

Sur la notion de grain en tonnellerie

Nicolas VIVAS

Chercheur de la Tonnellerie DEMPTOS, détaché à l'Institut d'Œnologie, Université de Bordeaux II, 351 cours de la Libération, 33405 Talence (France)

(Reçu le 4 novembre 1994)

Résumé : Toutes les études menées sur le grain ou cerne d'accroissement du bois ont souligné systématiquement la relation étroite liant cette notion à la qualité du chêne. En tonnellerie, la classification objective des bois provenant des diverses régions productrices de France demeure la condition première qui déterminera ensuite la qualité des barriques. Le grain se définit, en anatomie des végétaux ligneux, comme la largeur moyenne et la régularité des cernes d'accroissement annuel. Un cerne est constitué du bois de printemps (bois initial) poreux et riche en gros vaisseaux et du bois d'été (bois final) dense et riche en fibres. On dit d'un chêne qu'il est à grain fin lorsque sa vitesse de croissance est lente, la largeur des cernes réduite et la part de bois de printemps élevée. Le grain grossier correspond à la définition contraire. A partir des données obtenues sur un grand nombre d'échantillons, nous avons établi la classification suivante, basée sur la largeur moyenne des cernes (Le): grain très grossier (GtG, type large, Le > 5 mm), grain grossier (GG, type Limousin, 4 ≤ Le ≤ 5 mm), grain moyen (GmS, type Vosges. 2 ≤ Lc < 4 mm), grain serré (GS, type Centre France, 1 ≤ Lc < 2 mm) et grain très serré (GtS, type Allier, Le < 1 mm). L'étude de la composition chimique montre qu'il existe une relation entre le grain et la qualité du bois. En effet, on montre que les bois à grain grossier sont plus riches en composés extractibles et en ellagitanins et plus pauvres en composés aromatiques (eugénol et whisky-lactone) que les chênes à grain serré.

Mots clefs: Fagacea, Quercus sp., accroissements annuels, bois de printemps, bois d'été, grain, texture, porosité, composition

INTRODUCTION

En tonnellerie comme en œnologie, la qualité de la matière première conditionne celle du produit fini, quel qu'il soit, barrique ou vin. Ainsi on ne peut pas faire de bonnes barriques avec de mauvais bois.



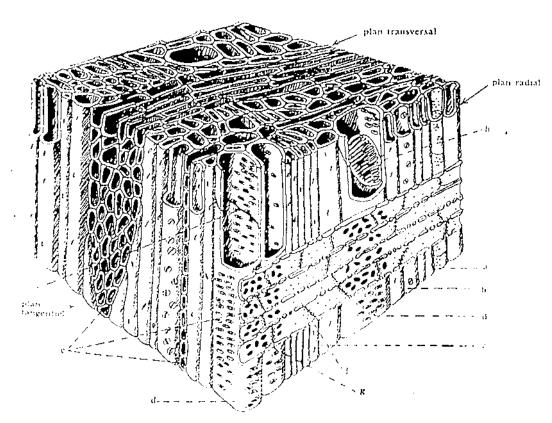
Les critères qualitatifs du bois de chêne sont en relation avec les exigences de l'élevage des vins et des eaux-de-vie. D'abord, le bois doit être suffisamment poreux pour permettre le passage lent et continu de l'oxygène (VIVAS et GLORIES, 1993; FEUILLAT et al., 1993), ensuite il doit céder, en quantité modérée, ses composés phénoliques extractibles (lignines, ellagitanins, acides phénols, coumarines) et aromatiques (whisky-factories, eugénol, vanilline...), pour ne pas renforcer l'astringence et ajouter de l'amertume, ainsi que pour ne pas alourdir le nez du vin par un excès d'arômes boisés (DUBOURDIEU, 1992). De plus, les fibres du bois doivent être droites et non coupées pour assurer l'étanchéité. Les bois avec des picots et des nœuds sont également à éliminer pour les mêmes raisons. Cependant, certains de ces paramètres sont difficiles à suivre sur tous les lots de bois utilisé dans la fabrication des barriques. Les tonneliers ont donc recherché les meilleures critères phénotypiques permettant une classification visuelle rapide et sûre. Le bois de chêne de tonnellerie doit être de première qualité, droit de fil. sans nœuds ni picots, avec peu d'aubier et des cernes réguliers, appelés communément le grain du bois (LACROIX, 1993). Les critères retenus le plus souvent sont l'origine géographique des bois et leurs grains. On classe également les origines géographiques en type de grain, ainsi les chênes du Limousin sont dits à grain grossier, ceux de l'Allier et des Vosges sont dits à grain fin. Dans ce contexte, on comprend plus facilement l'importance de la notion de grain. Ces classements, par origine géographique ou par type de grain, déterminent l'importance de la demande et donc le prix du bois. Depuis quelques années, la course au grain fin, de plus en plus fin, s'est imposée pour les vins comme pour les eaux-de-vie. Les origines les plus prisées sont : le Centre France, l'Allier, la Bourgogne et quelques forêts de Seine-et-Marne et de l'Oise, L'achat de bois venant de ces régions ne cesse d'augmenter. Cet enjeu économique, sous couvert d'une vague notion de qualité, mérite une étude complète des critères qualitatifs du bois de chêne. L'approche de la notion de qualité par la structure et le grain du bois apparaît comme une première étape obligatoire. C'est à FEUILLAT et al. (1992) que l'on doit la première tentative de synthèse sur la notion de grain. Leur rétrospective historique sur l'évolution de la définition du grain reste pleine d'enseignements.

Dans cette note, nous nous proposons de préciser l'origine biologique du grain du bois, de l'évolution de sa définition et de sa classification, ainsi que de l'existence d'éventuelles corrélations entre le grain et la composition du bois de chêne.



SUR LES CARACTÈRES ANATOMIQUES DU BOIS DE CHÊNE ET PLUS PARTICULIÈREMENT LES CERNES D'ACCROISSEMENT

Contrairement aux gymnospermes (résineux), les angiospermes (feuillus) ont un plan ligneux (type et répartition des tissus) complexe, illustré par JACQUIOT et al. (1973) et repris sur la figure 1. C'est la grande diversité de nature et de disposition des cellules de l'assise génératrice libéroligneuse (cambium), dont la division assure l'accroissement en diamètre de l'arbre (figure 2), qui permet la diversité structurale et anatomique du bois.



 parenchyme longitudinal - b : fibre trachéide - c : fibre libriforme - d : vaisseau avec Ponctuations aréolées intervasculaires - c - rayons - f : ponctuations simples rayon-fibre E - ponctuations simples rayon-vaisseau - h : perforation scalariforme - i : perforation unique

Figure 1 — Le plan ligneux chez les angiospermes. Application au hois de feuillus à structure hétérogène et en particulier aux *Quereus sp.* td'après JACQUIOT et al., 1973)



J. S.; Jeck Tonnellene, 1995 nº I.

C. Vigne et Vin Publications Internationales - Martillo, (France)

En direction centrifuge, le cambium forme le liber, tissu dans lequel circule la sève élaborée, et le suber ou liège représentant l'écorce de l'arbre (figure 2). En direction centripète, le cambium donne le xylème formé d'un ensemble de tissus conducteurs (vaisseaux) et de tissus de soutient (fibres). Le xylème jeune de 5 à 10 ans véhicule la sève brute et est appelé aubier ou bois imparfait (figure 2). Au delà, la duraminisation des couches plus âgées forme le bois de cœur (duramen ou bois parfait) composé d'un ensemble de tissus morts, riches en lignine et imprégnés de tanins (figure 2).

La croissance du chêne se fait essentiellement en direction centripète, donc en augmentant chaque année l'importance du bois de cœur. Seule cette partie du chêne est utilisée en tonnellerie, l'aubier trop poreux et souple, ainsi que le liber et l'écorce sont rejetés.

Chaque nouvelle année, le développement du chêne produit une couche de bois appelée zone ou cerne d'accroissement. Chaque cerne représente une année dans la vie de l'arbre.

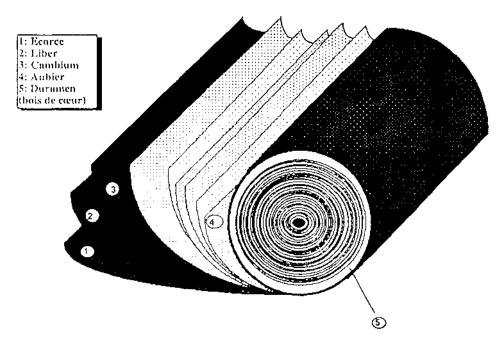
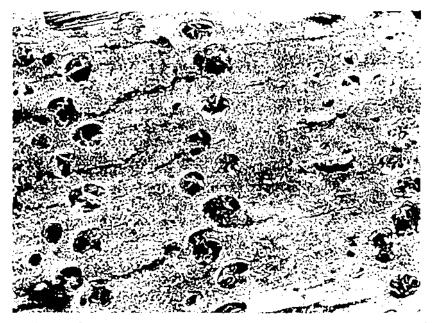


Figure 2 — Section transversale d'un chêne âgé : disposition des différents tissus



Sur le cliché I pris en microscopie électronique à balayage, à faible grossissement, on observe quelque cernes d'accroissement. Mais on constate en même temps qu'un cerne est représenté par une structure hétérogène constituée de gros vaisseaux rassemblés au début du cerne et de tissus apparus plus tard, denses, fibreux, peu vascularisés, avec des vaisseaux de plus petite taille et moins nombreux. L'irrégularité notée dans un accroissement annuel correspond à la production au début du cycle végétatif du bois initial ou bois de printemps (figure 3). Lorsque le cycle végétatif est plus avancé, il apparaît le bois final ou bois d'été (figure 3). L'augmentation de la vitesse de croissance favorise la production de bois final, elle est fonction de l'environnement, du climat, du sol et aussi de l'aptitude génétique (DERET-VARCIN, 1983; NEPVEU, 1984).

La notion de grain a pour origine la largeur moyenne et la régularité des cernes d'accroissement annuel (COLLARDET et BESSET, 1992). Des cernes d'accroissement réguliers donnent des bois à grain fin homogène, à l'inverse des accroissements irréguliers qui donnent des bois à grain grossier. Au-delà du grain, la notion de texture complète la description du bois de cœur ; elle se définit comme la proportion de bois d'été (bois final) dans la largeur totale d'un cerne (COLLARDET et BESSET, 1992).



Cliché 1 — Observations en microscopie électronique à balayage de la structure transversale du bois de chêne

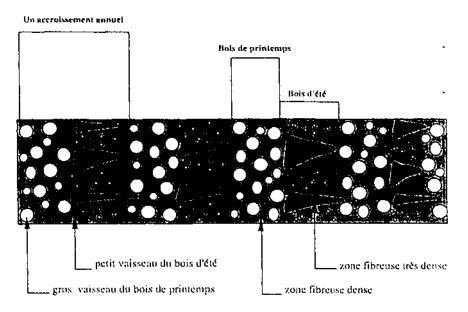


Figure 3 — Schématisation de la structure du bois de cœur (coupe transversale)

ÉVOLUTION DE LA NOTION DE GRAIN ET DES CRITÈRES DE CLASSIFICATION APPLIQUÉS AU CHÊNE DE TONNELLERIE

La notion de grain et sa définition ont peu évolué au cours du temps, seuls les termes caractérisant la nature du grain ont été modifiés. Pour GALLOT et GAST (1878) « les bois nerveux sont caractérisés par de forts accroissements, une couche épaisse de bois d'autonne (actuellement bois d'été), une cassure fibreuse [...], les bois gras ont des conches annuelles peu épaisses, laissant apparaître sur toute leur surface l'ouverture des vaisseaux de petits diamètres ; leur tissu est poreux, leur grain peu serré ». Déjà à cette époque, la notion de grain est liée à la porosité du bois ; dans cette classification, on peut reconnaître le type Limousin (bois nerveux, fort accroissement annuel, une cassure fibreuse et une couche épaisse de bois d'été) et le type Allier (bois gras, couches annuelles peu épaisses). Mais les deux définitions sont parfois contradictoires, en particulier pour le bois gras qui correspond parfaitement à la définition d'un grain serré mais qui termine par « leur grain est peu, serré ». MATHEY (1908) précise la définition de GALLOT et GAST : « On désigne sous le nom de bois maigres (bois nerveux), ceux qui

présentent une forte proportion de bois d'autonne, c'est-à-dire de tissus fibreux. La section en est pleine et lisse, l'aspect souvent corné. Ces bois ont un grain fin et prennent un beau poli. Le chêne pédonculé, issu de taillis-sous-futaie des alluvions tertiaires et quaternaires, réalise le type des bois maigres, [...] Les bois gras sont ceux chez lesquels prédominent des formations poreuses de printemps, c'est-à-dire le tissu vasculaire ou conducteur. La section en est raboteuse, le grain grossier, l'aspect toujours brunâtre. Le chêne rouvre (sessile), qui a crû dans les terrains rocheux ou qui provient de massifs traités en futaie pleine, est le type des bois gras ». Mais là encore, la définition, bien que précise, apporte au type Limousin le grain fin et au type Allier le grain grossier. LARUE (1923) et BRUNET (1925) inversent la dénomination des deux catégories, en conservant la définition de MATHEY; ils attribuent au type Allier (chêne rouvre ou sessile) la dénomination de grain fin et au type Limousin (chêne robur ou pédonculé) celle de grain grossier. Cette définition officialisée par le B.O.S.P. (Bulletin Officiel des Scieurs Professionnels) en 1943 (n° 21.12.43), repris par VENET en 1954, après quelques modifications, conduit à une désignation du grain contraire à celle établie par les auteurs du siècle dernier :

```
- anciennement (1750-1920):
bois maigre = bois nerveux = grain grossier - bois gras = grain fin;
```

```
    actuellement (1920-?):
    bois maigre = grain fin = grain serré - bois gras = grain grossier.
```

Actuellement la normalisation française « NF » a classé l'ensemble des bois en deux catégories inspirées des travaux précédents (NF B50-002). On distingue :

- les bois à grain fin ou homogène, dont les vaisseaux sont de faible dimension et peu visibles à l'œil nu, c'est le cas du hêtre, du peuplier et du poirier;
- les bois à grain grossier ou hétérogène, dont les vaisseaux sont de dimension assez importante et distincts à l'œil nu, c'est le cas du chêne, du châtaignier, du robinier et du frêne.

Mais dans le cadre de la tonnellerie, la classe des bois à grain grossier a été subdivisée, pour les chênes, en grain fin, mi-fin et grossier. C'est dans cette sous-classification que les valeurs de chaque catégorie varient en fonction des régions et des tonneliers. Il n'existe donc pas de limite permettant un classement objectif et commun des bois de chêne sur le territoire français et au sein de la Communauté Européenne.

Depuis quelques années, la notion de grain s'est étendue aux caractéristiques anatomiques du bois et en particulier à la dimension, au nombre et au volume des vaisseaux (FEUILLAT, 1991). Cette approche originale vient compléter les moyens disponibles permettant l'étude des caractères structuraux du chêne et l'évaluation de ses qualités.

Ainsi le classement du bois de chêne nécessite actuellement la combinaison des notions de grain, de texture, mais aussi l'application de la biométrie à la description des vaisseaux. En deux siècles s'est établie une science entièrement consacrée au bois : la XYLOLOGIE dont les pères fondateurs sont Philibert GUINIER (1876-1962), botaniste forestier et directeur de l'école des eaux et forêts, et Marcel MONNIN (1877-1944) conservateur des eaux et forêts et initiateur des méthodes d'essais physiques et mécaniques des bois. Le travail de la fin de ce siècle est alors de regrouper ces diverses notions pour en retirer une classification générale du bois de chêne en relation avec sa qualité. Une première tentative est développée par l'Institut National de la Recherche Agronomique en relation avec l'Office National des Forêts. Une seconde, dont les premiers résultats sont présentés dans le chapitre suivant, est initiée par le département de recherches de la tonnellerie DEMPTOS.

RELATIONS ÉVENTUELLES ENTRE LE GRAIN DES BOIS, LEUR STRUCTURE ET LEUR COMPOSITION CHIMIQUE

POLGE et KELLER (1973) ont tenté de relier la qualité au grain, pour des bois de chênes de la forêt de Tronçais et DERET-VARCIN (1983) a réalisé une étude qualitative de trois espèces de chêne (chêne pédonculé, sessile et les formes intermédiaires) basée pour une part sur le grain des bois. Ces différents auteurs relient statistiquement des critères qualitatifs au grain du bois ; cependant leurs critères restent éloignés des impératifs de la tonnellerie et portent essentiellement sur des propriétés mécaniques. Plus récemment, la notion de grain s'est intimement liée à la porosité du bois (FEUILLAT, 1994). Sur la figure 4, on observe que le bois de printemps possède une faible densité qui est fonction de l'importance et de la taille des vaisseaux le composant. La porosité peut être définie comme le volume de vide (vaisseaux, trachéides, lumens) rapporté au volume total du bois ; la porosité est donc directement en relation avec la structure du bois et en particulier la nature de son grain. La perméabilité est une autre caractéristique représentant l'aptitude du matériau à se laisser traverser par les fluides dans des conditions normalisées (pression, orientation de l'échantillon, dimension). Ainsi, bien que le chêne soit un bois poreux (porosité = 0,5), il est assez peu perméable.



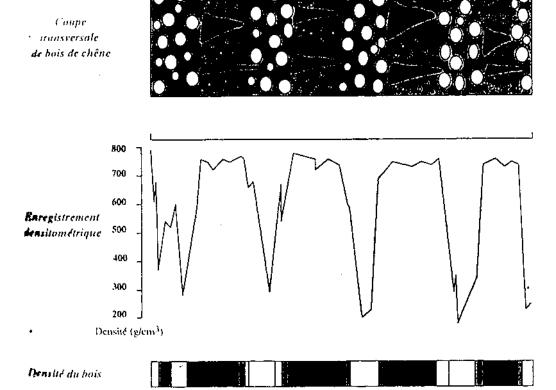


Figure 4 — Mesure densitométrique de coupe transversale de bois de cœur de chêne (rayons x parallèles aux fibres du bois)

Nous avons tenté, sur un lot de 180 échantillons de bois (pour chaque origine géographique) provenant du Limousin, des Vosges et du Centre France, d'étudier la variabilité de leurs zones d'accroissement en s'attachant en particulier au bois de printemps peu fibreux, très vascularisé et donc poreux (figure 4).

Sur cet échantillonnage, nous ne retenons que 30 individus situés au voisinage de la moyenne de chaque groupe géographique, nous déterminons leur extrait sec hydrosoluble, la teneur en ellagitanins totaux dosables par CLHP, la teneur en whisky-factone et en eugénol par couplage CG/MS. Sur ces premiers résultats, nous proposons de mettre en évidence des relations entre le grain (tableau 1) et la composition des bois (tableau 2).



Tableau 1 — Variabilité de l'accroissement d'échantillons de chêne du Limousin, des Vosges et du Centre France. (n = 180; C.V. : coefficient de variation)

Origine des bois	Variabilité de l'échantillonnage	Nombre de cernes d'accroissement/cm	Largeur de la zone de bois de printemps (mm)
	Moyenne (x)	2,22	1
	Valcur minimale (x-) 1,53	0,54
Limousin	Valeur maximale (x-	+) 3,67	1,36
	Hétérogénéité (x-/x-	+) 0,41	0,39
	C.V. %	28	21
	Moyenne (x)	3,44	0,77
	Valeur minimale (x-) 2,42	0,45
Vosges	Valeur maximale (x-	+) 5,75	1,17
	Hétérogénéité (x-/x-	+) 0,42	0,38
	C.V. %	29	29
	Moyenne (x)	5,56	0,39
	Valeur minimale (x-) 5,56	0,27
Centre France	Valeur maximale (x-	+) 8,55	0.57
	Hétérogénéité (x-/x-	+) 0,65	0,47
560	C.V. %	14	18

Dans le tableau 1, sont regroupées les mesures d'accroissement du bois ; le rapport d'hétérogénéité entre les valeurs maximales et minimales de chaque groupe donne des indices moyens (0,4 < hétérogénéité < 0,65) de l'ordre de ceux établis par DERET-VARCIN (1983) et FEUILLAT et al. (1993). On observe, en moyenne, que le grain (évalué par le nombre de cernes/cm) est fonction de l'origine géographique et botanique. Les bois du Limousin (Quercus robur, syn. Q. pedonculata) ont un grain grossier alors que ceux des Vosges et du Centre France (Quercus petraea, syn. Q. sessiliflora) sont respectivement à grain moyen et à grain serré (planche I). Il apparaît également que la largeur de la zone de bois de printemps diminue lorsque le grain devient plus dense, en relation avec une baisse de la vitesse de croissance. Une première classification du grain, à partir de ces résultats, nous indique (figure 5) que le type Limousin (grain grossier, GG) présente une largeur de cernes de 4 à 5 mm, le type Vosges (grain moyen, GmS) de 2 à 4 mm et le type Centre France (grain serré, GS) de 1 à 2 mm. L'archétype des bois à grains très serrés (GtS) étant généralement l'Allier, on réserve alors le type Allier

Tableau 2 --- Variabilité dans la composition d'échantillons de bois de chêne du Limousin, des Vosges et du Centre France

de l'échantillonnage	Variabilité	Extrait sec (mg/g)	Ellagitanins totaux (mg/g)	Eugénol (μg/g)	Whisky lactones (μg/g)
	Moyenne (x)	601	62,5	1,1	5,5
	Valeur minimale (x-)	7,66	30,5	0	2
Limousin	Valeur maximale (x+)	118	87,6	2,4	13
	Hétérogénéité (x-/x+)	0,84	0,34	1	0,15
	C.V. %	5,4	24	52	56
	Moyenne (x)	76	72	99'0	58
	Valeur minimale (x-)	56,8	19	0	28
Vosges	Valeur maximale (x+)	161	118,8	1,6	ΓL
	Hétérogénéité (x-/x+)	0,35	0,15	I	0,36
	C.V. %	25	34,5	45	25
	Moyenne (x)	77,8	37,2	11,5	80
	Valeur minimale (x-)	66,7	20,1	4	\$
Centre France	Valeur maximale (x+)	109,7	55,7	16	121
	Hétérogénéité (x-/x+)	9,0	0,36	0,25	0.52
	C.V. %	13,5	36	29,5	15

Ces groupes sont représentatifs des différentes origines géographiques, sélectionnés à partir des résultats du tableau 1. (n = 30 ; C.V. ; coefficient de variation)

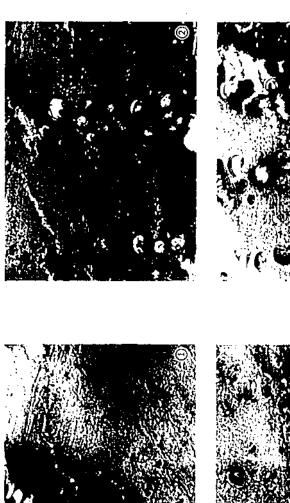




Planche I -- Détail en microscopie électronique à balayage de coupes transversales de différents bois de cœur de On observe que la diminution de la vitesse de croissance (de 1 à 4) se traduit par une réduction de la zone de bois final au profit du chêne typique des régions Limousin (1) Vosges (2), Centre France (3) et Allier (4) (grossissement x 25,4).

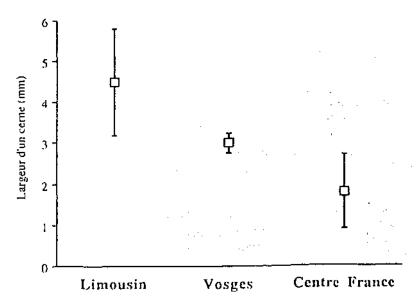


Figure 5 — Influence de l'origine géographique des chênes sur la largeur des cernes du bois (n = 180/origine)

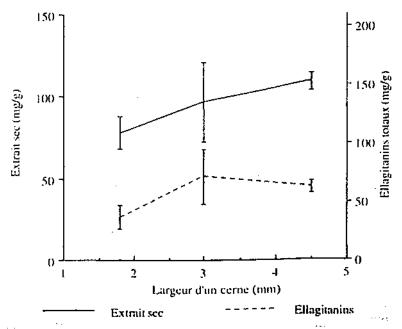


Figure 6 — Relation entre l'extrait sec, les ellagitanins totaux et la largeur d'accroissement des cernes (n = 90)



pour les bois à largeurs de cernes strictement inférieures à 1 mm et qui représentent seulement 7 % de l'échantillonnage du type Centre France. mais constituent un argument qualitatif indéniable. On réserve enfin aux largeurs de cernes strictement supérieures à 5 mm la dénomination de type large (grain très grossier, GtG), cette classe permet de différencier le, type Limousin, aux grains grossiers, des grains particulièrement larges issus de bois à croissance très rapide. Ceci pour qu'il ne devienne pas une catégorie « rebut », pour tous les bois considérés comme insuffisamment nobles. La variabilité de l'accroissement des chênes pour une même région est élevée (± 30 %) et permet d'expliquer, par exemple, qu'une partie des bois du Limousin soit plutôt dans le type Vosges. D'autre part, les bois à grain grossier sont plus riches en extrait sec et en ellagitanins que les bois à grain serré (tableau 2 et figure 6) et renferment moins de whisky-lactones et d'eugénol (tableau 2 et figure 7). Il existe donc une relation entre le grain et la composition des bois. On interprête les observations de certains auteurs (PONTALLIER et al., 1982), considérant que les bois à grain grossier donnent des barriques qui apportent peu de composés aromatiques et beaucoup de composés phénoliques au vin. Inversement, les barriques réalisées avec des bois à grain serré apportent aux vins davantage d'arômes et moins de polyphénols.

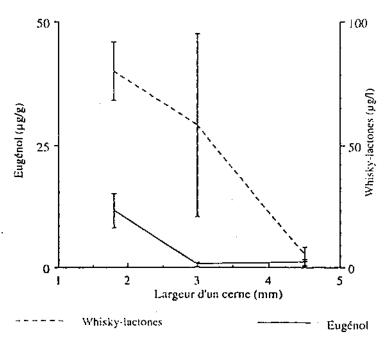


Figure 7 — Relation entre la teneur en composés aromatiques et la largeur des cernes du bois (n = 90)

CONCLUSION

Le regroupement des travaux les plus significatifs sur la notion de grain en tonnellerie permet d'aborder le sujet de façon plus synthétique. Les études anciennes et plus récentes permettent de confirmer l'existence de relations, plus ou moins directes, entre l'accroissement du chêne et certaines de ses qualités physiques (largeur de cerne) et chimiques (composés phénoliques et aromatiques). Les premiers rapports établis nécessitent une généralisation de la démarche qui conduira d'une part, au classement objectif des bois de tonnellerie et à la mise en place de méthodes de contrôle-qualité et d'autre part, à la définition précise de la composition du bois et de sa structure, dans une orientation globale d'adaptation du bois au vin conduisant à terme à l'adaptation de la chauffe au couple bois/vin. Cette ambition qualitative représente le nouveau défi du XXIième siècle pour l'ensemble de la tonnellerie française.

Références bibliographiques

BRUNET R., 1925. Manuel de tonnel-Jerie, Paris.

COLLARDET J. et BESSET J., 1992. Les bois commerciaux. Tome I -Feuillus des zones tempérées. H. Vial et CTAB (éds.), Paris.

DERET-VARCIN E., 1983. Étude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond. Ann. Sci. For., 40, n°4, 373-398.

DUBOURDIEU D., 1992. Vinification et élevage des vins blanes sees en barriques. In « Le bois et la qualité des vins et des eaux-de-vie », G. Guimberteau, Vigne et Vin Publications Interna-tionales (éd.), 134-147.

FEUILLAT F., 1991. Étude de caractères exploratoires sur quelques aspects de la qualité du bois de chêne de tonnellerie en relation avec la qualité des vins. Mémoire DEA, Université Nancy I.

FEUILLAT F., HUBER F. et KELLER R., 1992. Mise au point sur : « La notion de grain utilisée pour le classement des merrains de chêne », Rev. Fr. (Enol., 32, n°39, 65-69.

FEUILLAT F., HUBER F. et KELLER R., 1993. La porosité du bois de chêne (Quercus robur L., Quercus petraea Liebl.) utilisé en tonnellerie. Relation avec la variabilité de quelques caractéristiques physiques et anatomiques du bois. Rev. Fr. (Enol., 33, n°142, 5-19.

FEUILLAT F., PERRIN J.R. et KELLER R., 1994. Simulation expérimentale de « l'interface tonneau »; mesure des cinétiques d'imprégnation du liquide dans le bois et d'évaporation de surface. J. Int. Sci. Vigne Vin, 28, n°3, 227-245.

GALLOT M. et GAST M., 1878. Notice sur le débit et les emplois du chêne rouvre et pédonculé. Administration des forêts (éd.), Imprimerie Nationale, Paris. JACQUIOT C., TRENARD Y. et DIROL D., 1973. Atlas d'anatomie des hois des angiospermes. Essences feuillues. Tome I et II, CTB et CNRS (éds.), Paris.

LACROIX M., 1993. Gestion de la forêt et de la qualité des bois. In « Élevage des vins en fûts de chêne ». Y. Glories, CEPS (éd.), Melun, 9-18.

LARUE P., 1923. Le merrain de chêne. Rev. Viticulture, LVIII, n°1501, 251-261.

MATHEY A., 1908. Traité d'exploitation commerciale des bois. Tome II, L. Laveur (éd.), Paris.

NEPVEU G., 1984. Déterminisme génotypique de la structure anatomique du bois de chêne chez Quercus robur, Silvae Genetica, 33, 91-94. POLGE H. et KELLER R., 1973. Qualité du bois et largeur d'accroissement en forêt de Tronçais. *Ann. Sci. For.*, 30, n°2, 91-125.

PONTALLIER P., SALAGOITY M.H. et RIBÉREAU-GAYON P., 1982. Intervention du bois de chêne dans l'élevage des vins rouges. Connaissance Vigne Vin, 16, n°1, 45-61.

VENET J., 1954. Merrains et bois de fente. Document ronéotypé, ENEF, Nancy.

VIVAS N. et GLORIES Y., 1993. Les phénomènes d'oxydoréduction liés à l'élevage en barrique des vins rouges : Aspects technologiques. Rev. Fr. Genol., 33, n°142, 33-38.

