



Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond

Eliane Deret-Varcin

► To cite this version:

Eliane Deret-Varcin. Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond. *Annales des sciences forestières*, 1983, 40 (4), pp.373-398. hal-00882312

HAL Id: hal-00882312

<https://hal.science/hal-00882312>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond

Eliane DERET-VARCIN

*I.N.R.A., Station de Recherches sur la Qualité des bois,
Centre de Recherches forestières de Nancy, Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

Des mesures densitométriques, ainsi que des mesures d'infradensité et de retrait du bois, nous ont permis de comparer trois types de chênes : chênes rouvres (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), chênes pédonculés (*Quercus robur* L.) et des chênes intermédiaires provenant d'une même station.

L'étude des liaisons intercaractères permet également de les comparer ; elles sont d'ailleurs parfois très différentes pour les trois types de chênes. Les corrélations de la largeur de cerne, ainsi que de l'irrégularité des cernes (coefficient de variation) avec les autres caractères ont été particulièrement étudiées.

Le chêne intermédiaire ne se sépare jamais significativement du chêne pédonculé et la qualité de leur bois apparaît supérieure à celle du chêne rouvre car leurs retraits et surtout leurs densités sont plus faibles ; de plus, leur duraminisation est plus rapide.

La qualité du bois de chêne représente pour les sylviculteurs un problème important. La demande en chênes de tranchage est actuellement très forte ; les chênes à bois tendre sont les plus recherchés, leur prix de vente est élevé. Ces arbres sont aussi le plus souvent ceux ayant les accroissements les plus fins (de l'ordre de 1 mm), pourtant quelques individus présentent l'avantage d'avoir des largeurs de cerne plus importantes (plus de 3 mm) en même temps qu'un bois tendre (H. POLGE & R. KELLER, 1973). Des essais de sélection génétique (prélèvement de rejets de souches) sont actuellement en cours dans le but de multiplier par voie végétative ces individus remarquables.

Dans les études sur la qualité du bois de chêne, chênes rouvres (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) et chênes pédonculés (*Quercus robur* L.) ont rarement été séparés. Seul BECKER (1971) avait essayé de voir si l'on notait des différences de densité et si les deux espèces se distinguaient au niveau du couple de torsion (M. BECKER, 1979).

Du point de vue botanique, chênes rouvres et chênes pédonculés se distinguent par un certain nombre de caractères morphologiques (nombre de lobes et longueur

du pétiole des feuilles, présence ou absence d'oreillettes à la base du limbe, longueur de pédoncule des glands) : (M. BECKER, 1972). Pourtant, cette distinction n'est pas toujours très facile, car il existe des individus présentant des caractères intermédiaires entre les deux types cités précédemment. Nous verrons ultérieurement les critères retenus pour cette étude.

La génétique du chêne est encore assez mal connue, mais l'existence de ces formes intermédiaires peut laisser penser à une hybridation introgressive des deux espèces (M. BECKER, 1971, *op. cit.*) ; l'auteur a d'ailleurs observé que dans le cas où chênes rouvres et chênes pédonculés coexistent, la longueur des pédoncules des chênes pédonculés a tendance à être plus faible. L'introgression, hybridation interspécifique suivie de croisements en retour successifs avec les parents, entraîne une grande variabilité des deux espèces. Elle expliquerait aussi l'étendue de la gamme des intermédiaires observés.

La question est pourtant encore très controversée et préoccupe un certain nombre de chercheurs :

— P. GATHY (1969) pense que cette hybridation naturelle, si elle existe, demeure très exceptionnelle.

— D.L. WIGSTON (1974) classe les intermédiaires en fonction d'un index-hybride évalué d'après des critères taxonomiques.

— B.S. RUSHTON (1977) a effectué trois années consécutives un certain nombre d'essais contrôlés de fécondations interspécifiques, intraspécifiques et d'auto-fécondations sur des chênes rouvres et des chênes pédonculés. Le taux de réussite de croisements interspécifiques (0,56 p. 100) est très faible comparé à celui des croisements intraspécifiques et à celui des auto-fécondations. Pourtant RUSHTON conclut à l'existence d'hybrides naturels assez nombreux compte tenu de la grande quantité de semence disponible et de la vigueur particulière attachée aux hybrides. Le même auteur a également étudié la variabilité à l'intérieur d'un nombre important de populations de chênes rouvres et de chênes pédonculés (pures ou mélangées) et a distingué sept types de populations différents, en admettant l'existence d'hybrides. Il a également étudié les relations entre la distribution géographique de ces types de populations et les données climatologiques et édaphiques (B.S. RUSHTON, 1978, 1979).

Nous nous contenterons pour notre part d'appeler ces chênes « intermédiaires » en essayant simplement d'apporter une contribution à ce problème en considérant la qualité du bois.

La présente étude consiste donc en la comparaison de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, intermédiaires et pédonculés) provenant d'une même station de la forêt de Morimond (Haute-Marne) à l'aide des critères les plus importants (densités, retraits) de la qualité du bois.

Les mesures de densitométrie et les observations concernant l'aubier, déjà réalisées par nos soins, ainsi que des mesures de terrain (circonférence des arbres, épaisseur de l'écorce) ont permis à B. PELLECUER (1976) d'aborder cette comparaison.

L'étude de l'infradensité et du retrait permet de compléter ce travail et de mettre en évidence certaines relations entre les caractères. Cette analyse des corrélations intraspécifiques entre les caractères permettra également d'une autre manière de comparer les trois types de chênes.

Les liaisons entre largeur de cerne et critères de qualité (densités, retraits) sont de toute première importance. La prise en considération de la régularité des cernes présente aussi un intérêt puisque des cernes plus réguliers donnent un bois plus homogène, donc de meilleure qualité pour l'usinage.

Enfin, l'étude de deux zones séparées de trente ans pour le même individu nous permettra d'avoir une idée sur la valeur de la prédiction précoce de la qualité d'un chêne et d'aborder l'influence de certains facteurs (vieillesse, duraminisation, modifications de l'environnement ou de la sylviculture) sur la qualité du bois.

1. Matériel et méthode

1.1. Echantillonnage

83 chênes dominants ont été sélectionnés autour de la maison forestière du Bois de France sur une même station de la forêt de Morimond (Haute-Marne), sur une superficie de 30 ha (soit près de 3 observations à l'ha).

Cette station (sol brun lessivé marmorisé à mull acide) a été choisie, d'une part parce que ce type de sol est assez bien représenté sur l'ensemble de la forêt (27 p. 100 de la superficie totale) et d'autre part parce qu'elle avait l'avantage de présenter des proportions comparables de chênes des trois types mélangés pied à pied. De plus, la station était située en terrain plat et ne présentait donc pas d'effet de pente.

Le peuplement était à l'origine un taillis-sous-futaie qui a été converti en futaie à partir de 1866 ; il est donc de ce fait encore assez hétérogène ; c'est pourquoi afin d'avoir un échantillonnage homogène, on a sélectionné des chênes dominants.

Il s'agit d'individus d'âge comparable (250 ans environ). Cet âge a été calculé à partir de sondages effectués en 1960 (Procès-verbal d'aménagement, 1960).

Parmi les caractères distinctifs, la longueur moyenne des pédoncules semblait être la manière la plus objective de séparer les individus. On pouvait ensuite vérifier que les individus identifiés comme étant rouvres et pédonculés présentaient bien également les autres caractères morphologiques attribués à chaque espèce (B. PELLECUER, 1976, *op. cit.*).

Les individus ont donc été répartis en huit classes, suivant la longueur moyenne de leurs pédoncules obtenue en mesurant tous les pédoncules trouvés dans un carré de 50 × 50 cm placé systématiquement au sud du tronc, à la moitié de la projection du rayon de la couronne dans cette direction.

— classe 0 $1_p = 0$

— classe]0, 1] ; $0 < 1_p \leq 1$ cm

⋮

— classe]6, 7] ; $6 < 1_p \leq 7$ cm

Pour l'étude, les 83 chênes sélectionnés se répartissent ainsi :

— 30 chênes rouvres (classe 0 ; $1_p = 0$) ;

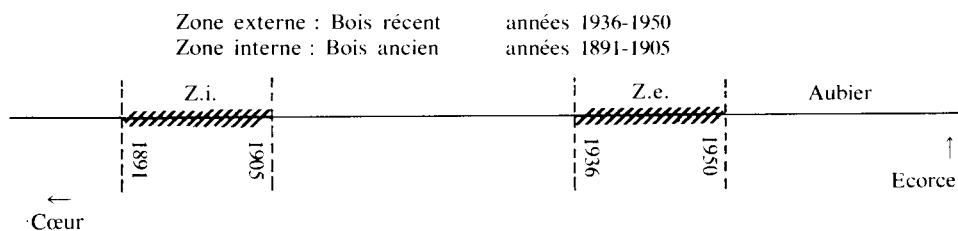
— 27 chênes intermédiaires (classe]2, 3] ; $2 < 1_p \leq 3$ cm) ;

— 26 chênes pédonculés (classes]4, 5] et]5, 6] ; $4 < 1_p \leq 6$ cm).

Un tel échantillonnage est rendu indispensable par la grande variabilité de caractère observée d'un individu à un autre (H. POLGE, 1966).

Des carottes de sondage ($\varnothing = 5$ mm) ont été prélevées pour mesurer la qualité du bois ; bien que cette méthode ne soit pas destructive, il n'y a pas eu de prélèvement sur les arbres de meilleure forme. La collecte a été faite durant la période d'arrêt de végétation, afin de limiter les risques d'altérations du bois (H. POLGE & F. THIERCELIN, 1970). Les trous ont été rebouchés par des chevilles de bois imprégnées d'un antiseptique, le Merseptyl (sel de mercure) et les orifices obturés à l'aide d'un mastic à greffer (F. THIERCELIN *et al.*, 1972).

Pour l'étude, nous avons éliminé 25 cernes du côté de l'écorce afin d'être sûrs de travailler dans tous les cas sur le duramen. Nous avons ensuite délimité deux zones de 15 années chacune, séparées de 30 ans, sur lesquelles les mesures ont été effectuées.



Pour certains individus à croissance rapide, la longueur de la tarière n'a pas permis d'obtenir la zone interne. C'est pourquoi l'analyse porte, pour celle-ci, sur un nombre plus restreint d'individus, ainsi que toutes les comparaisons zone externe - zone interne.

La zone interne se trouve dans le duramen ayant déjà un certain âge ; alors que la zone externe se trouve elle aussi dans le bois de cœur, mais à la limite de l'aubier ; nous verrons au regard des résultats quelles hypothèses il est possible de faire à partir de cette comparaison.

1.2. Mesures effectuées sur le terrain

Des mesures rapides effectuées sur le terrain sont très importantes, car certaines d'entre elles peuvent permettre au forestier d'apprécier la qualité d'un chêne.

On a donc mesuré l'épaisseur de l'écorce, ainsi que la circonférence à 1,30 m.

Lors du prélèvement des carottes à la tarière de Pressler, le couple de torsion, donnant une idée immédiate de la dureté (H. POLGE & R. KELLER, 1970), a été mesuré à l'aide d'un torsiomètre ; la dureté est un critère important pour la qualité « tranchage ».

1.3. Mesures relatives à l'aubier

Au laboratoire, une étude préliminaire par simple observation des carottes, a permis d'avoir la largeur de l'aubier et le nombre d'années qu'il comporte pour chaque individu.

1.4. Analyse densitométrique

La densité du bois est une caractéristique essentielle. Pour le chêne, les bois tendres sont les plus recherchés car ils se tranchent mieux ; le grain est plus fin ; ceci permet

d'avoir des placages plus beaux et plus réguliers. Le travail du bois massif tendre est plus facile également.

L'analyse densitométrique (H. POLGE, 1966, *op. cit.*) a permis d'obtenir un certain nombre de paramètres de densité.

Un traitement biométrique permet d'obtenir des valeurs moyennes pour chaque échantillon (R. KELLER & D. XEUXET, 1973). On a ainsi :

- largeur de cerne (l) ;
- densité minimale (d) ;
- densité maximale (D) ;
- hétérogénéité ($D - d$) ;
- densité moyenne ($\bar{D}$) ;
- pourcentages de bois dont la densité est respectivement supérieure à 300 g/dm³, 500 g/dm³ et 700 g/dm³ (p. 100 > 300, p. 100 > 500 et p. 100 > 700).

Il s'agit des valeurs moyennes calculées sur les quinze années de chaque zone pour chaque individu.

1.5. Variation de la largeur des cernes

La régularité des cernes est aussi une préoccupation du forestier. Il est connu qu'un bois dont les cernes sont réguliers est plus homogène et qu'une accélération de la croissance se traduit par une détérioration des qualités technologiques (H. POLGE & R. KELLER, 1973, *op. cit.*). L'observation des échantillons montre que certains possèdent une grande régularité de cernes, alors que d'autres au contraire possèdent des cernes de largeur très variable.

Afin de voir, d'une part si les trois types de chênes se distinguaient à cet égard, d'autre part si on pouvait relier cette caractéristique aux autres paramètres physiques, l'écart-type (σ_1) et le coefficient de variation (C.V.₁) sur les largeurs individuelles des 15 cernes, ont été calculés pour les zones considérées de chaque échantillon.

1.6. Mesure du retrait

Le retrait du bois, variable selon les individus, est un défaut assez grave. Les valeurs des retraits dans les trois directions (tangentielle, axiale et radiale) sont très différentes du fait de l'anisotropie du bois. Le retrait du bois au séchage est donc, non seulement responsable des variations de dimensions et des fentes, mais également de la déformation des pièces.

Le retrait du bois a été mesuré entre un état d'humidité supérieure au point de saturation des fibres (obtenu en laissant séjourner les carottes dans l'eau pendant quelques jours) et un état dit « sec à l'air » (conditionné à 10 p. 100 d'humidité).

Le conditionnement est obtenu par passage des échantillons dans l'étuve hygrométrique ; le temps de séjour dans cette étuve (1 semaine au moins) est largement suffisant pour obtenir un bon équilibre.

— La mesure des diamètres tangentiels et axiaux est effectuée sur les carottes à l'aide d'un capteur micrométrique de retrait programmable, mis au point par J.R. PERRIN (J.Ch. FERRAND, 1982 ; Ph. JUINO, 1977). Les mesures sont faites tous les 1/4 mm

sur les deux zones précitées, repérées au préalable par des traits à l'encre de Chine. La valeur moyenne est donnée par affichage direct.

On a d'abord effectué la mesure dans les deux directions à l'état d'humidité supérieure au point de saturation des fibres ; la mesure à l'état sec à l'air a été faite ensuite après conditionnement des échantillons.

— Dans le sens radial, les mesures sont effectuées à l'aide d'un palmer (précision $1/100^{\circ}$ de mm), après découpage des deux zones à la scie bien perpendiculairement à l'axe de la carotte.

On a d'abord mesuré la longueur à l'état sec à l'air, puis la longueur à l'état humide.

— Les trois retraits linéaires (tangentiels, axial et radial) entre l'état d'humidité supérieure au point de saturation des fibres et l'état sec à l'air ($H = 10$ p. 100) sont rapportés à l'état d'humidité 10 p. 100.

— Le retrait volumétrique est calculé à partir des trois précédents par la formule classique (F. COURTOISIER, 1976), sans négliger les termes faisant intervenir le retrait axial.

— L'anisotropie R_T/R_R a été également calculée pour chaque échantillon.

1.7. Infradensité

L'importance de la densité du bois a déjà été notée. L'infradensité $\left(\frac{P_o}{V_s} \right)$, rapport

du poids anhydre au volume saturé, présente l'avantage que les deux facteurs P_o et V_s sont bien définis.

L'infradensité est obtenue par la méthode de la saturation intégrale d'après la formule de KEYLWERTH (1954)

$$I.D. = \frac{1}{\frac{P_s}{P_o} - 0,347}$$

On pèse successivement les échantillons à l'aide d'une balance à affichage digital (précision $1/10\,000^{\circ}$ de g) dans l'ordre suivant :

- à l'état saturé (après ébullition de 15 h minimum) pour obtenir P_s ;
- à l'état anhydre (après maintien à l'étuve à 103°C pendant 48 h) pour obtenir P_o .

2. Résultats

2.1. Comparaison des 3 types de chênes

Des tests de comparaison de moyennes (test F) ont été effectués pour tous les caractères considérés et les différences significatives au seuil de 5 p. 100 ont été calculées.

TABLEAU 1

*Comparaisons entre espèces.**Comparison between species.*

Caractères <i>Characteristics</i>		Valeurs moyennes <i>Mean values</i>			D.D.L. erreur	F calculé	D.S. à 5 p. 100		
		R	I	P			R et I	I et P	R et P
Circonférence à 1,30 m (cm) <i>Circumference at 1.30 m</i>		231	242	242	80	0,70 NS	0	0	0
Epaisseur écorce (cm) <i>Bark thickness</i>		2,24	2,57	2,50	80	2,22 NS	0	0	0
Couple de torsion (cm.kg) ... <i>Torsion torque</i>		184	171	167	80	5,23 **	0	0	+
Nombre d'années d'aubier ... <i>Number of years of sapwood</i>		22,2	17,9	18,8	80	6,34 **	+	0	+
Epaisseur aubier (cm) <i>Sapwood thickness</i>		3,62	2,41	2,86	80	9,76 ***	+	0	+
Largeur de cerne (mm) <i>Ring width</i>	Zone e	1,53	1,48	1,64	80	0,47 NS	0	0	0
	Zone i	2,16	2,48	2,30	58	0,78 NS	0	0	0
Ecart-type largeur (mm) <i>Standart deviation of ring width</i>	Zone e	0,45	0,34	0,37	80	2,81 NS	0	0	0
	Zone i	0,54	0,59	0,56	58	0,25 NS	0	0	0
Coef. var. largeur (p. 100) <i>Variation coefficient</i>	Zone e	29,9	23,0	21,7	80	14,79 ***	+	0	+
	Zone i	24,6	24,4	24,5	58	0,00 NS	0	0	0
Densité minimale (g/dm ³) <i>Minimal density</i>	Zone e	286	270	269	80	1,58 NS	0	0	0
	Zone i	287	268	278	58	1,59 NS	0	0	0
Densité maximale (g/dm ³) <i>Maximal density</i>	Zone e	650	604	628	80	2,50 NS	0	0	0
	Zone i	714	694	699	58	0,39 NS	0	0	0
Hétérogénéité (g/dm ³) <i>Heterogeneity</i>	Zone e	364	334	359	80	1,07 NS	0	0	0
	Zone i	427	426	421	58	0,03 NS	0	0	0
Densité moyenne (g/dm ³) <i>Mean density</i>	Zone e	498	455	468	80	4,17 *	+	0	0
	Zone i	532	517	524	58	0,34 NS	0	0	0
p. 100 > 300 g/dm ³	Zone e	91	87	88	80	1,88 NS	0	0	0
	Zone i	94	91	91	58	2,35 NS	0	0	0

(suite du tableau au verso)

Caractères <i>Characteristics</i>		Valeurs moyennes <i>Mean values</i>			D.D.L erreur	F calculé	D.S. à 5 p. 100		
		R	I	P			R et I	I et P	R et P
p. 100 > 500 g/dm ³	Zone e	51	38	42	80	3,62 *	+	0	0
	Zone i	58	57	57	58	0,04 NS	0	0	0
p. 100 > 700 g/dm ³	Zone e	10	4	7	80	4,09 *	+	0	0
	Zone i	17	14	17	58	0,34 NS	0	0	0
Infradensité (g/dm ³) <i>Specific gravity</i>	Zone e	456	414	420	80	8,47 ***	+	0	+
	Zone i	495	461	451	60	6,81 **	+	0	+
Retrait tangentiel (p. 100) <i>Tangential shrinkage</i>	Zone e	11,6	10,7	10,9	80	2,47 NS	0	0	0
	Zone i	13,0	11,6	12,5	60	3,30 *	+	0	0
Retrait axial (p. 100) <i>Axial shrinkage</i>	Zone e	0,12	0,13	0,12	80	0,00 NS	0	0	0
	Zone i	0,03	0,12	0,23	60	3,14 NS	0	0	0
Retrait radial (p. 100) <i>Radial shrinkage</i>	Zone e	2,90	2,52	2,85	80	2,26 NS	0	0	0
	Zone i	3,41	3,25	3,15	60	0,68 NS	0	0	0
Retrait volumétrique (p. 100) <i>Volumetric shrinkage</i>	Zone e	15,0	13,6	14,2	80	3,66 *	+	0	0
	Zone i	16,8	15,3	16,3	60	3,48 *	+	0	0
Anisotropie <i>Anisotropy</i>	Zone e	4,2	4,8	4,1	80	1,37 NS	0	0	0
	Zone i	4,0	3,9	4,2	60	0,17 NS	0	0	0

D.D.L. = Degrés de liberté - *Degrees of freedom*.

F = Valeur du test F - *F test value*.

D.S. à 5 p. 100 = Différences significatives à 5 p. 100 - *Significant differences at 5 p. 100*.

R = Chênes rouvres = (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.).

P = Chênes pédonculés - (*Quercus robur*).

I = Chênes intermédiaires - *Intermediate oaks*.

Zone e = Zone externe - *Outer zone*.

Zone i = Zone interne - *Inner zone*.

*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - *Significant at the 1 p. 1 000 level*.

** Significatif au seuil de 1 p. 100 - *Significant at the 1 p. 100 level*.

* Significatif au seuil de 5 p. 100 - *Significant at the 5 p. 100 level*.

NS = Non significatif - *No significant*.

p. 100 > ... = Pourcentage de bois de densité supérieure à ... - *Percentage of wood having a density higher than ...*

2.11. Mesures de terrain et mesures sur l'aubier

— Les trois types de chênes ne présentent pas de différence significative sur les circonférences et ne se distinguent pas non plus au niveau de l'épaisseur de l'écorce ; néanmoins la valeur moyenne pour les chênes intermédiaires est plus proche de celle des chênes pédonculés que de celle des chênes rouvres.

— Si l'on considère le couple de torsion, on peut remarquer que seuls les chênes rouvres et les chênes pédonculés se séparent significativement. La valeur moyenne est supérieure pour les chênes rouvres, ce qui indique une dureté plus grande. Ceci est conforme à l'opinion courante. POSKIN déduisait de la simple observation visuelle que le chêne rouvre devait avoir un bois plus dur que le chêne pédonculé (A. POSKIN, 1934).

— Les mesures relatives à l'aubier présentent un certain intérêt, car sa durabilité étant bien moindre que celle du duramen, l'aubier est généralement purgé, diminuant d'autant le volume utilisable.

Alors que les chênes intermédiaires ne se séparent pas significativement des chênes pédonculés, les chênes rouvres eux se distinguent nettement des deux autres types en ce qui concerne le nombre d'années d'aubier et la largeur de l'aubier.

L'épaisseur de l'aubier et le nombre de cerne dans l'aubier sont plus importants pour les chênes rouvres, donc la duraminisation est plus tardive. Le chêne rouvre est par conséquent moins avantageux pour la commercialisation du bois, puisqu'à diamètre égal, la différence de bois de cœur disponible permet d'obtenir pour les chênes pédonculés et intermédiaires une surface de tranchage supplémentaire appréciable (de l'ordre de 70 m² de placage de 0,6 mm d'épaisseur pour une bille de 3 m de longueur).

L'opinion de R.K. BAMBER (1975) est que la duraminisation est un phénomène régulateur destiné à maintenir l'épaisseur de l'aubier au seul niveau nécessaire pour assurer la conduction de la sève et le stockage des substances de réserve de l'arbre.

Ceci a été une incitation à effectuer des mesures de nombre de vaisseaux et de taille des vaisseaux dans le bois de printemps.

L'observation courante montre que le chêne rouvre possède moins de rangées de gros vaisseaux dans le bois de printemps que le chêne pédonculé ; néanmoins le nombre de gros vaisseaux sur la largeur de la carotte (≈ 5 mm) a été compté sur la radiographie des échantillons dans 60 cerne de chênes rouvres et 60 cerne de chênes pédonculés (5 cerne pris au hasard pour 12 individus de chaque espèce).

Les résultats suivants confirment l'observation ($n_p = 23,95$; $n_r = 17,60$; ddl erreur = 118 ; $F = 52,7$) ; le test est très significatif au seuil de 1 p. 1 000.

La surface moyenne de la section transversale d'un gros vaisseau a été obtenue à l'aide d'un analyseur d'image sur 8 chênes pédonculés et 10 chênes rouvres ; la surface moyenne des vaisseaux entiers contenus dans la surface de l'écran est donnée directement par l'appareil.

La mesure a été répétée dans 18 zones pour les chênes pédonculés et 21 pour les chênes rouvres (le nombre différent est dû au fait que pour évaluer des surfaces avec l'analyseur d'image, il était nécessaire d'avoir des zones où la radiographie était très nette). Le test F n'est pas significatif ($s_p = 0,0529$ mm² ; $s_r = 0,0496$ mm² ;

ddl erreur = 37 ; F = 1,26 NS). Les deux espèces ne se séparent donc pas au niveau de la taille moyenne d'un vaisseau.

Aussi, peut-on penser que le chêne pédonculé, qui dispose d'une plus grande surface de gros vaisseaux dans le bois de printemps a besoin de moins d'années d'aubier pour assurer la conduction de la sève. Mais ce problème nécessiterait une étude plus approfondie qui sort du cadre du présent travail.

2.12. Comparaison des largeurs de cernes et de la régularité des cernes

Les trois types de chênes ne se distinguent pas au niveau des largeurs moyennes de cernes.

En revanche, si on considère les coefficients de variation des largeurs (C.V.), les chênes rouvres se distinguent nettement des deux autres types par une plus grande variabilité pour la zone externe.

2.13. Comparaison des mesures de densité

Tous les critères obtenus par densitométrie, ainsi que l'infradensité donnent des valeurs plus élevées pour les chênes rouvres.

Néanmoins, pour la zone interne, les chênes rouvres ne se distinguent des deux autres types que par l'infradensité (F significatif à 1 p. 100).

Pour la zone externe, on trouve des différences significatives au seuil de 5 p. 100 pour la densité moyenne ($\bar{D}$) et les pourcentages de bois dont la densité est supérieure à 500 g/dm³ et 700 g/dm³. Pour l'infradensité, les chênes rouvres se distinguent alors très nettement des deux autres types (F significatif au seuil de 1 p. 1 000).

Aucun critère de densité ne permet de distinguer les chênes intermédiaires des chênes pédonculés.

Remarque :

L'infradensité et la densité moyenne sont très bien corrélées comme l'on pouvait s'y attendre. Les coefficients de corrélation sont tous hautement significatifs au seuil de 1 p. 1 000.

Si l'on considère les valeurs moyennes (cf. tabl. 1 : comparaisons entre espèces), on note une certaine différence. Ceci est normal car, dans le cas de l'infradensité, on considère le rapport P_0/V_s du poids anhydre au volume saturé, et dans le cas de la densité moyenne le rapport $P_{H\ p. 100}/V_{H\ p. 100}$ du poids au volume à un certain degré d'humidité (≈ 10 p. 100), on doit avoir la relation :

$$\frac{I.D.}{\bar{D}_{10\ p. 100}} = \frac{1}{1,1} \times \frac{1}{1 + R_v}$$

où R_v est le retrait volumétrique ; ces rapports ont été calculés dans un but de vérification, mais les valeurs trouvées ainsi sont assez différentes de celles trouvées par le rapport des valeurs moyennes expérimentales.

Néanmoins on peut dire que si la détermination de P_0 et V_s ne pose pas trop de problèmes pour l'infradensité, les valeurs de la densité moyenne sont obtenues à partir des courbes densitométriques par la méthode des trapèzes (R. KELLER & D. XEUXET, 1973, *op. cit*) et donc l'incertitude est d'autant plus importante :

— que les courbes sont plus tourmentées (ce qui est le cas pour les feuillus comme le chêne);

— que le nombre de paliers de densité retenu est plus faible, ce qui est le cas ici (B. PELLECUER, 1976, *op. cit.*).

Ceci pourrait expliquer que la correspondance ne soit pas meilleure.

2.14. *Retraits et anisotropie*

Il existe peu de différences significatives entre les trois types de chênes, en ce qui concerne les composantes du retrait et l'anisotropie.

Seuls les chênes rouvres et intermédiaires se distinguent au seuil de 5 p. 100, avec des valeurs plus fortes pour le chêne rouvre, au niveau des retraits volumétrique (pour les deux zones) et tangentiel (en zone interne seulement). Là encore le chêne intermédiaire ne se sépare pas du pédonculé.

2.2. *Relations intraspécifiques entre caractères*

2.21. *Appréciation de la qualité en forêt par une méthode non-destructive : le couple de torsion*

Les coefficients de corrélation entre les valeurs du couple de torsion et les valeurs des différents paramètres pour la zone externe ont été calculés.

TABLEAU 2

Corrélations du couple de torsion avec la largeur de cerne et les composantes de la densité.

Correlations between torsion torque and ring width or density components.

Type et nombre <i>Kind and number</i>	l	d	D	(D — d)	D	p. 100 > 500	I.D.
Rouvres 30	0,377 *	NS	0,506 **	0,527 **	0,461 *	0,489 **	0,630 ***
Intermédiaires .. 27	NS	NS	0,472 *	NS	0,558 **	0,592 **	0,477 *
Pédonculés 27	NS	NS	0,440 *	NS	0,474 *	0,436 *	0,478 *

Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.

Pédonculés = *Quercus robur* L.

Intermédiaires - *Intermediate oaks.*

*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - *Significant at the 1 p. 1 000 level.*

** Significatif au seuil de 1 p. 100 - *Significant at the 1 p. 100 level.*

* Significatif au seuil de 5 p. 100 - *Significant at the 5 p. 100 level.*

NS = Non significatif - *No significant.*

l = Largeur de cerne - *Ring width.*

D = Densité maximale - *Maximal density.*

d = densité minimale - *Minimal density.*

(D — d) = Hétérogénéité - *Heterogeneity.*

D = Densité moyenne - *Mean density.*

p. 100 > 500 = Pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ - *Percentage of wood having a density higher than 500 g/dm³.*

I.D. = Infradensité - *Specific gravity.*

Il n'y a pas de liaison significative entre le couple de torsion et la circonférence des arbres, ni entre le couple de torsion et les composantes du retrait.

Pour les autres paramètres, il existe surtout des liaisons entre le couple de torsion et la densité maximale, la densité moyenne, le pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ et l'infradensité. On retrouve ici en partie des résultats déjà obtenus (F. COURTOISIER, 1976, *op. cit.*).

L'utilisation du torsiomètre pour estimer la dureté du bois est donc bien justifiée (H. POLGE & R. KELLER, 1970, *op. cit.*).

2.22. Relation entre la circonférence et l'épaisseur de l'écorce

Le coefficient de corrélation entre l'épaisseur de l'écorce et la valeur de la circonférence prise à 1,30 m est positivement significatif pour les trois types de chênes ; néanmoins la liaison est beaucoup plus étroite pour les chênes intermédiaires et pédonculés que pour les chênes rouvres.

Valeur des coefficients de corrélation :

Espèces	Nombre	Coefficient de corrélation
Rouvres	30	0,368 *
Intermédiaires	27	0,756 ***
Pédonculés	26	0,806 ***

On retrouve là encore les résultats de F. COURTOISIER ; mais ici, les individus étant d'âge comparable (250 ans environ), on ne peut attribuer cette liaison à des différences d'âge. Les arbres les plus vigoureux produisent donc plus d'écorce.

Ceci correspond également à l'opinion de VENET disant que : « Il y a en général corrélation entre la croissance de l'écorce en épaisseur et la croissance de la tige en diamètre » (J. VENET, 1967).

2.23. Liaisons entre la largeur de cerne et les composantes de la densité

Ces liaisons intéressent en tout premier lieu le sylviculteur, puisque la densité est un critère essentiel de la qualité du bois et que la largeur de cerne conditionne directement la quantité de bois produite.

Les corrélations de la largeur moyenne (l) avec la densité maximale (D), l'hétérogénéité (D - d), la densité moyenne ($\bar{D}$), le pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ (p. 100 > 500) et l'infradensité (I.D.) sont toutes positives et significatives au seuil de 1 p. 100, au moins pour la zone externe. Pour la zone interne, c'est aussi le cas des chênes rouvres et des chênes intermédiaires (sauf pour l'hétérogénéité).

Ceci confirme l'observation générale, mais non absolue (H. POLGE & R. KELLER, 1973, *op. cit.*), selon laquelle plus un chêne croît rapidement, plus sa densité est élevée, mettant malheureusement en opposition la production de bois de qualité et la vitesse d'obtention de billes de dimensions convenables.

TABLEAU 3

Corrélations de la largeur moyenne de cerne avec les composantes de la densité.
Correlations between ring width and the density components.

	Zone externe - Outer zone						Zone interne - Inner zone							
	N	d	D	(D—d)	$\bar{D}$	p. 100 > 500	I.D.	N	d	D	(D—d)	$\bar{D}$	p. 100 > 500	I.D.
Rouvres	30	NS	0,576 ***	0,680 ***	0,497 **	0,534 **	0,624 ***	21	NS	0,596 **	0,649 **	0,642 **	0,712 ***	0,662 **
Intermédiaires	27	NS	0,706 ***	0,629 ***	0,618 ***	0,588 **	0,750 ***	22	0,549 **	0,678 ***	NS	0,809 ***	0,770 ***	0,706 ***
Pédonculés	26	NS	0,628 ***	0,534 **	0,650 ***	0,627 ***	0,723 ***	18	NS	NS	0,503 *	NS	NS	NS

Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.
Pédonculés = *Quercus robur* L.
Intermédiaires = Intermediate oaks.
*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - Significant at the 1 p. 1 000 level.
** Significatif au seuil de 1 p. 100 - Significant at the 1 p. 100 level.
* Significatif au seuil de 5 p. 100 - Significant at the 5 p. 100 level.
NS = Non significatif - No significant.
N = Nombre de couples - Number of pairs.
d = Densité minimale - Minimal density.
D = Densité maximale - Maximal density.
(D—d) = Hétérogénéité - Heterogeneity.
 $\bar{D}$ = Densité moyenne - Mean density.
p. 100 > 500 = Pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ - Percentage of wood having a density higher than 500 g/dm³.
I.D. = Infradensité - Specific gravity.

TABEAU 4

Corrélations de la largeur moyenne de cerne avec les différents retraits.
Correlations between ring width and the different shrinkages.

	Zone externe - Outer zone					Zone interne - Inner zone						
	N	R _T	R _A	R _R	R _V	R _T /R _R	N	R _T	R _A	R _R	R _V	R _T /R _R
Rouvres	30	0,488 **	NS	NS	0,510 **	0,562 **	21	NS	0,434 *	NS	0,491 *	NS
Intermédiaires	27	NS	NS	NS	NS	NS	22	NS	NS	NS	NS	NS
Pédunculés	26	NS	— 0,450 *	NS	NS	NS	18	NS	— 0,480 *	NS	NS	NS

Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.
Pédunculés = *Quercus robur* L.
Intermédiaires = Intermediate oaks.
** Significatif au seuil de 1 p. 100 - Significant at the 1 p. 100 level.
* Significatif au seuil de 5 p. 100 - Significant at the 5 p. 100 level.
NS = Non significatif - No significant.
N = Nombre de couples - Number of pairs.
R_T = Retrait tangentiel - Tangential shrinkage.
R_A = Retrait axial - Axial shrinkage.
R_R = Retrait radial - Radial shrinkage.
R_V = Retrait volumétrique - Volumetric shrinkage.
R_T/R_R = Anisotropie - Anisotropy.

Si l'on considère une augmentation de la largeur moyenne de cerne de 1 mm (à partir de 1,5 mm jusqu'à 2,5 mm), les densités moyennes correspondantes, calculées à partir des équations des droites de régression (cf. B. PELLECUER, 1976, *op. cit.*), donnent les valeurs suivantes :

Rouvres	497 g/dm ³ et 546 g/dm ³
Intermédiaires	456 g/dm ³ et 520 g/dm ³
Pédunculés	461 g/dm ³ et 512 g/dm ³

L'augmentation de densité est du même ordre de grandeur pour les trois types de chênes.

Remarque :

La liaison de l'hétérogénéité avec la largeur de cerne se comprend : la densité maximale est très liée à la largeur de cerne et les corrélations entre l'hétérogénéité et la densité maximale sont positives et hautement significatives au seuil de 1 p. 1 000 pour les 3 types de chênes (entre 0,820 et 0,921 pour les six séries espèces-zones considérées) ; en revanche, la liaison de l'hétérogénéité avec la densité minimale est négative et beaucoup moins bonne : elle n'est significative (et encore tout près du seuil à 5 p. 100) que pour les chênes rouvres et intermédiaires en zone externe :

	Zone externe	Zone interne
Rouvres	— 0,365 * (n = 30)	— 0,211 NS (n = 21)
Intermédiaires	— 0,406 * (n = 27)	— 0,327 NS (n = 22)
Pédunculés	— 0,273 NS (n = 26)	— 0,044 NS (n = 18)

On retrouve ici des résultats déjà connus (H. POLGE & R. KELLER, 1973, *op. cit.*).

2.24. Liaisons entre la largeur de cerne et le retrait du bois

Ces liaisons présentent elles aussi un grand intérêt, car un retrait important déprécie fortement la qualité du bois.

L'observation des résultats ne montre pas de liaisons très fortes entre la largeur de cerne et les différentes composantes du retrait.

Pour les chênes rouvres, seuls les retraits tangentiels (R_T) et volumétrique (R_V), ainsi que l'anisotropie (R_T/R_R) sont liés significativement au seuil de 1 p. 100 avec la largeur moyenne des cernes en zone externe. Pour la zone interne, la corrélation n'est plus significative qu'à 5 p. 100 pour le retrait volumétrique uniquement. La liaison positive ($r = 0,434$) avec le retrait axial (R_A), bien que significative à 5 p. 100 seulement, est surprenante car cette liaison de la largeur avec R_A est négative dans tous les autres cas.

Pour les chênes intermédiaires, il n'y a aucune liaison, et pour les chênes pédunculés, seule la corrélation négative du retrait axial et de la largeur de cerne est significative au seuil de 5 p. 100.

TABLEAU 5

Corrélations de l'écart-type des largeurs de cerne avec les autres critères de qualité.
Correlations between the standard deviation of ring width and the other wood quality parameters.

	N	d	D	(D—d)	$\bar{D}$	p. 100 > 500	I.D.	R _T	R _A	R _R	R _V
Zone externe											
Rouvres	30	NS	0,554 **	0,620 ***	0,522 **	0,542 **	0,625 ***	0,396 *	NS	NS	0,400 *
Intermédiaires	27	NS	0,626 ***	0,453 *	0,618 ***	0,542 **	0,726 ***	NS	NS	NS	NS
Pédonculés	26	NS	0,600 **	0,473 *	0,639 ***	0,611 ***	0,687 ***	NS	— 0,446 *	NS	NS
Zone interne											
Rouvres	21	NS	0,550 **	NS	0,770 ***	0,751 ***	0,746 ***	0,447 *	NS	NS	0,553 **
Intermédiaires	22	NS	0,496 *	NS	0,686 ***	0,655 ***	0,586 **	NS	NS	NS	NS
Pédonculés	18	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.
Pédonculés = *Quercus robur* L.
Intermédiaires = Intermediate oaks.

*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - Significant at the 1 p. 1 000 level.
** Significatif au seuil de 1 p. 100 - Significant at the 1 p. 100 level.
* Significatif au seuil de 5 p. 100 - Significant at the 5 p. 100 level.

NS = Non significatif - No significant.

N = Nombre de couples - Number of pairs.
d = Densité minimale - Minimal density.
D = Densité maximale - Maximal density.
(D—d) = Hétérogénéité - Heterogeneity.
D = Densité moyenne - Mean density.
p. 100 > 500 = Pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ - Percentage of wood having a density higher than 500 g/dm³.
I.D. = Infradensité - Specific gravity.
R_T = Retrait tangentiel - Tangential shrinkage.
R_A = Retrait axial - Axial shrinkage.
R_R = Retrait radial - Radial shrinkage.
R_V = Retrait volumétrique - Volumetric shrinkage.

2.25. *Relations entre l'irrégularité des largeurs de cerne et les autres critères de qualité*

Cette caractéristique étant très variable selon les individus, il semblait intéressant de voir si on pouvait la relier à d'autres caractères.

Nous avons d'abord considéré les relations entre l'écart-type des largeurs de cerne (σ_l) et les différents critères de qualité.

Un certain nombre de liaisons significatives existent, principalement avec les composantes de la densité (D , $D - d$, D , p. 100 > 500, I.D.) surtout en zone externe.

Cependant, si l'on compare ce tableau avec celui des liaisons largeur de cerne - composantes de la densité et celui des liaisons largeur de cerne - retraits, on est amené à constater une certaine correspondance. Les liaisons significatives sont en général celles qui le sont aussi avec la largeur.

Le calcul des coefficients de corrélation entre la largeur de cerne et σ_l , montre qu'ils sont tous très significatifs au seuil de 1 p. 1 000 ; on est donc amené à penser que le poids de la largeur elle-même dans les relations avec l'écart-type est prépondérant.

Valeurs des coefficients de corrélation largeur - σ_l :

	Zone externe	Zone interne
Rouvres	0,828 *** (n = 30)	0,721 *** (n = 21)
Intermédiaires	0,858 *** (n = 27)	0,739 *** (n = 22)
Pédonculés	0,916 *** (n = 26)	0,816 *** (n = 18)

Afin d'éliminer dans les liaisons l'effet dû à la largeur et de ne tenir compte que de l'irrégularité elle-même, nous avons calculé les coefficients de corrélation des coefficients de variation (C.V.) avec les mêmes caractères.

Les résultats de ces calculs montrent qu'il y a peu de liaisons significatives. L'irrégularité des cernes (mesurée par le coefficient de variation) semble n'avoir que fort peu d'influence sur les autres caractères.

Pour la zone externe, il n'y a aucune liaison significative au seuil de 5 p. 100 avec le coefficient de variation des largeurs de cernes.

Pour la zone interne, quelques liaisons positives significatives au seuil de 5 p. 100 seulement se manifestent pour le chêne rouvre (avec la densité minimale, la densité moyenne et l'infradensité) et pour le chêne pédonculé (avec la densité minimale) :

Espèce et nombre		d	$\bar{D}$	I.D.
Rouvres	21	0,537 *	0,506 *	0,495 *
Intermédiaires	22	NS	NS	NS
Pédonculés	18	0,483 *	NS	NS

TABLEAU 6

Corrélations des différents retraits avec les composantes de la densité.
Correlations between the different shrinkages and the density components.

			Zone externe - Outer zone					Zone interne - Inner zone						
			d	D	(D—d)	$\bar{D}$	p. 100 > 500	I.D.	d	D	(D—d)	D	p. 100 > 500	I.D.
Retrait tangentiel Tangential shrinkage	R		NS	0,491 **	0,545 **	0,426 *	0,485 **	0,619 ***	NS	NS	NS	0,441 *	0,536 *	0,434 *
	I		0,435 *	NS	NS	0,416 *	NS	0,425 *	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P		NS	0,413 *	NS	0,434 *	0,440 *	0,437 *	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Retrait axial Axial shrinkage	R		NS	NS	NS	NS	NS	— 0,388 *	NS	0,542 *	0,528 *	0,528 *	0,542 *	NS
	I		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P		NS	— 0,513 **	— 0,473 *	— 0,523 **	— 0,491 *	— 0,626 ***	NS	NS	— 0,586 *	NS	NS	NS
Retrait radial Radial shrinkage	R		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	I		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,445 *	0,464 *	NS	NS	0,525 *
	P		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Retrait volumétrique Volumetric shrinkage	R		NS	0,498 **	0,532 **	0,445 *	0,470 **	0,599 ***	NS	0,522 *	0,490 *	0,573 **	0,681 ***	0,636 **
	I		0,502 **	NS	NS	0,418 *	0,404 *	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

R = Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.P = Pédonculés = *Quercus robur* L.

I = Intermédiaires - Intermediate oaks.

*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - Significant at the 1 p. 1 000 level.

** Significatif au seuil de 1 p. 100 - Significant at the 1 p. 100 level.

* Significatif au seuil de 5 p. 100 - Significant at the 5 p. 100 level.

NS = Non significatif - No significant.

d = Densité minimale - Minimal density.

D = Densité maximale - Maximal density.

(D—d) = Hétérogénéité - Heterogeneity.

 $\bar{D}$ = Densité moyenne - Mean density.p. 100 > 500 = Pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ - Percentage of wood having a density higher than 500 g/dm³.

I.D. = Infradensité - Specific gravity.

2.26. *Liaisons entre les composantes de la densité et celles du retrait*

Si on observe le tableau des comparaisons entre espèces (tabl. 1), on voit que les chênes rouvres, qui ont une densité supérieure, ont également les plus fortes valeurs de retrait.

Au regard de ces relations interespèces, on peut s'attendre à mettre en évidence certaines liaisons, au niveau des individus à l'intérieur de l'espèce, entre les composantes de la densité et celles du retrait.

— *Retrait tangentiel*

C'est le chêne rouvre qui offre le plus de liaisons significatives avec les composantes de la densité.

En zone externe, seule la densité minimale (d) ne donne pas de liaison significative au seuil de 5 p. 100. Les corrélations sont positives et souvent significatives au seuil de 1 p. 100 (1 p. 1 000 même pour l'infradensité).

En zone interne, les liaisons sont moins bonnes ; seules les liaisons avec la densité moyenne ($\bar{D}$), le pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³ et l'infradensité ($I.D.$) restent significatives au seuil de 5 p. 100.

Pour les chênes intermédiaires et pédonculés, on trouve beaucoup moins de liaisons. Il n'y a aucune liaison pour la zone interne et celles qui existent pour la zone externe sont significatives au seuil de 5 p. 100 seulement. On peut noter la liaison avec la densité moyenne ($\bar{D}$) et l'infradensité qui existe pour les deux types de chênes.

— *Retrait axial*

Pour le chêne pédonculé, on trouve des liaisons négatives (sauf avec d) en zone externe et seule l'hétérogénéité présente une liaison négative au seuil de 5 p. 100 en zone interne.

Le chêne intermédiaire ne présente aucune liaison et le chêne rouvre une liaison négative, significative à 5 p. 100, avec l'infradensité en zone externe. Les liaisons positives présentées par le chêne rouvre en zone interne (bien que significatives à 5 p. 100 seulement) sont assez inattendues (à noter qu'il y avait d'ailleurs déjà une liaison positive du retrait axial avec la largeur de cerne).

— *Retrait radial*

On n'a pratiquement pas de liaisons entre le retrait radial et les composantes de la densité. Seuls les chênes intermédiaires en zone interne présentent quelques liaisons positives significatives au seuil de 5 p. 100 (avec la densité maximale, l'hétérogénéité, et l'infradensité).

— *Retrait volumétrique*

Pour les chênes rouvres, toutes les composantes de la densité (sauf densité minimale) présentent des corrélations positives, significatives au seuil de 5 p. 100 au moins pour les deux zones.

Pour les chênes intermédiaires, seules quelques liaisons positives sont significatives en zone externe (densité minimale, densité moyenne, pourcentage de bois de densité supérieure à 500 g/dm³).

Les chênes pédonculés ne présentent aucune liaison significative au seuil de 5 p. 100.

Il est possible de comparer ces résultats avec d'autres déjà obtenus.

F. COURTOISIER (1976, *op. cit.*) avait obtenu des liaisons positives du retrait tangentiel avec l'infradensité, la densité moyenne, les densités maximale et minimale, et des liaisons négatives du retrait axial avec l'infradensité, la densité moyenne et la densité maximale. Le retrait volumétrique était lié positivement aux composantes de la densité. De plus, elle notait également que les liaisons étaient moins abondantes pour la zone située du côté du cœur que pour la zone située du côté de l'écorce.

H. POLGE & R. KELLER (1973, *op. cit.*) avaient noté que les divers retraits étaient corrélés positivement avec la densité ou avec certaines de ses composantes.

Dans les deux études citées précédemment, chênes rouvres et chênes pédonculés n'ont pas été séparés.

Cependant, que ce soit en forêts de Bride et de Saint-Jean (F. COURTOISIER, 1976, *op. cit.*) ou en forêt de Tronçais (R. KELLER, communication personnelle), les chênes rouvres étaient très largement majoritaires dans l'échantillonnage.

L'observation précédente est intéressante si l'on considère que dans la présente étude ce sont surtout les chênes rouvres qui donnent des liaisons abondantes et assez fortes entre les composantes de la densité et les divers retraits.

2.3. Comparaison bois âgé - bois récent

La comparaison de la qualité du bois de deux zones, une de bois âgé, l'autre de bois récent, prises sur le même individu présente un intérêt car elle permet de voir s'il existe une constante des caractères individuels dans le temps.

Si les liaisons entre les deux zones sont bonnes (coefficients de corrélation), cela permet de penser qu'il est possible d'apprécier assez tôt la qualité d'un chêne, et donc de classer les individus à l'intérieur de leur tranche d'âge.

L'observation des valeurs moyennes permet en outre de voir comment évolue la qualité du bois au cours du temps en fonction du vieillissement, de la duraminisation et des modifications de l'environnement ou de la sylviculture lorsqu'elles sont connues. Dans le cas présent, nous savons que le taillis-sous-futaie préexistant a été converti en futaie à partir de 1866 ; nous verrons par la suite s'il est possible de noter une différence due à cette conversion.

La comparaison se fera donc :

- d'une part, en considérant les valeurs des moyennes des populations. Un test de comparaison de moyennes en séries appariées (test t) a été effectué pour chaque caractère ;

- d'autre part, en observant les coefficients de corrélation entre les valeurs individuelles des paramètres des deux zones.

Comparison des valeurs moyennes des caractères de la zone externe et de la zone interne.
Comparison of the mean values of the different wood characteristics between the outer and the inner zones.

Caractères Characteristics	Chênes rouvres				Chênes intermédiaires				Chênes pédonculés			
	N	$\bar{x}_e$	$\bar{x}_i$	$ t $	N	$\bar{x}_e$	$\bar{x}_i$	$ t $	N	$\bar{x}_e$	$\bar{x}_i$	$ t $
l (mm)	21	1,27	2,16	8,12 ***	22	1,37	2,48	5,33 ***	18	1,32	2,30	5,45 ***
σ_l (mm)	21	0,38	0,54	3,65 **	22	0,31	0,59	4,28 ***	18	0,29	0,56	5,63 ***
C.V. _l (p. 100)	21	30,0	24,6	3,13 **	22	22,7	24,4	0,74	18	21,5	24,5	1,44
d (g/dm ³)	21	290	287	0,32	22	273	268	0,54	18	274	278	0,36
D (g/dm ³)	21	622	714	6,49 ***	22	594	694	5,51 ***	18	606	699	6,02 ***
(D — d) (g/dm ³)	21	332	427	5,82 ***	22	321	426	6,00 ***	18	332	421	4,77 ***
$\bar{D}$ (g/dm ³)	21	480	532	5,24 ***	22	452	517	5,03 ***	18	456	524	5,78 ***
p. 100 > 300	21	90	94	3,07 **	22	87	91	2,98 **	18	87	91	2,07
p. 100 > 500	21	46	58	4,36 ***	22	38	57	4,23 ***	18	38	57	6,71 ***
p. 100 > 700	21	7	17	4,53 ***	22	4	14	5,24 ***	18	5	17	3,50 **
I.D. (g/dm ³)	22	446	495	9,76 ***	23	410	461	7,15 ***	18	408	451	7,06 ***
R _T (p. 100)	22	11,6	13,0	4,33 ***	23	10,6	11,6	2,83 **	18	10,9	12,5	4,00 ***
R _A (p. 100)	22	0,12	0,03	1,15	23	0,12	0,12	0,08	18	0,22	0,23	0,07
R _R (p. 100)	22	2,76	3,41	4,77 ***	23	2,69	3,25	4,15 ***	18	2,71	3,15	2,27 *
R _V (p. 100)	22	14,6	16,8	5,71 ***	23	13,7	15,3	4,70 ***	18	14,2	16,3	5,28 ***
R _T /R _R	22	4,2	4,0	1,17	23	4,3	3,9	1,84	18	4,4	4,2	0,56

Chênes rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.
Chênes pédonculés = *Quercus robur* L.
Chênes intermédiaires = Intermediate oaks.

N = Nombre de couples - Number of pairs.
 $\bar{x}_e$ = Valeur moyenne de la zone externe - Mean value of outer zone.
 $\bar{x}_i$ = Valeur moyenne de la zone interne - Mean value of inner zone.
 $|t|$ = Valeur absolue du test « t » - Absolute value of Student test.
l = Largeur de cerne - Ring width.
C.V._l = Ecart-type des largeurs de cerne - Standard deviation of ring width.
 σ_l = Coefficient de variation des largeurs de cerne - Variation coefficient of ring width.
D = Densité minimale - Minimal density.
d = Densité maximale - Maximal density.
(D — d) = Hétérogénéité - Heterogeneity.
 $\bar{D}$ = Densité moyenne - Mean density.
p. 100 > ... = Pourcentage de bois de densité supérieure à... - Percentage of wood having a density higher than...
I.D. = Infra-densité - Specific gravity.
R_T = Retrait tangentiel - Tangential shrinkage.
R_A = Retrait axial - Axial shrinkage.
R_R = Retrait radial - Radial shrinkage.
R_V = Retrait volumétrique - Volumetric shrinkage.
R_T/R_R = Anisotropie - Anisotropy.

*** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - Significant at the 1 p. 1 000 level.
** Significatif au seuil de 1 p. 100 - Significant at the 1 p. 100 level.
* Significatif au seuil de 5 p. 100 - Significant at the 5 p. 100 level.
NS = Non significatif - No significant.

2.31. Comparaison des moyennes

Remarque :

Les valeurs moyennes données pour la zone externe sont différentes de celles données dans le tableau 1 (comparaison entre espèces). Ceci est normal car ici, elles portent seulement sur les individus pour lesquels les deux zones ont été étudiées, alors que pour la comparaison des espèces elles portent sur la totalité des échantillons.

Le test de comparaison de moyennes montre que les deux zones se distinguent bien pour la majorité des caractères considérés. Il n'y a que pour la densité minimale, le retrait axial et l'anisotropie, ainsi que pour le pourcentage de bois dont la densité est supérieure à 300 g/dm³ dans le cas des chênes pédonculés, et le coefficient de variation sur les largeurs de cerne pour les chênes intermédiaires et pédonculés, que le test n'est pas significatif.

Pour tous les autres caractères, le test est significatif au seuil de 1 p. 100 et même souvent de 1 p. 1 000.

La largeur de cerne a diminué de façon très importante (plus de 40 p. 100 entre les deux époques).

Les composantes de la densité (sauf la densité minimale) sont nettement plus faibles, ce qui est normal si l'on considère les coefficients de corrélation entre largeur de cerne et composantes de la densité. Les retraits tangentiel, radial et volumétrique ont également diminué (bien que l'on n'ait pas trouvé de liaisons importantes du retrait avec la largeur de cerne).

L'observation courante montre qu'en général la largeur de cerne et la densité du bois diminuent lorsque l'assise génératrice vieillit (H. POLGE & R. KELLER, 1973, *op. cit.*). Pourtant dans le cas présent, les deux périodes considérées se situent à un âge assez avancé de la vie de l'arbre (170 ans environ pour la zone interne, 220 ans environ pour la zone externe) et il est assez difficile de croire que seule la différence d'âge entraîne une telle diminution de la largeur des cerne.

De plus, si l'on considère le tableau des comparaisons entre espèces (tabl. 1), nous voyons que le chêne rouvre se distingue davantage des deux autres en zone externe qu'en zone interne. Des différences apparaissent alors qu'elles n'existaient pas en zone interne (coefficient de variation des largeurs de cerne, densité moyenne, pourcentage de bois dont la densité est supérieure à 500 g/dm³ et 700 g/dm³).

Pour expliquer l'amélioration très nette de la qualité du bois entre les deux époques, au regard des observations précédentes, on est amené quand même à envisager des raisons sylvicoles.

Il est admis que la qualité du bois en futaie est en général supérieure à celle du bois en taillis-sous-futaie : plus grande régularité théorique de la vitesse de croissance (pas d'à-coups en principe) et largeur moyenne de cerne inférieure.

En forêt de Morimond, la conversion date de 1866. Bien que le bois formé au cours des deux périodes considérées l'ait été après cette conversion, on peut penser que l'effet de la culture en taillis-sous-futaie se fait encore sentir au niveau de la zone interne, alors que l'influence de la culture en futaie joue pleinement au niveau de la zone externe.

TABLEAU 8

*Liaisons entre les caractères de la zone interne et ceux de la zone externe.**Relationships between wood characteristics of the inner and the outer zones.*

Caractères <i>Characteristics</i>	Rouvres		Intermédiaires		Pédunculés	
	N	r	N	r	N	r
I	21	0.702 ***	22	NS	18	NS
σ_I	21	0.635 **	22	NS	18	NS
C.V. _I	21	NS	22	NS	18	NS
d	21	NS	22	0.469 *	18	NS
D	21	0.627 **	22	NS	18	0.625 **
(D — d)	21	0.553 **	22	NS	18	NS
$\bar{D}$	21	0.644 **	22	0.437 *	18	0.664 **
p. 100 > 300	21	NS	22	0.605 **	18	NS
p. 100 > 500	21	0.603 **	22	NS	18	0.774 ***
p. 100 > 700	21	0.683 ***	22	0.540 **	18	NS
I.D.	22	0.862 ***	23	0.655 ***	18	0.782 ***
R_T	22	0.571 **	23	0.627 **	18	0.646 **
R_A	22	NS	23	0.538 **	18	NS
R_R	22	NS	23	0.688 ***	18	NS
R_V	22	0.567 **	23	0.718 ***	18	0.665 **
R_T/R_R	22	0.574 **	23	0.792 ***	18	NS

N = Nombre de couples - *Number of pairs.*r = Coefficient de corrélation - *Correlation coefficient.*Rouvres = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.Pédunculés = *Quercus robur* L.Intermédiaires - *Intermediate oaks.**** Significatif au seuil de 1 p. 1 000 - *Significant at the 1 p. 1 000 level.*** Significatif au seuil de 1 p. 100 - *Significant at the 1 p. 100 level.** Significatif au seuil de 5 p. 100 - *Significant at the 5 p. 100 level.*NS = Non significatif - *No significant.*I = Largeur de cerne - *Ring width.* σ_I = Écart-type des largeurs de cerne - *Standard deviation of ring width.*C.V._I = Coefficient de variation des largeurs de cerne - *Variation coefficient of ring width.*d = Densité minimale - *Minimal density.*D = Densité maximale - *Maximal density.*(D — d) = Hétérogénéité - *Heterogeneity.* $\bar{D}$ = Densité moyenne - *Mean density.*p. 100 > ... = Pourcentage de bois de densité supérieure à ... - *Percentage of wood having a density higher than...*I.D. = Infradensité - *Specific gravity.* R_T = Retrait tangentiel : *tangential shrinkage.* R_A = Retrait axial - *Axial shrinkage.* R_R = Retrait radial - *Radial shrinkage.* R_V = Retrait volumétrique - *Volumetric shrinkage.* R_T/R_R = Anisotropie - *Anisotropy.*

Cette hypothèse se trouve un peu confortée par les observations de M. BECKER (1971, *op. cit.*) ; en effet celui-ci n'avait relevé aucune différence interspécifique au niveau de la densité entre les chênes rouvres et pédonculés dans la culture en taillis-sous-futaie lorsque ceux-ci coexistaient.

La concurrence, surtout au niveau racinaire, étant moins importante dans la culture en futaie où les souches des arbres enlevés en éclaircie meurent, contrairement à celles du taillis, cela permettrait davantage aux espèces de réagir en fonction de leurs caractéristiques propres.

2.32. *Liaisons entre la zone interne et la zone externe*

Si la qualité s'est améliorée dans l'ensemble pour les individus entre les deux époques, l'observation des coefficients de corrélation montre qu'il est possible de prévoir assez tôt la qualité d'un chêne.

L'infradensité, ainsi que les retraits tangentiel et volumétrique présentent des corrélations positives significatives au seuil de 1 p. 100 au moins, pour les trois types de chênes. Cela signifie que le classement d'individus d'âge comparable reste assez stable dans le temps.

Le couple de torsion étant assez bien corrélé à la densité, l'utilisation du torsiomètre (méthode non destructive) est justifiée, afin d'avoir assez tôt une approche de la qualité des peuplements.

Les autres liaisons sont moins générales. Pour la largeur de cerne, seuls les chênes rouvres présentent une liaison significative. Ce sont également les chênes rouvres qui présentent le maximum de liaisons significatives pour les critères de densité, alors que les chênes intermédiaires en revanche se distinguent surtout par de bonnes liaisons au niveau des retraits.

3. Conclusion

La comparaison des trois types de chênes au niveau de la qualité du bois indique que le chêne intermédiaire ne se sépare jamais du chêne pédonculé.

Le problème de l'hybridation possible entre chênes rouvres et chênes pédonculés, évoqué en introduction, est donc loin d'être réglé et, puisqu'aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les chênes intermédiaires et les chênes pédonculés pour les critères de qualité du bois, il est difficile d'avoir une opinion tranchée dans ce domaine.

A Morimond, sur la station considérée, où les trois types de chênes poussent ensemble, la qualité du bois des chênes pédonculés et intermédiaires est supérieure à celle des chênes rouvres (valeurs de la densité et du retrait plus faibles, aubier moins développé et meilleure homogénéité du bois). Il s'agit de résultats qui recourent et complètent celui obtenu par ailleurs (M. BECKER, 1979, *op. cit.*) sur le couple de torsion.

L'importance plus grande des gros vaisseaux dans le bois de printemps pour les chênes pédonculés explique en partie les densités plus faibles.

Cependant, une observation comparative approfondie du plan ligneux des deux espèces rouvre et pédonculé, tendant à quantifier les différents éléments, n'a jamais été entreprise à notre connaissance. Il s'agit là d'une étude de fond qu'il serait intéressant d'aborder.

L'étude des corrélations entre les caractères n'apporte pas beaucoup d'éléments au niveau de la comparaison des trois types de chêne, mais permet cependant quelques observations.

La régularité des cernes qui donne un bois plus homogène et de travail plus facile est toujours une qualité appréciée.

Pourtant, si les liaisons de l'écart-type (σ_1) avec les composantes de la densité semblent intéressantes, la régularité des cernes (exprimée par le coefficient de variation) ne semble pas avoir beaucoup d'influence sur les autres critères de la qualité du bois.

Les résultats de l'étude, si l'on observe les liaisons largeur d'accroissement - densité et les comparaisons zone interne - zone externe, confirment qu'une largeur d'accroissement importante entraîne souvent une détérioration assez notable des qualités technologiques et montrent toute l'importance des essais d'amélioration génétique actuellement en cours.

Au regard des liaisons trouvées entre la zone interne et la zone externe, on peut dire qu'il est possible d'apprécier assez tôt la qualité d'un chêne et de classer les individus à l'intérieur d'une certaine tranche d'âge, ce qui, étant donné la faible vitesse de croissance du chêne et l'importance de l'enjeu économique, est d'un grand intérêt pour l'améliorateur forestier.

Reçu pour publication le 30 juin 1982.

Summary

Comparison of wood quality between three kinds of oak (Quercus petraea (Matt.) Liebl., Quercus robur L. and « intermediate oak »), in the Morimond forest

Three kinds of oak : *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L. and the so called « intermediate oak », growing on the same site, have been compared for wood density components, specific gravity and shrinkage.

The relationships between these different parameters are sometimes very different for the three kinds.

The correlations of ringwidth and of the variation coefficient of ringwidth with the other wood characteristics have also been studied.

The intermediate oak never differ from *Quercus robur* L. and the wood quality of both kinds is higher than that of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. thanks to lower density and shrinkage and to earlier duraminisation.

Références bibliographiques

- BAMBER R.K., 1975. Comparative studies of sapwood and heartwood. *Thesis Doctor of Philosophy Macquarie University*.
- BECKER M., 1971. Etude des relations sol-végétation, en conditions d'hydromorphie, dans une forêt de la plaine Lorraine. *Thèse d'Etat, Université de Nancy I*, 225 p.

- BECKER M., 1972. Quelques observations morphologiques chez le chêne sessile et chez le chêne pédonculé. *Bull. Soc. Bot. fr.*, **119**, 231-236.
- BECKER M., 1979. Une étude phyto-écologique sur les plateaux calcaires du Nord-Est (Massif de Haye, 54). *Ann. Sci. for.*, **36** (2), 93-124.
- COURTOISIER F., 1976. Etude des relations entre stations et qualité du bois de chêne en forêt de Bride et de Saint-Jean. *Rapport de stage E.N.I.T.E.F.*, juillet 1976.
- FERRAND J.C., 1982. Etude des contraintes de croissance. Première partie : méthode de mesure sur carottes de sondage. *Ann. Sci. for.*, **39** (2), 109-142.
- GATHY P., 1969. Contribution à l'étude de la génétique des chênes. Deuxième consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers, *F.A.O.*, **2**, 979-987.
- JUINO Ph., 1977. Etude des relations entre vigueur et qualité du frêne et du merisier dans quelques stations du Nord-Est de la France. *Rapport de stage E.N.I.T.E.F.*, juillet 1977.
- KELLER R., XEUXET D., 1973. Méthode de la mesure des données microdensitométriques et de leur traitement à l'ordinateur. Communication présentée au *Congrès de l'I.U.F.R.O.*, Le Cap, Prétoria, septembre-octobre 1973.
- PELLECUER B., 1976. L'écologie des chênes en forêt de Morimond et ses applications sylvicoles. *Thèse Docteur-Ingénieur Université de Nancy I*, 9 juin 1976.
- POLGE H., 1966. Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Applications dans les domaines technologique et physiologique. *Thèse Docteur ès-Sciences appliquées, Faculté des Sciences de l'Université de Nancy*, 27 juin 1966.
- POLGE H., KELLER R., 1970. Première appréciation de la qualité du bois en forêt par l'utilisation d'un torsiomètre. *Ann. Sci. for.*, **27** (2), 197-223.
- POLGE H., THIERCELIN F., 1970. Dégâts occasionnés par les sondages à la tarière. *Rev. for. fr.*, **XXII** (6).
- POLGE H., KELLER R., 1973. Qualité du bois et largeurs d'accroissements en forêt de Tronçais. *Ann. Sci. for.*, **30** (2), 91-126.
- POSKIN A., 1934. Le chêne pédonculé et le chêne rouvre, leur culture en Belgique. Gembloux, *Duculot*; Paris, *La Maison Rustique*, 283 p.
- RUSHTON B.S., 1977. Artificial hybridization between *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Watsonia*, **11**, 229-236.
- RUSHTON B.S., 1978. *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. : a multivariate approach to the hybrid problem. 1. - Data acquisition, analysis and interpretation. *Watsonia*, **12**, 81-101.
- RUSHTON B.S., 1979. *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. : a multivariate approach to the hybrid problem. 2. - The geographical distribution of population types. *Watsonia*, **12**, 209-224.
- THIERCELIN F., ARNOULD M.F., MANGENOT F., POLGE H., 1972. Altérations du bois provoquées par les sondages à la tarière. Leur contrôle. *Ann. Sci. for.*, **29** (1), 107-133.
- VENET J., 1967. Le chêne de tranchage et les utilisateurs. *Rev. for. fr.*, **10**, 585-597.
- WIGSTON D.L., 1974. Cytology and genetics of oaks. *The British Oaks*, Ed., *The Botanical Society of the British Isles*, 27-51.
- Plans d'aménagement de la forêt de Morimond, 1866, 1960. O.N.F., Centre de gestion de Langres.