sous bois. Des vins élevés en fûts en chêne sessile du Jura nécessiteront une durée d'élevage d'au moins onze mois pour que leur boisé s'atténue au profit d'un meilleur équilibre bois/vin. A l'inverse, pour des élevages courts (cinq à six mois), le chêne du Plateau peut être recommandé.

Pour évaluer à quel point les chênes du Jura se distinguent de ceux du Plateau, nous avons utilisé les empreintes volatiles de bois bousinés fournies par le système SMart Nose®. La figure 10 indique que cette distinction entre les chênes de ces deux régions, opérée par l'analyse sensorielle des vins, n'est pas totale avec le «nez électronique». La superposition partielle des deux groupes s'explique, d'une part, par la variabilité de la composition en xylovolatils des chênes (fig. 1) et, d'autre part, par le fait que les résultats de la figure 10 ne reflètent que la contribution des douelles bousinées, celle des fonds n'étant pas prise en compte ici.

Il paraît donc possible, par voie sensorielle et analytique, de différencier – même partiellement – les chênes à l'échelle régionale. Mais qu'en est-il à l'échelle plus fine des massifs forestiers? Cinq massifs ont été testés, l'un d'entre eux étant représenté à la fois par les espèces sessile et pédonculée. L'analyse en composantes principales des données sensorielles révèle que les cinq massifs forestiers ont pu être discriminés dans les vins (fig. 11). Nous avons récemment démontré que les copeaux issus des douelles de ces mêmes

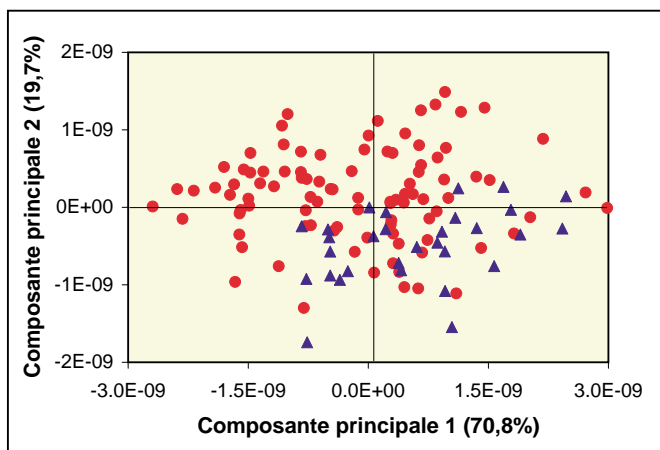


Fig. 10. Analyse en composantes principales de bois de chêne sessile issus du Jura (●) et du Plateau (▲). Les empreintes volatiles des échantillons sont fournies par le système SMart Nose®.

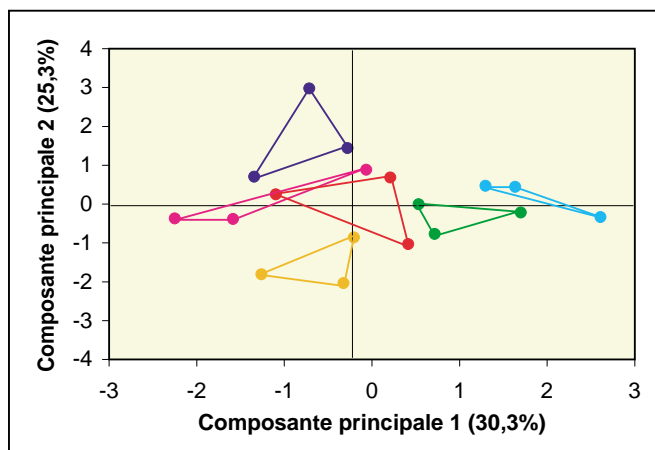


Fig. 11. Discrimination des vins des essais de chauffe, basée sur les principaux descripteurs évalués par analyse sensorielle. Les massifs forestiers sont Concise (—), Montagny (—), Neuchâtel (—), Onnens (—), tous des chênes sessiles, et Pampigny, sessile (—) et pédonculé (—).

fûts étaient également différenciables selon leur origine, et cela indépendamment même des modalités de chauffe (Rawyler *et al.*, 2006). Cette similitude entre fûts et vins est particulièrement remarquable. Elle implique que les xylovolatils des fûts qui passent en vin le font selon un processus qui respecte les discriminations inscrites dans ces bois par leurs origines diverses. Elle indique aussi que les vins conservent l’empreinte de l’origine des fûts qui les ont contenus. Enfin, si l’impact de l’origine du bois est surtout assuré par les fonds non chauffés, il est également tributaire des douelles, et plus particulièrement de leur composition en xylovolatils issus de la thermohydrolyse des lignines. Tous ces éléments étayent la notion de «Terroir Chêne» et lui confèrent une réalité tangible.

Modalités d'élevage et expression boisée des vins

La teneur en xylovolatils d’un vin donné dépend initialement de l’apport du bois au vin (flux de transfert bois → vin), puis également des réactions métaboliques et chimiques que subissent les xylovolatils passés en vin (oxydation, réduction et adsorption) et qui les transforment en composés nouveaux (Rawy-

Tableau 3. Descripteurs sensoriels retenus pour l’analyse en composantes principales.

Amande amère
Bois frais
Brioche
Cacao
Café torréfié
Caramel
Coco, boisé
Cuir
Fumé
Œillet
Réglisse
Vanille

ler *et al.*, 2006). Ces deux phénomènes (désorption et transformation) peuvent fort bien se dérouler de manière conjointe, mais leur importance relative au cours de l’élevage est délicate à apprécier. De plus, les caractéristiques physico-chimiques du milieu dans lequel s’accumulent les xylovolatils désorbés changent profondément au cours de la transformation du moût en vin. Les modalités de vinification peuvent ainsi exercer une influence sur le profil boisé d’un vin.

Dans la vinification en blanc, les moûts effectuent leur fermentation alcoolique sous bois. Les douelles et les fonds sont exposés à un milieu aqueux, riche en glucose et en fructose (> 200 g/l), mais qui voit, en sept à dix jours, sa teneur en alcool et en CO₂ augmenter aux dépens des sucres. Cette grande activité métabolique élève la température jusqu’à 25-28 °C et peut créer une légère surpression dans le fût. Enfin, la remise en suspension des lies par les bâtonnages réguliers enrichit le vin blanc en azote total, en acides aminés, en acides gras (Ferrari *et al.*, 1988) et en polysaccharides (Llauberes, 1988). Au contraire, dans la vinification en rouge, ce n’est qu’après fermentation alcoolique et soutirage des lies que les vins sont logés sous bois. Dans ce cas et dès l’abord, les douelles et les fonds sont exposés à un milieu beaucoup plus stable, qui ne subira ultérieurement que des modifications physico-chimiques mineures. Il est ainsi probable que les paramètres de la désorption (cinétique, amplitude, solubilité des xylovolatils) diffèrent selon le type de vin entonné.

Tous les résultats sensoriels de l’ensemble des vinifications réalisées en 2002, 2003 et 2004 (123 échantillons dégustés au total) ont été soumis à une analyse en composantes principales. Douze descripteurs boisés (tabl. 3) ont

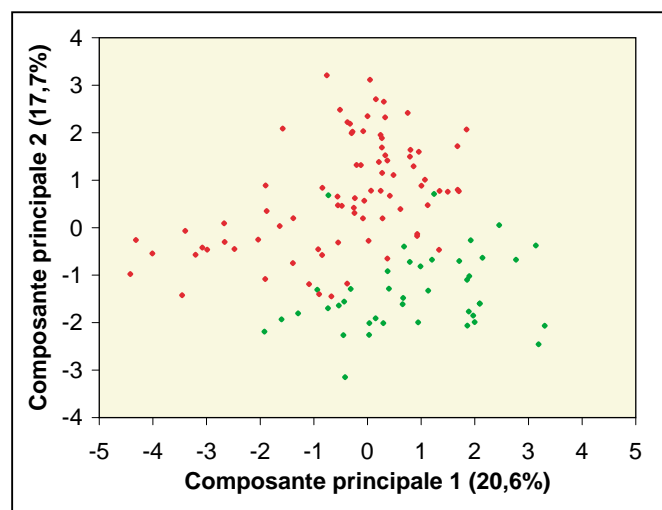
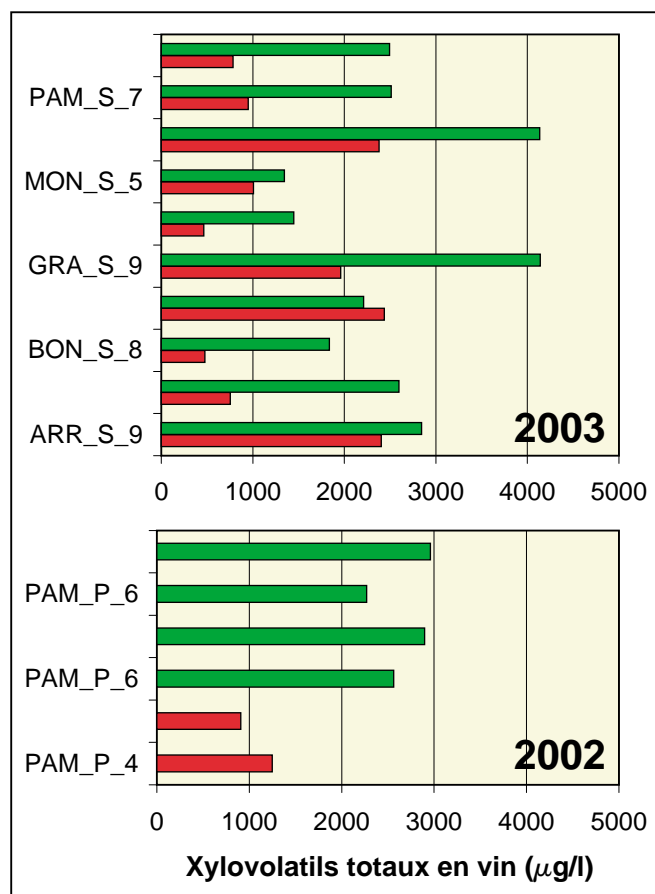


Fig. 12. Discrimination des vins rouges (●) et blancs (●) des essais 2002, 2003 et 2004 (n = 123) basée sur douze descripteurs boisés évalués par analyse sensorielle.

Fig. 13. Teneurs en xylovolatils totaux de vins de Pinot noir (■) et de Chardonnay (■), millésimes 2002 et 2003, élevés en parallèle dans des fûts de bois identiques. Chaque fût est codé de telle sorte que les trois premières lettres se rapportent à son origine (tabl. 1), la lettre unique à son espèce (sessile ou pédonculée) et le chiffre à la cave d’élevage. La différence entre vins blancs et rouges est hautement significative (test *t*, *p* = 0,01).



été pris en considération. On constate que les vins rouges se distinguent assez bien des vins blancs (fig. 12). Les descripteurs café torréfié, cacao, fumé et réglisse caractérisent essentiellement les vins rouges, tandis que les vins blancs présentent les descripteurs caramel, brioché, noix de coco, vanille, amande amère. Mais est-ce le boisé qui s'exprime différemment selon le cépage (ou le mode de vinification), ou est-ce le ressenti sensoriel qui diffère selon la «matrice-vin»?

Les profils analytiques des xylovolatils de ces vins de Pinot noir et de Chardonnay ont alors été comparés après six et onze mois d'élevage. Il n'a pas été possible de les différencier selon leur cépage par l'analyse en composantes principales, et cela même lorsque les vinifications diverses étaient menées dans des bois identiques. Cela est dû au fait que l'influence de la «matrice-vin» sur la désorption est masquée par la variabilité des xylovolatils dans les bois et par leurs transformations subséquentes dans les vins. Par contre, la comparaison des xylovolatils totaux (qui élimine l'influence des transformations) s'est avérée parlante, puisqu'une différence hautement significative ($p = 0,01$) a été mise en évidence entre vins blancs et rouges pour les millésimes 2002 et 2003 (fig. 13) en faveur des premiers, à l'exception d'un seul cas; les vins du millésime 2004 présentaient exactement la même tendance, mais de manière non significative. Des résultats similaires ont été obtenus après onze mois d'élevage et mise sous verre. Si, à bois identique, le degré de boisage des vins rouges est inférieur à celui des blancs, c'est donc à l'absence de hautes températures et des sucres fermentescibles faisant office de cosolvant au début du boisage, à un colmatage partiel des parois du fût par les polyphénols et autres colloïdes, ou encore à une adsorption partielle sur des lies fines éliminées par centrifugation (voir Matériel et méthodes), qu'il faut l'attribuer.

Evolution de l'expression boisée dans le temps

La gestion de la durée de l'élevage sous bois est essentielle pour obtenir des vins avec un bon équilibre boisé. Celui-ci se réalise, nous l'avons vu plus haut, à partir de l'interaction entre deux processus dépendant du temps, le transfert bois → vin des xylovolatils, de nature quantitative, et les transformations métaboliques et chimiques, de nature qualitative. Or, ces dernières sont importantes pour l'évolution du bouquet boisé global qu'un fût peut transmettre à un vin. La vanilline en est un bon exemple: la fermentation alcoolique peut diminuer l'impact aromatique de la vanilline dans les vins par sa réduction en alcool vanillique, sans toutefois supprimer la note vanillée (Chatonnet, 1991). De son côté, l'oxydation de la vanilline en acide vanillique inodore atténue également la note vanillée du bouquet boisé, tandis que la décarboxylation de cet acide en gaïacol par des microorganismes augmente la composante fumée du bouquet. Au final, un progressif renversement de l'équilibre olfactif se réalise, lié à la perception simultanée de ces deux composés odorants.

Dans le cadre de nos expérimentations, des différences d'intensité de boisage ont effectivement été observées en cours d'élevage. Les résultats des analyses sensorielles, effectuées après six mois d'élevage sous bois et après mise sous verre des vinifications 2002, 2003 et 2004 (123 échantillons dégustés au total), montrent une claire modification du profil boisé des vins (fig. 14). Les vins dégustés après mise sous verre ont présenté des profils boisés plus structurés et de meilleure qualité en bouche, alors qu'après six mois d'élevage, ces vins déployaient des notes boisées plus intenses au nez et en bouche.

Cette évolution du profil boisé des vins est également observée à l'analyse GC-MS (fig. 15). A nouveau, le contenu en xylovolatils des vins (tous cépages confondus) a été exprimé sous forme d'indices aromatiques (voir la légende de la figure 5).

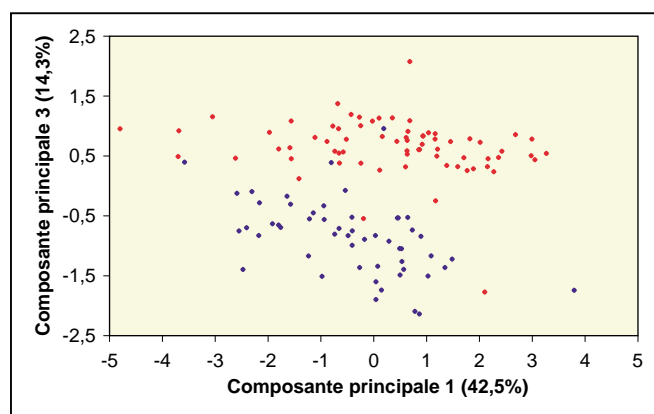


Fig. 14. Discrimination des vins des essais 2002, 2003 et 2004 selon le stade de dégustation après six mois d'élevage sous bois (●) et après mise sous verre (●).

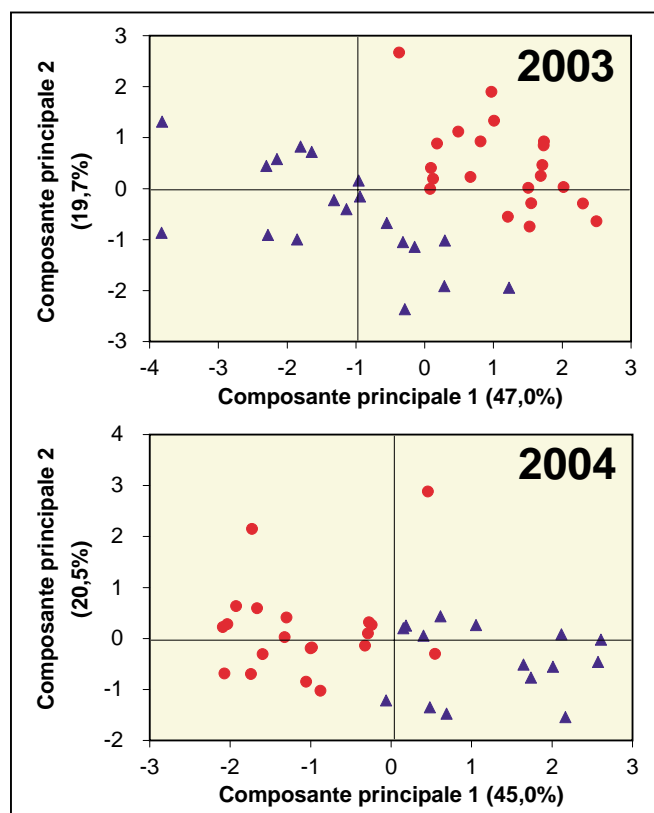


Fig. 15. Discrimination des vins (tous cépages confondus) des essais 2003 et 2004 selon leur composition en xylovolatils analysée par GC-MS après six mois d'élevage sous bois (●) et après mise sous verre (▲).

La discrimination des deux stades d'évolution est parfaitement évidente pour chaque millésime, indépendamment des types de vin (fig. 15). Ces résultats montrent que le bouquet boisé d'un vin ne peut et ne doit pas être confondu avec un arôme alimentaire. En effet, on demande à ce dernier d'être immédiatement reconnaissable, identifiable sans ambiguïté et stable à long terme, contrairement à l'évolution aromatique du bouquet boisé qui, très marquée au cours de l'élevage, permet au vinificateur de parfaire l'équilibre bois/vin selon son vœu. Celui-ci peut ainsi associer les caractéristiques du «Terroir Chêne» à celles du cépage et du millésime, pour les fondre en un tout harmonieux.

Le dégustateur expérimenté sera-t-il à même de reconnaître ces différents «Terroirs Chêne» comme il peut le faire, par exemple, avec des vins de Chasselas de différentes origines?

Cela semble peu probable, d'autant plus que le but de l'élevage sous bois, en tout cas sous nos latitudes, n'est pas l'aromatisation maximale, toujours excessive, mais l'équilibre sensoriel. Cependant, il n'y a pas qu'une seule manière d'accéder à l'équilibre, de même qu'il n'y a pas qu'un seul équilibre possible. Dès lors, l'existence de «Terroirs Chêne variés», ainsi que la disponibilité de merrains d'espèce et d'origine sélectionnées, constituent deux atouts nouveaux offerts au praticien. Celui-ci saura certainement en profiter pour concevoir et créer des vins de qualité, où le cépage s'allie à deux types de terroir pour s'éloigner résolument de l'anonymat des productions de masse et des goûts standardisés.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les partenaires ayant apporté leur soutien à ce projet: Commission technologie et innovation (CTI), Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), Fondation de l'Ecole d'ingénieurs de Changins (EIC), Fondation Audemars-Piguet (VD), Service des forêts, faune et nature (VD), tonnellerie Suppiger (SZ), Cantina Giubiasco (TI), Château d'Auvergnier (NE), Chatenay SA (NE), Cybox Sàrl, Domaine des Abeilles d'Or R. Desbaillet (GE), Domaine Hutin (GE), Ecole d'ingénieurs du Valais, Institut für Holzforschung (ETHZ), Institut Jules Guyot (Dijon, F), Institut technique du vin (Beaune, F), Office national des forêts (F), Provins SA (VS), Rouvinez SA (VS), Schenk SA (VD) et Uvavins SA (VD). Ils remercient également M. Jean-Philippe Mayor, ancien directeur de l'Ecole d'ingénieurs de Changins, pour son soutien et ses encouragements.

Bibliographie

- Chatonnet P., 1991. Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et la qualité des vins. Applications technologiques. Thèse D.E.R., Université de Bordeaux II, N° 2, 224 p.
- Chatonnet P., 1992. Origines et traitements des bois en tonnellerie. Incidence de l'origine et du mode de séchage sur la composition et la qualité des bois de chênes en tonnellerie. In: Le Bois et la Qualité des Vins et Eaux-de-vie. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, numéro spécial, 39-50.
- Ferrari G. & Feuillat M., 1988. L'élevage sur lies des vins blancs de Bourgogne. I. Étude des composés azotés, des acides gras et analyse sensorielle des vins. *Vitis* **27**, 183-197.
- Feuillat F., Bakour R., Keller R., Huber F., Leaute B. & Puech J. L., 2003. La variabilité du bois de merrain: subir ou agir. *Revue des Oenologies* **109** S, 19-24.
- Horisberger D., 2006. Le Terroir Chêne. *Rev. suisse Vitic., Arboric., Hort.* **38** (4), 227-231.

Conclusions

- ❑ La composition en xylovolatils endogènes des chênes suisses possède une grande variabilité. Outre une grande variabilité intraspécifique (effet «arbre»), elle diffère également selon l'espèce botanique, l'intensité aromatique plus grande des chênes sessiles étant due surtout à une teneur plus élevée en *cis*- et *trans*- β -méthyl- γ -octalactones.
- ❑ Les chênes sessiles et pédonculés peuvent être différenciés également après la chauffe de bousinage, sur la base des xylovolatils empyreumatiques issus de la thermohydrolyse des lignines.
- ❑ Ces différences, observables sur les plans analytique et sensoriel, justifient pleinement les efforts d'identification et de ségrégation des espèces dans le cadre de la filière d'approvisionnement en bois de chêne de tonnellerie.
- ❑ De manière globale, le bouquet boisé des vins élevés dans des chênes sessiles de la région du Jura diffère de celui des vins élevés en chênes sessiles du Plateau suisse. De plus, il est possible, pour un même vin, de distinguer des massifs forestiers entre eux, soit par analyse sensorielle, soit par analyse chimique.
- ❑ La notion de «Terroir Chêne» correspond donc à une réalité tangible dont le praticien peut faire usage avec profit.
- ❑ A bois et durée d'élevage identiques, les vins rouges contiennent moins de xylovolatils totaux que les vins blancs. De plus, leurs profils boisés se distinguent selon plusieurs critères sensoriels. Les différences de vinification entre vins rouges et blancs, entre autres, jouent un rôle important dans cette distinction.
- ❑ Au cours de l'élevage, le profil boisé du vin – quel qu'en soit le cépage – évolue en intensité et en qualité. Cette évolution est due d'une part à l'accumulation progressive dans le vin des xylovolatils du bois et, d'autre part, aux transformations métaboliques et chimiques qui modifient la composition relative des xylovolatils et le profil organoleptique qui en découle.
- ❑ Très loin d'un simple arôme alimentaire, le bouquet boisé issu du fût de chêne est un élément vivant du vin, modulé par celui-ci et le marquant à son tour de l'empreinte spécifique du «Terroir Chêne» qui l'a engendré.

Zusammenfassung

Ausbau von Terroir-Weine in Fässern aus Terroir-Eichenholz

Der Ausbau von Standortsbestimmten Weinen in einheimischen Holzfässern, deren Eichensorte und Wachstumsort («Terroirs Chêne») bekannt sind, bekommt einen zusätzlichen Sinn wenn ganz spezifische, aromatische und geschmackliche Merkmale dem Wein zugebracht werden. Die Ingenieurschule Changins versuchte, diese «Terroirs Chêne» zu identifizieren, dank chemischen Analysen der flüchtigen und halbflüchtigen Substanzen der Eichenhölzer und der Weine, die in diesen Holzfässern ausgebaut werden. Dazu wurden Hölzer von verschiedenen Herkunft und Eichensorten genommen. Die Faktorenanalysen der Rohdaten haben erlaubt, die Herstammung der Eichen zu unterscheiden, und zwar nicht nur zwischen grossen Regionen wie Jura und Mittelland, sondern auch zwischen kleineren Wäldern. Die Eichensorten (Stieleiche und Traubeneiche) konnten auch diskriminiert werden. Weine, die in diesen Fässern ausgebaut wurden, konnten auch mit denselben Kriterien differenziert werden. Obwohl die Holzaromatik des Weines zum Teil von der Traubensorte, der Kelterung und von der Ausbaudauer im Fass abhängt, konnte bewiesen werden, dass diese «Terroirs Chêne» den Wein ganz spezifisch prägen. Diese Kenntnisse sind für den Oenologen sehr wichtig wenn er Fässer kaufen will.

- Llauberes R. M., 1988. Les polysaccharides sécrétés dans les vins par *Saccharomyces cerevisiae* et *Pediococcus*. Thèse de doctorat, Univ. de Bordeaux II.
- Masson G., Puech J.-L. & Moutounet M., 1996. Composition chimique du bois de chêne de tonnellerie. *Bull. O.I.V.* **69** (785-786), 634-657.
- Otsuka K., Sato K. & Yamashita T., 1980. Structure of a precursor of β -methyl- γ -octalactone, an aging flavour compound of distilled liquors. *J. Ferm. Techn.* **58**, 395-398.
- Polge H. & Keller R., 1973. Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt du Tronçais. *Ann. For. Sci.* **30**, 91-125.
- Rawlyer A., Auer J. & Dumont-Béboux N., 2006. Maîtrise de la chauffe artisanale des fûts de chêne en tonnellerie. *Rev. suisse Vitic., Arboric., Hort.* **38** (3), 151-158.
- Snackers G., Nepveu G., Guilley E. & Cantagrel R., 2000. 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**, 251-260.

Summary

Making «terroir» wines in barrels of «terroir» oaks

Using barrels made of oakwood of known botanical species and geographical origin to grow wines is justified only if specific organoleptic traits, collectively depicted as «Oak Terroirs», are transferred to wines by these woods. The Changins School of engineering attempted to show that such «Oak Terroirs» exist and to characterize them by chemical analysis of (semi)volatile compounds in sessile and pedunculate oak staves, and by sensory analysis of Chardonnay and Pinot noir wines raised in these woods. Principal component analysis of raw data enables to discriminate oak woods at regional level (Jura *versus* Plateau) and even at smaller scale (forest), and between species as well. Wines can be differentiated too according to the same criteria. Although wine matrix (red or white) and growth duration in barrel modulate the woody scent attributable to oak species and origin, «Oak Terroirs» do exist, to the winemaker's benefit.

Key words: oak terroirs, oak species, barreled wines, origin discrimination.

Riassunto

Allevamento dei vini del terreno in fusti di quercia del terreno

L'utilizzo, per l'allevamento dei vini, di fusti di quercia di specie botanica e d'origine geografica controllate, si giustifica soltanto se caratteristiche specifiche, raccolte sotto la denominazione di «Terroirs Chêne» (terreni quercia) sono conferite ai vini da questo legno. La Scuola d'ingegnere di Changins a cercato di evidenziare la caratterizzazione di «Terroirs Chêne» mediante analisi chimiche dei composti (semi)volatili aromatici di assicelle di quercia sessile (rovere) e pedunculato (farnia) di diverse origini e mediante l'analisi sensoriale di vini di Chardonnay e di Pinot nero elevati in questi legni. L'analisi in componenti principali dei dati grezzi ha permesso non soltanto di discriminare le querce alla scala della regione (Jura *versus* Plateau), a quella del massiccio forestale e secondo la loro specie, ma anche di differenziare i vini secondo i stessi criteri. Anche se il «bouquet boisé» dovuto alla specie ed all'origine della quercia viene influenzato dalla matrice-vino (rosso o bianco) e dalla durata dell'allevamento, l'esistenza di «Terroirs Chêne» appare ben reale, cosa che è tutto al vantaggio del vinificatore.