

PROPRIETES DES BOIS DE CHENE VERT ET DE CHENE PUBESCENT

(QUERCUS ILEX L., QUERCUS PUBESCENS WILLD.)

PREMIERE PARTIE : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

par Rémy MARCHAL *

Introduction

Les bois de chênes méditerranéens, chêne vert en tête, ne jouissent pas d'une bonne réputation. On les dit nerveux, difficiles à travailler, mal conformés, trop petits. Les sylviculteurs les ont longtemps considérés comme des essences en sursis car peu productives. Même leur utilisation en bois de feu a de moins en moins la faveur des foyers du fait de l'exode des arrière-pays méditerranéens vers les villes des plaines ou des côtes.

Toutes ces appréciations ne sont pas infondées mais il convient d'explorer la nature réelle de ces bois.

D'autre part, la dynamique propre des peuplements forestiers de chênes verts et de chênes pubescents a bénéficié d'assez nombreuses études menées par le C.N.R.S., l'I.N.R.A., le CEMAGREF, l'O.N.F., les C.R.P.F., l'I.F.N. notamment. Il manque un important chaînon : la recherche de procédés aptes à la transformation mécanique de ces bois assez contraignants.

En France, peu de partenaires industriels "solides" sont prêts à s'engager sur ce thème, le problème étant jugé marginal à l'échelle de la filière-bois de ce pays. L'intérêt peut être autre dans des pays d'Europe du sud ou du Maghreb au caractère méditerranéen plus affirmé.

Après un bref rappel de l'état des connaissances de la qualité et des usages de ces bois, nous chercherons à amorcer des réponses aux deux familles de questions évoquées ci-des-

sus. Ce texte s'articule autour de deux chapitres :

- l'un rendant compte d'une description "objective" de la qualité des bois de chêne vert et de chêne pubescent (cet article),

- l'autre restituant quelques données pour le déroulage de ces bois très denses. Ce mode de premier débit est favorisé d'une part en raison du bon rendement-matière qu'il permet sur de petits bois et d'autre part du fait de la polyvalence d'emplois des placages obtenus (revêtement, *Laminated Veneer Lumber*, lames de parquet...). Cet aspect sera traité dans un second article, dans le prochain numéro de la revue (Tome XVII-1).

L'association "Forêt Méditerranéenne" est à l'origine de l'étude dont sont issus les résultats présentés ci-après (MARCHAL 1989), et qui a été possible grâce à la Bourse interrégionale de recherche sur la valorisation des produits de la forêt méditerranéenne.

* Maître de Conférences
Laboratoire Bourguignon des Matériaux et
Procédés (La.Bo.Ma.P)
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et
Métiers (ENSAM)
Place du 11 août 1944 F - 71250 CLUNY

1. Connaissances actuelles et usages des bois

Le bois de chêne vert

C'est un bois à pores diffus dont les diamètres vont de 50 à 150 μm . L'absence de zone initiale poreuse rend la texture difficilement lisible et en fait un bois très homogène à l'instar des bois tropicaux. L'observation de " faux cernes ", marquant peut-être une décélération de croissance en été, complique la distinction des accroissements annuels.

Les rayons ligneux sont par contre très marqués : la plupart sont unisériés et hauts de 10 cellules en moyenne. Mais 1 rayon sur 15 à 20 est plurisérié, atteignant 25 à 30 cellules de large et plusieurs centimètres de hauteur, si bien que le volume occupé par les rayons ligneux représente environ 30 % de l'ensemble du bois. Ils expliquent donc à eux seuls une grande partie des propriétés physiques et mécaniques de ce bois.

L'aubier est indistinct.

Le chêne vert donne un bois de chauffage à fort pouvoir calorifique, brûlant lentement, produisant beaucoup de braises et des cendres riches en potasse... Les fagots de chêne vert ont largement alimenté les foyers des fours de boulangers, des fours à chaux, des poteries, des tuileries et des verrières du siècle passé. Le charbonnier a longtemps été l'agent le plus destructeur de la chênaie verte car il arrachait des souches où le bois est le plus dense.

Ce bois était utilisé localement en matériau pour fabriquer des pièces d'usure d'outils (semelle de rabot, navettes de tissage etc...), des essieux, des axes de moulin, des poulies, des engrenages, mais également en traverses de chemin de fer, étais de mine, en charpentes grossières, en menuiserie et ébénisterie artisanales, en parquet... Un séjour dans l'eau de plusieurs années était souvent pratiqué pour réduire la " nervosité " de ce bois. Il serait moins résistant à la pourriture que le bois de chênes rouvres ou pédonculés.

Plus récemment, les Portugais ont cherché à employer le chêne vert seul ou en mélange avec de l'Eucalyptus en panneaux de particules ou de fibres (S.T.F.G. 1974). Quelques rares essais d'utilisation du chêne vert pour la fabrication de pâte à papier ont été signalés.

En étudiant l'aptitude du bois de chêne vert à être utilisé en traverses de chemin de fer, le C.T.F.T. a montré un niveau de résistance à l'arrachement correct ainsi qu'un bon pouvoir

d'imprégnation et de rétention de la créosote (C.T.F.T. 1977). Le principal facteur limitant à son utilisation à grande échelle est le faible diamètre de ses grumes au regard de normes internationales des chemins de fer.

Ce bois est encore parfois débité en parallélépipèdes que l'on assemble en bois de bout pour former des étais de boucheries ou du petit mobilier présentant d'incontestables qualités esthétiques. Il demeure fréquemment utilisé en ébénisterie en Espagne, en Italie, où un certain savoir-faire a été conservé.

Actuellement, nous ne trouvons trace d'aucun programme récent de valorisation du chêne vert à plus large échelle exceptés les essais de sciages effectués au C.T.F.T. (BABA 1988).

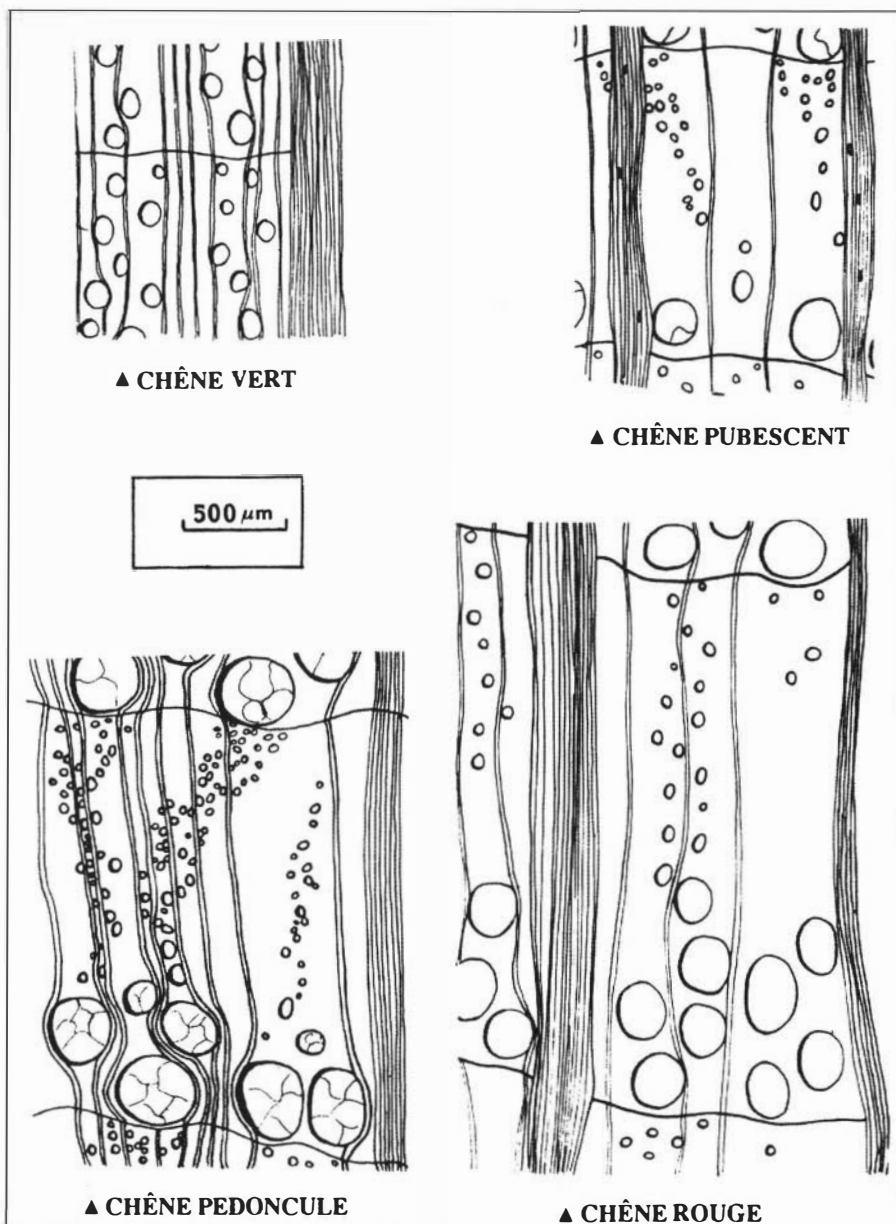


Fig. 1 : Coupes transversales du bois de chêne vert et de chêne pubescent comparées à celles du chêne pédonculé et du chêne rouge (d'après JACQUIOT & al. 1973).

Le bois de chêne pubescent

On note cette fois la présence d'une zone initiale poreuse. Les gros vaisseaux du bois de printemps se répartissent sur 1 à 2 rangs seulement et leur diamètre s'échelonne de 300 à 500 μm contre 20 à 50 μm dans le bois d'été. On observe les mêmes types de rayons unisériés et la même fréquence de rayons plurisériés que chez le chêne vert, ces derniers rayons étant toutefois moins larges (15 cellules en moyenne).

L'aubier jaunâtre bien visible ne se duraminise qu'au bout de 20 à 30 ans en un bois de cœur brun foncé, d'où le faible taux de bois parfait issu des taillis de 30 à 40 ans. Il s'agit d'un bois moins résistant à la pourriture que celui du chêne vert.

Ce bois a été autrefois employé dans la construction navale mais rares étaient les arbres de taille et de conformation adaptées à cette fonction. Il était assez souvent utilisé en charpente. Mais surtout, les verreries, activité migrante et forestière, ont fait une consommation effrénée de ce bois dès

le début du Moyen-Age.

Les usages actuels se réduisent pour l'essentiel à ceux du bois-énergie. Les italiens l'utilisent pour les traverses de chemin de fer. La forme du fût court et rapidement branchu des arbres limite son emploi en matériau.

En fait, c'est un bois qui n'a jamais passionné les auteurs car il est ressenti comme n'étant qu'une pâle copie des bois de chêne rouvre ou de chêne pédonculé, alors que le chêne vert, plus franchement méditerranéen, bénéficie de l'intérêt généré par l'aspect " inédit " de son bois.

2. Etude de variabilité : matériel et méthode

Echantillonnage

Nous devons rendre compte de la variabilité des propriétés du bois de chêne vert et de chêne pubescent à partir d'un échantillonnage représentatif de l'ensemble méditerranéen français. Aussi l'avons-nous concentré sur une zone certes assez limitée - le département du Gard (Cf. Fig. 2) - mais présentant une grande variété de

facteurs du milieu et quelques atouts parmi lesquels :

- d'importants peuplements de chêne vert et de chêne pubescent offrant un profil de répartition par classe de diamètre proche de celui de l'ensemble méditerranéen français.

- un gradient bioclimatique et altitudinal *sud-est/nord-ouest* très progressif et la présence d'autres limites climatiques dont celle entre l'étage sub-humide et l'étage humide.

- trois grandes zones géologiques : les garrigues calcaires, les Cévennes siliceuses, les Cévennes cristallines.

Notre partenaire forestier a été le centre O.N.F. de Nîmes. La plupart des prélèvements ont été effectués dans des stations faisant partie d'ensembles dont la typologie forestière a été décrite par DARRACQ & al. 1984 en garrigue et par d'EPENOUX 1988 dans les basses-Cévennes.

Seize sites ont été choisis en fonction de ces divers critères de station et une à six placettes présentant une certaine homogénéité ont été définies à l'intérieur de chaque site. Le site de Puechabon (Hérault) mis en place par le C.E.P.E.-C.N.R.S. de Montpellier a été intégré en plus dans notre dispositif.

Nous intéressant à des arbres potentiellement valorisables en matériau, nous avons sélectionné les arbres présentant une bonne cylindricité et offrant un " billon de pied " relativement droit et haut, d'où une sous représentation des faibles diamètres dans notre échantillonnage (Cf. Fig. 3). Les arbres ont été sondés à 1,30 m et traversés

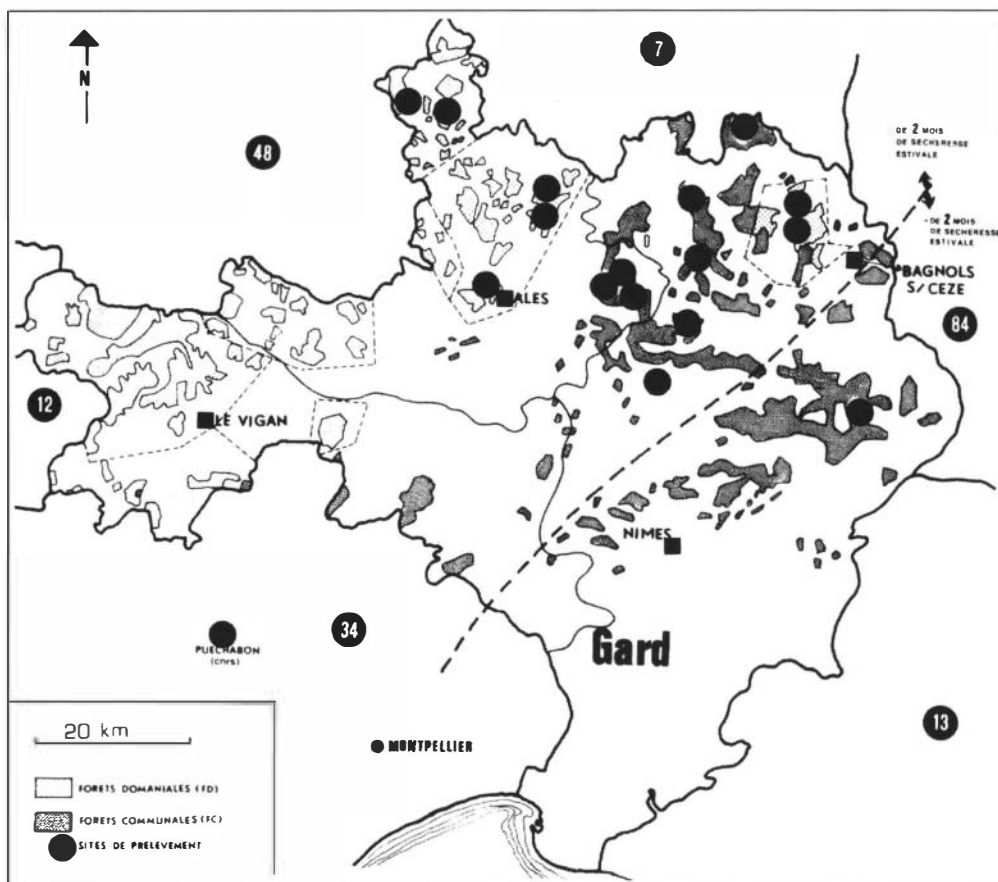


Fig. 2 : Localisation des 17 sites de prélèvement.

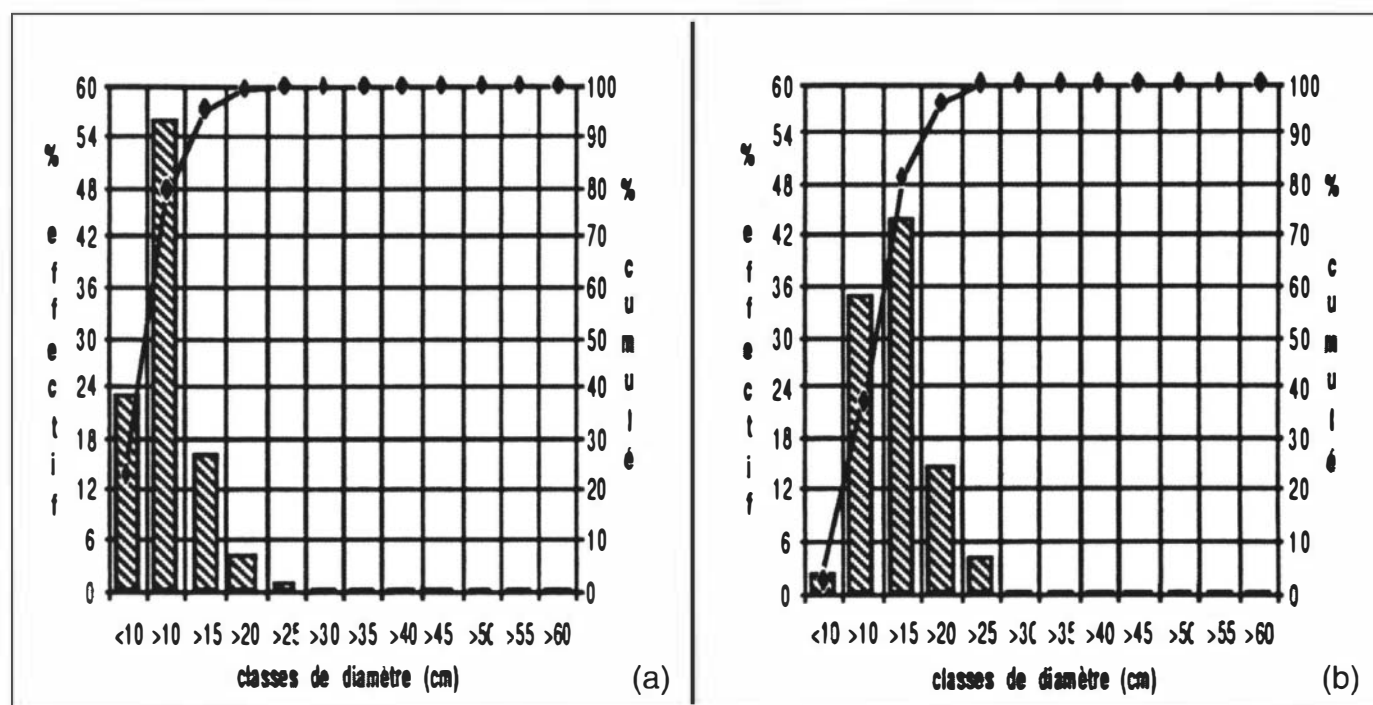


Fig. 3 : Répartition comparée des brins de chêne vert et de chêne pubescent confondus par classe de diamètre. (a) : département du Gard (chiffres I.F.N. sur 79 millions de brins) (b) : notre échantillonnage (304 brins)

totalemment avec une tarière de Pressler de 5 mm de diamètre intérieur.

Au total, 44 placettes ont été retenues, soit 152 chênes verts et 152 chênes pubescents sondés.

Mesures sur carottes de sondage

Les mesures ont été effectuées à la Station de recherches sur la qualité des bois de l'I.N.R.A. de Nancy suivant une méthodologie d'analyse des carottes présentée dans la figure 4.

Le carottage a révélé la présence quasi-systématique d'une moelle très excentrée tant chez les chênes verts que chez les chênes pubescents même dans des situations qui ne les y prédestinaient pas (arbres droits, sites abrités...). Le côté le plus long de la carotte (côté 1), susceptible de renfermer du bois de tension et le côté opposé (côté 2) ont été étudiés séparément afin de mettre en évidence d'éventuelles différences intra-arbre.

a - Les retraits

Chaque demi-carotte a fait l'objet d'une série de 3 mesures dimensionnelles à 12% d'humidité puis d'une seconde série à l'état saturé, avec le dispositif mis au point par PERRIN & FERRAND 1984.

Les retraits linéaires (R_a = retrait axial, R_r = retrait radial et R_t = retrait tangentiel) ont été calculés par rapport aux dimensions saturées sur 304 demi-carottes de chêne vert et 304 demi-carottes de chêne pubescent.

A partir de ces valeurs, nous avons calculé :

- le retrait volumétrique (R_v) égal, en négligeant les termes du second et du troisième ordre, à la somme : $R_t + R_r + R_a$;

- l'anisotropie ¹ transverse des retraits (A_{\perp}), le rapport R_t / R_r

b - L'infradensité

La valeur de l'infradensité (ID = Poids anhydre / Volume saturé) permet une approche facile de la densité : elle peut être facilement évaluée par une double pesée (KELWERTH 1954). Les mesures ont été effectuées sur 152 demi-carottes de chêne vert et 152 demi-carottes de chêne pubescent.

c - L'analyse densitométrique

Elle a été effectuée à partir de radiographies de barrettes de 2 mm d'épais-

seur obtenues par sciage des carottes stabilisées à 12% et suivant le dispositif décrit par PERRIN 1983. Les radiographies ont ensuite été analysées au moyen du microdensitomètre décrit par PERRIN & FERRAND 1984. L'exploration a été menée avec un pas de mesure de 25 μm dans le sens radial et une fenêtre de lecture de 25 μm (sens radial) x 1000 μm (sens tangentiel).

Du fait de la difficulté à stabiliser des barrettes de ces bois en mince épaisseur (barrettes non planes), seuls 71 chênes verts et 93 chênes pubescents ont fait l'objet d'un tel traitement.

Les paramètres densitométriques retenus par carotte ont été :

- la densité minimale (D_{min})
- la densité maximale (D_{max})
- la densité moyenne (D_{moy})
- trois critères d'hétérogénéité :
 - . la différence $D_{min} - D_{max}$
 - . l'écart-type des densités relevées (ETD)
 - . le coefficient de variation des densités relevées (CVD)

d - Les relevés dendrométriques

La largeur moyenne des cernes de chaque arbre (LC) a été calculée sur les barrettes préparées en vue de l'ana-

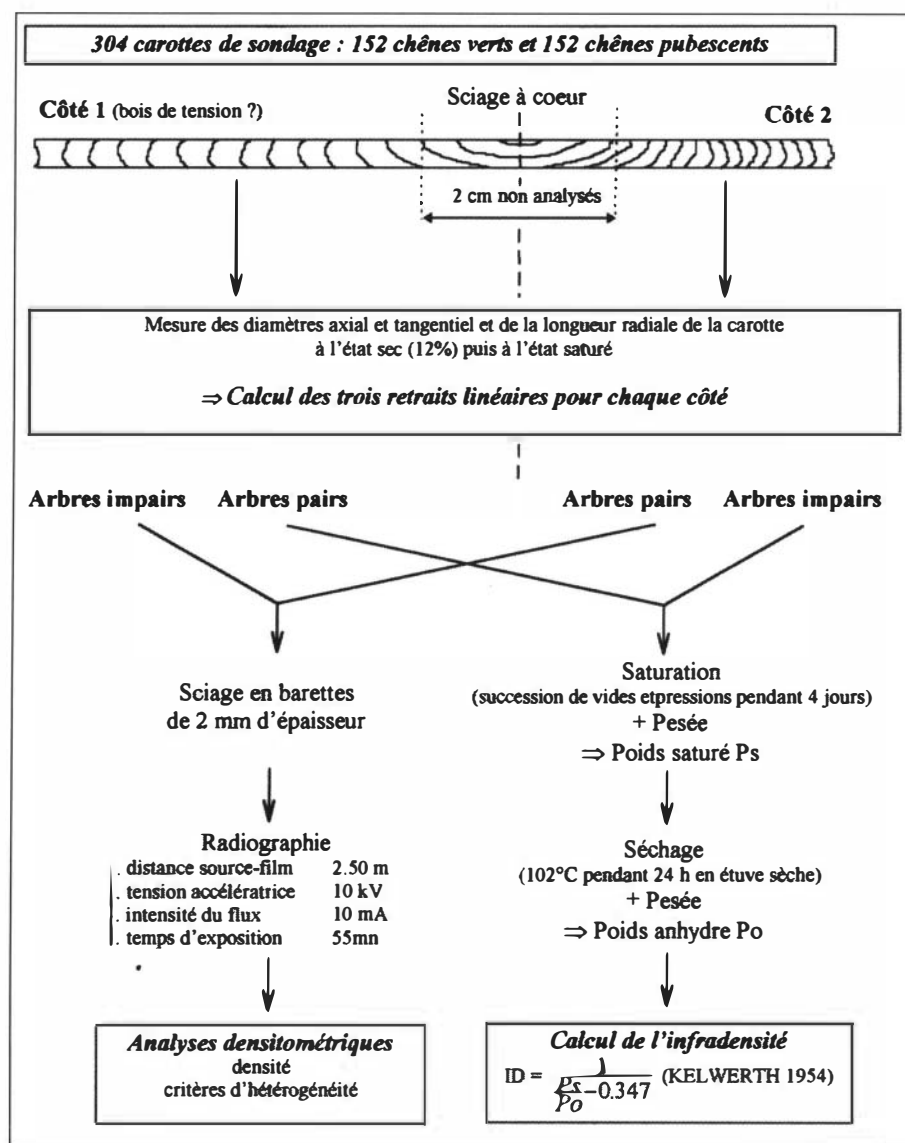


Fig. 4 : Mode opératoire de l'analyse des carottes

lyse densitométrique, les carottes non sciées étant totalement illisibles.

Si cela n'a posé aucun problème pour le chêne pubescent grâce à sa zone initiale poreuse bien marquée, il n'en est pas de même pour le chêne vert chez les individus à croissance très lente en particulier, du fait notamment des " faux cernes " et de la présence d'importantes et très fréquentes bandes tangentielles de parenchyme apotrachéal. Par conséquent, nous commenterons tout ce qui se rapporte aux largeurs de cerne de chêne vert avec une prudente distance.

Nous avons également reporté le diamètre moyen de l'arbre sondé (\varnothing_m) et le rapport des longueurs côté 1/côté 2 de la carotte pour construire un indice d'excentricité du cœur (IE).

Comparaisons avec les autres chênes présents en France

Afin de situer les performances des bois de chênes méditerranéens par rapport à celles des principaux autres chênes présents en France, nous avons confronté nos données à celles issues de quatre autres études et obtenues sur carottes de sondage de 5 mm de diamètre. Il s'agit :

- pour les chênes rouvres et pédonculés de DUPOUEY 1983 (arbres de futaie de la forêt de Haguenau) et de POLGE & KELLER 1973 (arbres de 70 à 300 ans de la forêt de Tronçais, à

chêne rouvre prédominant).

- pour les chênes rouges de AUBERT 1987 (arbres du Gers et des Pyrénées Atlantiques âgés de 23 à 41 ans) et de CASTERA 1983 (arbres du Gers de 45 ans).

Les chênes verts et pubescents de cette étude ont un âge compris entre 30 à 60 ans.

3. Les retraits au séchage

Ordres de grandeurs

Une analyse de variance indique que la variabilité entre arbres (inter-arbre) des retraits s'affirme clairement par rapport à la variabilité à l'intérieur d'un arbre (intra-arbre) chez le chêne vert plus encore que chez le chêne pubescent.

Tous les retraits sont plus importants chez le chêne vert que chez le chêne pubescent (Cf. Tab. I) et l'anisotropie des retraits transversaux est significativement différente au sens statistique d'une essence à l'autre et plus marquée chez le chêne vert.

Compte tenu du peu d'études sur le chêne pubescent, il est difficile de confronter nos chiffres. TAKAHASHI & al. 1983 n'en recensent qu'une seule, d'origine bulgare.

Le bois de chêne vert a quant à lui fait l'objet d'un plus grand nombre d'études (Cf. Tab. II). Les chiffres de LEHMANN 1982 obtenus en appliquant un protocole expérimental similaire sur carottes de sondage sont les seuls à pouvoir objectivement être comparés à nos résultats et les compléter. Ils portent sur 157 arbres issus de taillis-sous-futaie et de futaie de Corse. Ces chiffres indiquent :

- des tendances fort proches mais un retrait volumétrique assez nettement supérieur à celui trouvé sur des brins de taillis du Gard,
- une anisotropie des retraits transversaux beaucoup plus importante,
- une variabilité plus marquée que dans notre cas. La qualité des bois

	chêne vert (152 arbres)				chêne pubescent (152 arbres)			
	Moyenne ± écart-type	Valeur minimale	Valeur maximale	Coefficient de variation	Moyenne ± écart-type	Valeur minimale	Valeur maximale	Coefficient de variation
Ra (%)	-0,1±0,4	-0,8	1,3	252	-0,3±0,3	-0,8	0,9	122
Rr (%)	4,7±0,8	1,5	7,1	17	4,5±0,7	2,2	6,4	16
Rt (%)	10,3±1,5	6,7	14,2	14	9,1±1,3	5,5	12,3	14
Rv (%)	14,9±1,8	10,1	20,3	12	13,4±1,6	9,3	17,9	12
A. (sd)	2,3±0,7	1,5	9,0	32	2,1±0,4	1,3	3,6	21
ID(g/dm³)	729±30	628	788	5	661±33	564	785	5
IE (sd)	1,4±0,3	1,0	2,3	24	1,3±0,3	1,0	2,3	23
LC (mm)	1,3±0,4	0,6	2,9	28	1,5±0,7	0,5	5,1	44
Ø _m (cm)	15±4	8	26	13	18±4	12	29	21

Tab. I : Aperçu de la variabilité pour les principales propriétés physiques du bois de chêne vert et de chêne pubescent et pour quelques relevés dendrométriques

AUTEURS + humidité à la mesure	Ra (%)	Rr (%)	Rt (%)	Rv (%)	A. (sd)	Densité (sd)	ID (g/dm³)
(+ coefficients de variation)							
REGIMBEAU 1879							
sec à l'air	-	-	-	3 tiges du Gard	-	0,952	-
	-	-	-	-	-	(1%)	
OLIVA et PULGAR 1967							
				Espagne			
à 8,5% (Cadiz)	-	5,8	9,1	23,6	-	0,967 *	
à 14,3% (Barcelona)	-	-	-	18,8	-	0,986 *	
à 12,2% (Toledo)	-	-	-	21,7	-	1,001 *	
à 15,5% (Badajoz)	-	3,1	4,3	10,4	-	1,045 *	
CTFT 1976							
	-	4,7	8,9	17,5	2,0	0,960	-
DILEM 1982							
sec à l'air	-	échantillons issus de 20 cépées - région d'El Hassasna (Algérie)					0,680 (5%)
	-	-	-	14,3 (20%)	-	-	
	-	échantillons issus de 30 cépées - région d'El Hassasna (Algérie)					0,670 (5%)
	-	-	-	16,7 (19%)	-	-	
LEHMANN 1982							
à 10%	0,2 (223%)	157 arbres - Forêt Domaniale du Fango en Haute-Corse (Futaie)					0,738 (4%)
		3,4 (31%)	12,0 (18%)	16,0 (16%)	3,9 (50%)	0,944 (5%)	
TAKAHASHI & al. 1983							
à 15%	-	étude sur des arbres de provenance non précisée (1949)					-
		7,4	10,6	19,2	-	0,920	
à 12%	-	étude sur des arbres portugais (1975)					-
		5,6	9,3	15,0	-	0,950	
à 12%	-	étude sur des arbres italiens (1976)					-
		-	-	-	-	0,8 à 1,1	
GRUET 1984							
à 8%	-	25 éprouvettes tirées de 5 rondelles de chêne vert de l'Hérault					-
		6,2	14,1	20,3	2,3	-	

* ces densités ont été calculées pour une humidité ramenée à 12%

Tab. II : Les propriétés physiques du bois de chêne vert d'après quelques auteurs

ayant été étudiée dans les différentes strates de la forêt de chêne vert, la variabilité et les moyennes augmentent progressivement quand on passe aux strates supérieures : entre la strate 1 et les strates 4+5, l'anisotropie passe de 3,5 à 4,5 et le coefficient de variation de 23 à 59%.

Les retraits volumétriques annoncés par les autres auteurs sont assez variables (de 10,4% à 23,6%) mais les conditions de mesures ne sont pas toujours clairement spécifiées.

Comparaisons avec les autres chênes présents en France

Le retrait tangentiel du chêne pubescent offre une distribution identique à celle des chênes de Tronçais, mais le retrait radial est en moyenne supérieur d'un point chez le premier en présentant un profil similaire à celui du chêne vert : le chêne pubescent est un maillon intermédiaire entre les chênes medioeuropéens, dont il est proche par la structure anatomique, et le chêne vert avec qui il partage les réponses aux rigueurs écologiques méditerranéennes.

La figure 6 indique un net glissement vers les fortes valeurs lorsque l'on passe des chênes medioeuropéens aux chênes méditerranéens, le chêne rouge apparaissant moins rétractile que les chênes medioeuropéens. Mis à part le chêne rouge, les distributions sont tout à fait proches et symétriques chez les trois autres types de chênes.

Si la comparaison des valeurs des retraits est en défaveur des chênes méditerranéens, la situation s'inverse en prenant en compte l'anisotropie transverse. Ce résultat est d'autant plus remarquable que celle-ci est généralement aggravée par la présence de gros rayons ligneux. En effet ceux-ci, présents dans des proportions relativement stables quelle que soit la texture, régulent pour une part le retrait radial en faisant globalement baisser sa moyenne tous tissus confondus (KAWAMURA 1984) sans influencer sur le retrait tangentiel...

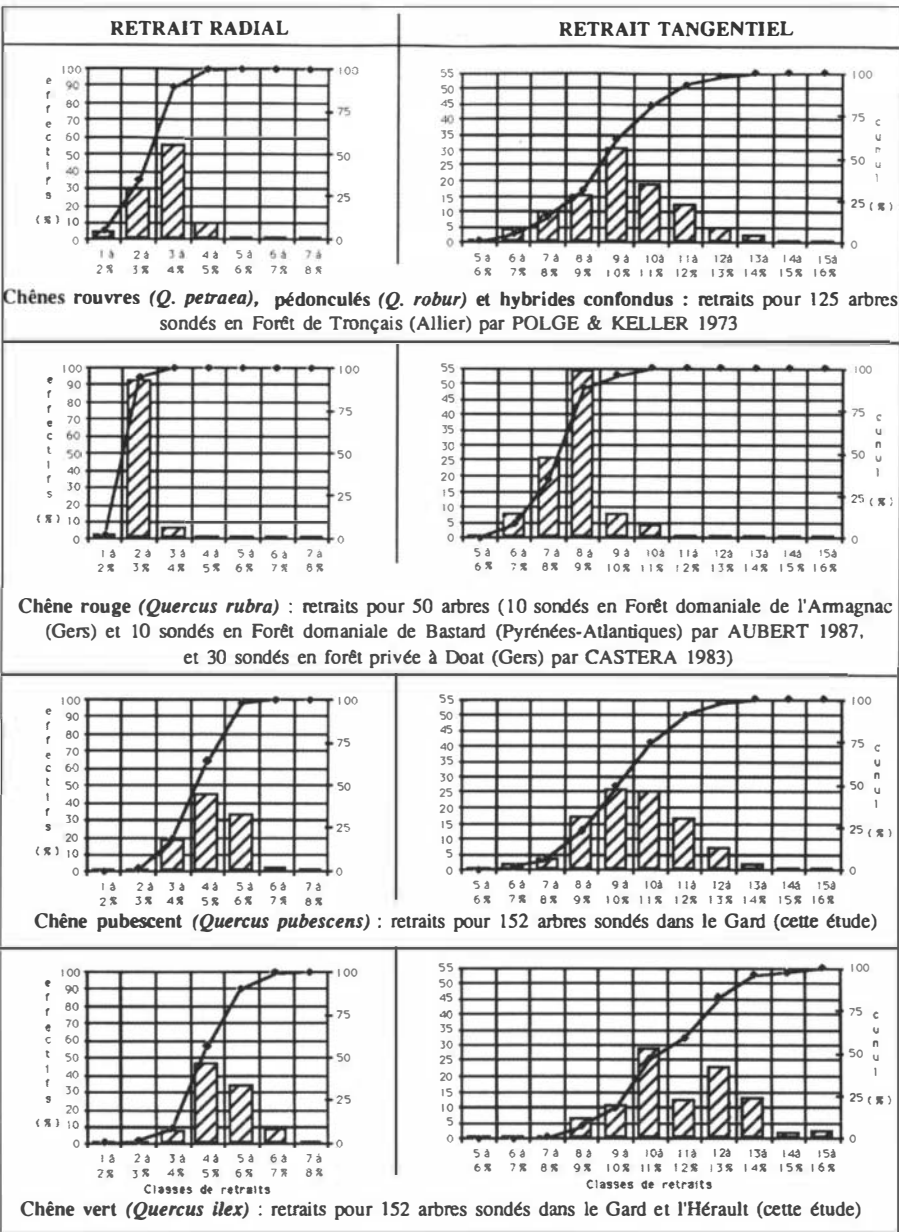


Fig. 5 : Variabilité comparée des retraits transversaux des chênes présents en France

4. La densité L'infradensité

Les valeurs moyennes sont fortes (Cf. Tab. I et II). L'infradensité du chêne vert est de 10% supérieure à celle du chêne pubescent. Pour le chêne vert, les chiffres de la littérature sont assez concordants les uns par rapport aux autres.

Les analyses microdensitométriques permettent d'affiner notre information sur l'hétérogénéité de densité des bois de chêne vert et de chêne pubescent.

Analyses microdensitométriques

La conduite d'analyses microdensitométriques sur des radiographies de carottes radiales de bois feuillus à zone initiale poreuse et / ou comportant de gros rayons ligneux a toujours posé des problèmes : un seul passage radial restitue rarement un profil densitométrique à lui seul représentatif (POLGE & KELLER 1973).

Sur les 71 chênes verts traités, 15 ont présenté des points de densité aberrante car supérieurs à 1.53, la densité de la matière ligneuse. Ces valeurs

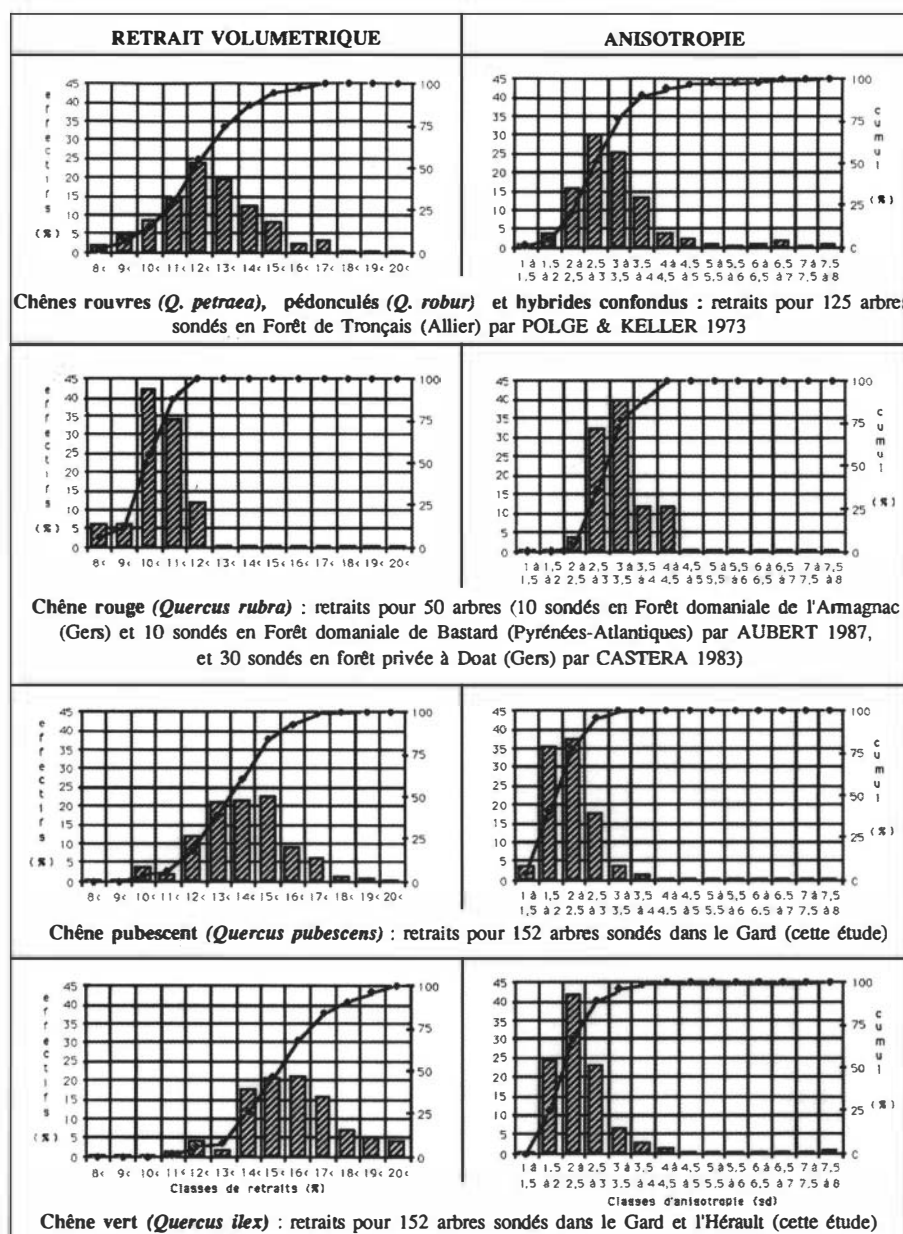


Fig. 6 : Variabilité comparée du retrait volumétrique et de l'anisotropie transverse des retraits des chênes présents en France

ont été exclusivement atteintes sur de gros rayons ligneux. Les chênes pubescents ne présentent jamais cette anomalie. Les rayons ligneux sont certes les tissus les plus denses mais plusieurs artefacts démontrent que le protocole d'analyse choisi n'est pas entièrement adapté à l'étude de ces bois (MARCHAL 1989). Un de ces artefacts a pu être identifié grâce à la mise en évidence par spectrométrie de fluorescence X de la présence de calcium dans les rayons ligneux des arbres incriminés, tous issus de sites calcaires. Le calcium accentuant fortement l'absorption des rayons X du type de ceux utilisés pour les radiographies, le noircissement du film au

niveau des rayons n'a pas été suffisant.

Les fourchettes de variabilité inter-arbre et intra-arbre obtenues sur l'ensemble des 164 éprouvettes ont été rassemblées dans le tableau III après correction des valeurs aberrantes.

Au niveau inter-arbre,

- la densité minimale est en moyenne deux fois plus grande chez le chêne vert que chez le chêne pubescent mais elle est moins variable chez le premier ;

- la densité maximale par arbre est d'un niveau assez proche pour les deux essences avec des coefficients de variation également voisins ;

- les densités moyennes des deux

essences, sont un peu plus fortes que celles mentionnées dans la littérature. Ceci est peut-être dû aux artefacts de mesures évoqués plus haut. Les niveaux de variabilité sont proches chez les deux essences.

Au niveau intra-arbre,

- la variabilité de la densité du bois dans l'arbre est environ deux fois plus faible chez le chêne vert que chez le chêne pubescent.

- la même remarque s'impose à la lecture des différences entre la densité maximale et la densité minimale mesurées dans chaque arbre.

Une analyse statistique des liaisons entre les paramètres physiques montre que des liaisons entre largeur de cerne et paramètres densitométriques ne peuvent être mises en évidence que chez le chêne pubescent.

Toutes ces observations indiquent que l'hétérogénéité du chêne pubescent est aggravée par la présence d'une zone initiale poreuse alors que celle du chêne vert l'est par la présence de rayons ligneux très denses.

Les deux profils densitométriques présentés dans la figure 7 permettent de visualiser au niveau d'individus ces deux types d'hétérogénéité, que cumule d'ailleurs le chêne pubescent.

Des histogrammes de répartitions tous arbres confondus des valeurs des densités (Cf. Fig 8) synthétisent la nature différente de l'hétérogénéité des bois des deux principaux chênes méditerranéens. Le chêne vert y présente 9 classes de densité contre 13 chez le chêne pubescent. Ramenées au même étalement, les deux distributions présentent une asymétrie de même nature mais inverse : le plus grand étalement se fait sur les classes de densités fortes chez le premier et sur les classes de densités faibles chez le second.

Comparaisons avec les autres chênes présents en France

Un glissement progressif vers des classes d'infradensité plus élevées s'observe dans l'ordre suivant : chêne pédonculé, chêne rouvre, chêne rouge,

au niveau inter-arbre				au niveau intra-arbre			
		chêne vert	chêne pubescent			chêne vert	chêne pubescent
Dmin	Min.	531	147	Dmax-Dmin	Min	284	601
	Max	1113	697		Max	982	1150
	Moy $\pm \sigma$	760 \pm 114	369 \pm 95		Moy $\pm \sigma$	567 \pm 156	866 \pm 109
	CV	15	26		CV	28	13
Dmax	Min	1040	991	ETD	Min	51	10
	Max	1522	1504		Max	188	246
	Moy $\pm \sigma$	1327 \pm 147	1235 \pm 94		Moy $\pm \sigma$	99 \pm 29	180 \pm 29
	CV	11	8		CV	29	16
Dmoy	Min	862	670	CVD	Min	5	10
	Max	1377	1134		Max	17	37
	Moy $\pm \sigma$	1053 \pm 105	883 \pm 88		Moy $\pm \sigma$	9 \pm 3	21 \pm 5
	CV	10	10		CV	26	22

Tab. III : variabilité des bois de chênes méditerranéens pour quelques paramètres densitométriques (Les valeurs sont multipliées par 1000)

D = densité	chêne vert	chêne pubescent
Min = minimale	71 arbres	93 arbres
Max = maximale	108176	178224
Moy = moyenne	points de	points de
σ = écart-type	mesure	mesure
CV = coef. de variation		

chêne pubescent, chêne vert. Parallèlement, la distribution se resserre de plus en plus. Ainsi les chênes méditerranéens indéniablement beaucoup plus denses que les autres offrent une variabilité moindre pour la densité. Ceci constitue un facteur favorable car il permet une meilleure prévision de la qualité des bois et donc des solutions technologiques à mettre en œuvre pour leur valorisation.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette assez faible variabilité :

- TESSIER & al 1982 ont constaté que la largeur de cerne des chênes pubescents est moins variable dans la zone au climat méditerranéen affirmé qu'en zone tempérée du fait de la régulation provoquée par le stress hydrique estival. Cela a des répercussions sur la texture et donc sur la qualité des bois : toutes choses égales par ailleurs, un chêne à zone initiale poreuse développera d'autant plus de bois d'été qu'il poussera vite, le bois de printemps conservant une largeur quasi-invariable.

- alors que le rapport entre les diamètres des plus grands vaisseaux et ceux des plus petits vaisseaux du chêne vert est en moyenne de 3, il est de 15 voire de 25 chez tous les autres chênes, y compris le chêne pubescent. Cela offre prise à une palette de variations structurales beaucoup plus importante chez celui-ci que chez le

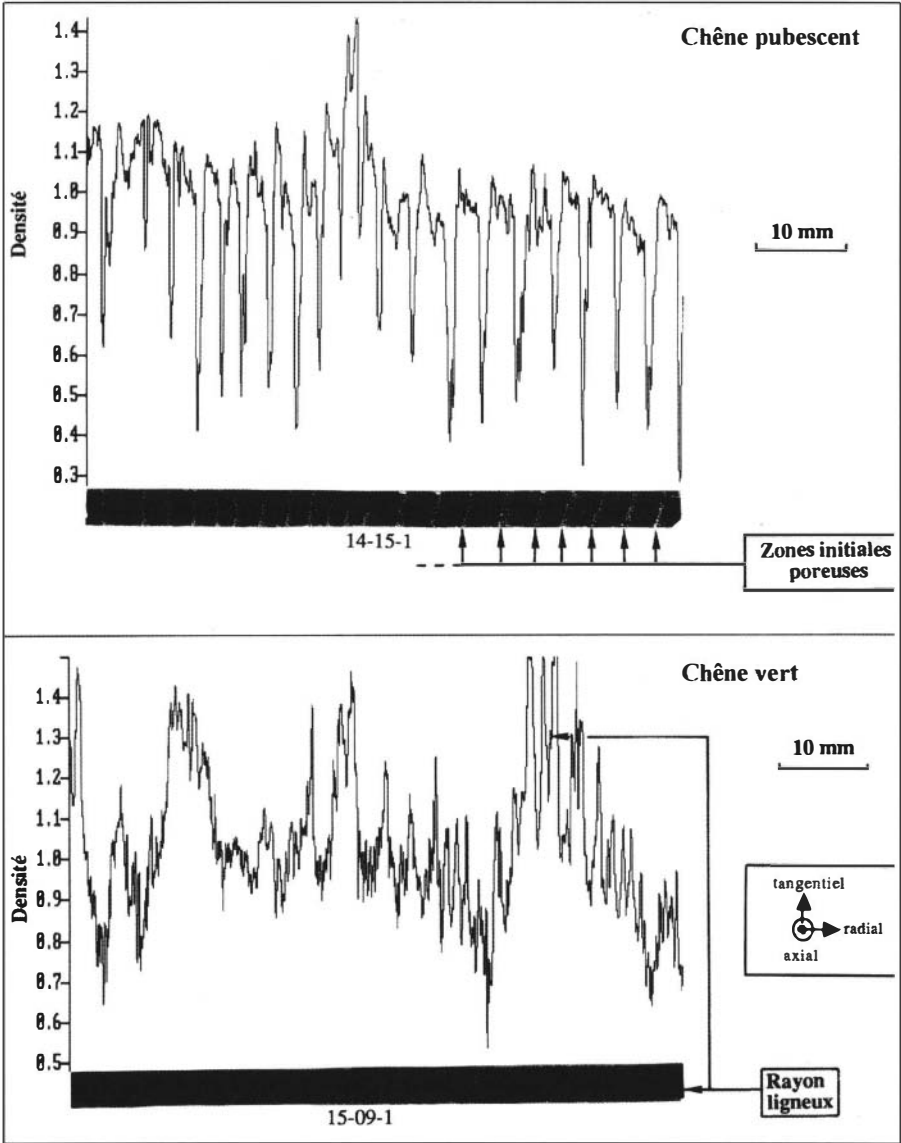


Fig. 7 : Deux exemples de profils densitométriques obtenus sur carottes radiales

chêne vert, selon la vitesse de croissance.

- le fort taux de rayon ligneux participe à l'augmentation de l'infradensité : PETRIC & SCUKANEK 1975 donnent un taux de rayons ligneux de 21% chez le chêne pédonculé et de 34% chez le chêne vert par rapport au volume total, le chêne pubescent se situant entre ces deux valeurs. L'homogénéité de ce tissu et le taux record atteint par le chêne vert contribue à expliquer la faible variabilité du bois de chêne vert pour l'infradensité.

5. Autres caractéristiques

La vigueur d'accroissement

Concernant le chêne vert, LEHMANN 1982 mesure des accroissements moyens en Corse d'environ 1 mm, soit une valeur légèrement plus faible que ceux des taillis du Gard (Cf. Tab. I). Toutefois, le niveau de variabilité est identique. La vitesse d'accroissement annuel du chêne vert semble sans incidence sur la qualité du bois.

Le chêne pubescent croît un peu plus vite et présente les corrélations classiquement observées chez les chênes à zone initiale poreuse comme la relation positive LC / ID, faiblement significative au niveau inter-arbre.

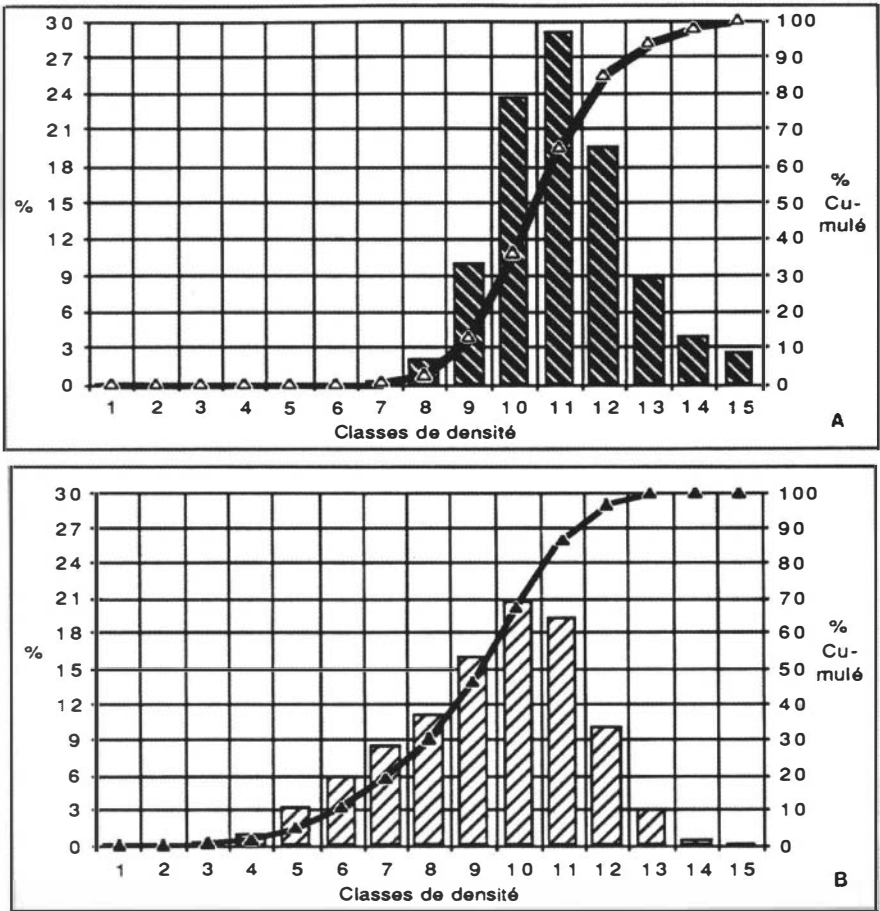


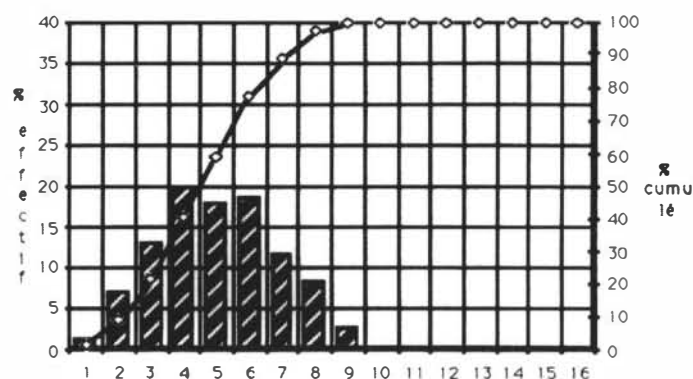
Fig. 8 : Histogramme densitométrique du chêne vert du Gard (A) obtenu à partir de 108.176 points de mesures sur 71 arbres et histogramme densitométrique du chêne pubescent du Gard (B) obtenu à partir de 178.224 points de mesures sur 93 arbres

Quinze classes de densité :
- la classe 1 correspond à des densités comprises entre 0 et 0,1 ;
- la classe 2 correspond à des densités comprises entre 0,1 et 0,2 ;
- etc ...
- la classe 15 correspond à des densités supérieures ou égales à 1,4.

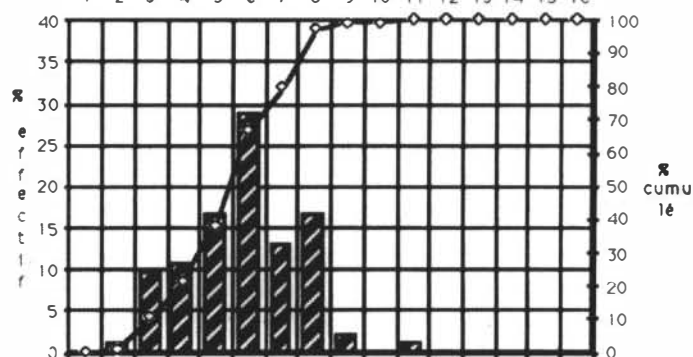
Espèces (nombre d'arbres)	Auteurs	Largeur de cerne			
		moyenne ± σ (mm)	valeur mini. (mm)	valeur maxi (mm)	coefficient variation (%)
chêne rouvre (80)	DUPOUEY 1983	2,0 ± 0,6	1,0	4,0	30
chêne pédonculé (157)	DUPOUEY 1983	2,3 ± 0,7	1,0	4,6	31
chênes de Tronçais (125)	POLGE & KELLER 1973	3,1 ± 1,2	1,1	8,4	37
chêne rouge(140)	AUBERT 1987	5,6 ± 2,3	1,9	13,3	41
chêne pubescent (152)	MARCHAL 1989	1,5 ± 0,7	0,5	5,1	44
chêne vert (152)	MARCHAL 1989	1,3 ± 0,3	0,6	2,9	28

Tab. IV : Comparaison de la variabilité pour la largeur des accroissements annuels des principaux chênes poussant en France

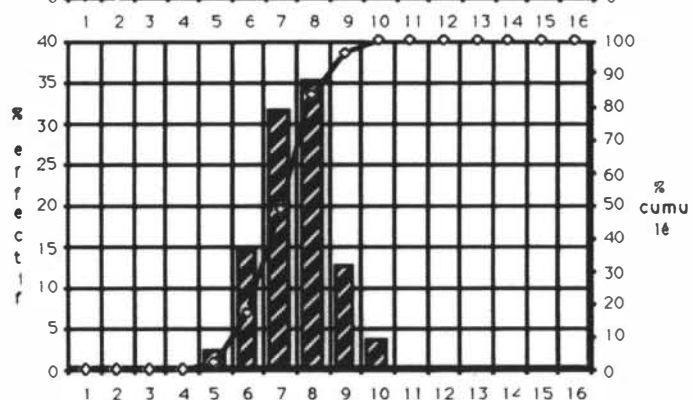
CHENE PEDONCULE (*Quercus robur*)
à partir de 157 arbres sondés en Forêt domaniale
de HAGUENAU (Bas-Rhin) par
DUPOUEY 1983



CHENE ROUVRE (*Quercus petraea*)
à partir de 84 arbres sondés en Forêt domaniale
de HAGUENAU (Bas-Rhin) par
DUPOUEY 1983

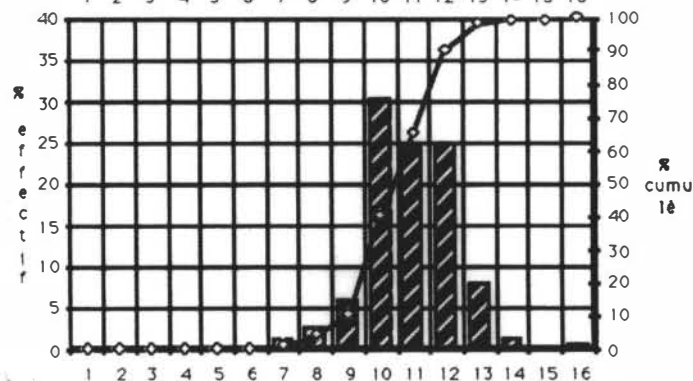


CHENE ROUGE (*Quercus rubra*)
à partir de 140 arbres sondés par
AUBERT 1987
- 70 arbres en Forêt domaniale de
l'ARMAGNAC (Gers)
- 70 arbres en Forêt domaniale de
BASTARD (Pyrénées Atlantiques)



CHENE PUBESCENT(*Quercus pubescens*)
à partir de 152 arbres du Gard (MARCHAL
1989)

CLASSE D'INFRADENSITE	
1 = de 400 à 425 g / dm3	9 = de 600 à 625 g / dm3
2 = de 425 à 450 g / dm3	10 = de 625 à 650 g / dm3
3 = de 450 à 475 g / dm3	11 = de 650 à 675 g / dm3
4 = de 475 à 500 g / dm3	12 = de 675 à 700 g / dm3
5 = de 500 à 525 g / dm3	13 = de 700 à 725 g / dm3
6 = de 525 à 550 g / dm3	14 = de 725 à 750 g / dm3
7 = de 550 à 575 g / dm3	15 = de 750 à 775 g / dm3
8 = de 575 à 600 g / dm3	16 = de 775 à 800 g / dm3



CHENE VERT (*Quercus ilex*)
à partir de 152 arbres du Gard et de l'Hérault
(MARCHAL 1989)

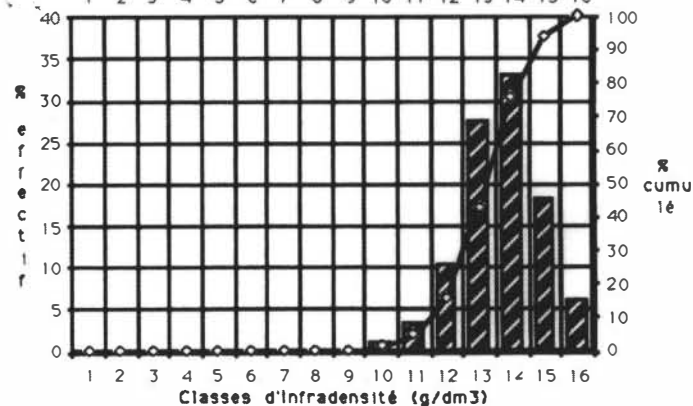


Fig. 9 : Comparaison de l'infradensité des principaux chênes présents en France

Nous avons rassemblé dans le tableau IV les valeurs se rapportant aux accroissements annuels des chênes des différentes études auxquelles nous nous sommes référés précédemment.

Les accroissements modestes des chênes méditerranéens ainsi que leur faible variabilité s'expliquent par l'arrêt important de croissance en période estivale mais peut-être aussi par un important vieillissement génétique d'un taillis surexploité pendant des siècles.

Les contraintes de croissance

Les forts retraits ne suffisent peut-être pas à expliquer les importantes déformations des bois de chênes méditerranéens au séchage que décrivent divers auteurs. Du bois de tension, généralement associé aux contraintes de croissance, a déjà été mis en évidence en quantité non négligeable notamment dans des chênes medioeuropéens (MARCHAL 1983) et dans des chênes rouges d'Amérique (AUBERT 1987, ARCHER 1987). CHAKROUN 1983 a constaté la présence de fibres parfois nombreuses formant des plages de bois de tension dans des chênes verts de l'Hérault.

Nous avons appliqué aux deux côtés des 109 carottes de chênes verts et des 102 carottes de chênes pubescents de notre échantillonnage présentant la plus forte excentricité un protocole de mesure du type de celui décrit par POLGE & THIERCELIN 1979 pour évaluer l'importance des contraintes de croissance dans ces deux essences : aucune différence significative n'a pu être mise en évidence.

Nous serions tentés de conclure que les chênes méditerranéens ne développent pas de hauts niveaux de contraintes de croissance pas plus que de grandes quantités de bois de tension. Les très modestes fentes d'abatage que l'on peut observer, chez le chêne vert notamment, semblent conforter ces impressions. Toutefois, chez les feuillus, le bois de tension n'est pas forcément situé sur le plus grand rayon. Seule une expérience spécifique intégrant une mesure réelle des déformations de maturation en périphérie de l'arbre et tout au moins



Photo 1 : Aspect du bois de chêne vert sur dosse.

Photo E.N.S.A.M.

une première mesure dimensionnelle de la carotte à l'état frais et permettrait de conclure plus sûrement.

Conclusion

Cette étude laisse apparaître des bois très rétractibles et denses mais présentant finalement un assez faible niveau de variabilité et une faible anisotropie transverse des retraits. Chez le chêne pubescent de structure anatomique proche de celle des chênes indigènes du nord de la France, ce sont plus les spécificités du climat méditerranéen qui entraînent la faible variabilité pour l'infradensité alors que pour le chêne vert, c'est davantage la structure anatomique homogène le rapprochant des bois tropicaux qui peut l'expliquer.

De plus, les liaisons *âge/retraits* et *âge/densité* ne sont pas statistiquement significatives : la qualité du bois semblant peu varier avec l'âge, le choix de l'âge d'exploitation ne se fera pas sur un critère de qualité des bois mais plus sur un critère de géométrie, de taille de grume et de choix de technologies de transformation.

Toutefois, la représentativité de notre échantillonnage pour la façade méditerranéenne française dans son ensemble doit être confirmée. Il faut

tenir compte de la variation génétique peut-être importante d'une région à l'autre de la façade méditerranéenne et toutes les conditions du milieu n'ont pu être rencontrées dans le domaine échantillonné. En toute rigueur, il conviendrait de vérifier nos plages de variabilité par des " carottages de vérification " pratiqués par exemple dans les régions suivantes :

- le Vallespir et les Albères, les Corbières occidentales, les garrigues siliceuses, les Maures (maquis, chartreuse de la Verne, forêt domaniale du Dom), les futaies du secteur Cinto-Rotondo, du Sartenais occidental et les taillis de l'arrière-pays d'Ajaccio pour le chêne vert ;

- le pays de Sault et les Corbières occidentales, les Causses, le Luberon, la Montagne de Lure et le plateau de Valensole, le Cinto-Rotondo pour le chêne pubescent.

Enfin, une étude exploratoire du même type sur les performances mécaniques compléterait utilement cette première description. Cependant, la plupart des caractéristiques mécaniques étant liées positivement à la densité du bois, la mesure des paramètres densitométriques effectués ici nous fournit d'ores et déjà quelques éléments d'appréciation.

R.M.

Bibliographie

- ARCHER R.R., 1987 - Growth stresses and strains in trees. *Springer series in wood*, Springer-Verlag, 240 p.
- AUBERT M., 1987 - Recherche de relations entre caractéristiques simples du bois de chêne rouge (*Quercus rubra* L.) mesurées par voie non destructive et deux de ses propriétés technologiques : stabilité dimensionnelle des planches et qualité des placages d'ébénisterie. *Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle en Sciences du bois*, Université de Nancy I, 348 p.
- BABA D., 1988 - Possibilités de valorisation technologique du chêne vert marocain. *DEA Sciences du Bois*, CTFT-INPL, octobre, 56 p. + 5 annexes.
- CASTERA P., 1983 - Déterminisme génétique de la qualité du bois de chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra* L.) - *DEA en biologie et physiologie végétale*, Bordeaux
- CHAKROUN S., 1983 - Les variations saisonnières des formations secondaires (bois, liber, cambium) du tronc de trois espèces méditerranéennes, le chêne vert, l'olivier et le micocoulier: une étude histophysiologique. *Thèse de 3^{ème} cycle Evolution et Biosystématique*, USTL Montpellier, 28 octobre, 82 p., 11 annexes
- CTFT, 1977 - Aptitude du chêne vert et du chêne-liège à l'utilisation en traverse de chemin de fer. *Document du Centre Technique Forestier Tropical*, Nogent s/ Marne.
- DARRACQ S., GODRON M. et ROMANE F., 1984 - Typologie forestière de la région des garrigues du Gard. *ENGREF*, Nancy
- DILEM A., 1982 - Etablissement d'un tarif de cubage pour les taillis de chêne vert de la région d'El Hassasna (W. Saida) et étude des principales propriétés physiques de cette essence. *Thèse d'ingénieur agronome*, INA, Alger, 81 p.
- DUPOUEY J.L., 1983 - Etude phytosociologique et écologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin). Apports méthodologiques. Potentialités sylvicoles. *Thèse de docteur-ingénieur*, INA Paris-Grignon, INRA-CNRF Nancy (laboratoire de phytoécologie), 154 p.
- EPENOUX (d') F., 1988 - Typologie forestière des Basses-Cévennes à pin maritime. *Document IFN*, Montpellier, 228 p.
- GRUET M.P., 1984 - Variations dimensionnelles et possibilités de stabilisation des bois durs méditerranéens. *Rapport de projet de Maîtrise des Sciences et Techniques du bois*, Epinal, 74 p. + 9 annexes
- JACQUIOT C., TRENARD Y. et DIROL D., 1973 - Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes (Essences Feuillues) *Publication CTB-CNRS*
- KAWAMURA Y., 1984 - Studies on the properties of rays III. - Influence of rays on anisotropic shrinkage of wood (2). *Mokuzai Gakkaishi*, vol. 30, n° 10, pp 785 / 790
- KELWERTH R., 1954 - Ein Beitrag zur qualitativen Zuwachsanalyse. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 12 (3), pp 77 / 83
- LEHMANN F., 1982 - Etude des peuplements de chêne vert de la forêt domaniale du Fango. *Mémoire ENITEF, ONF, subdivision de Bastia-Calvi*, 83 p.
- MARCHAL R., 1983 - Intérêt de la prise en compte de caractéristiques physiques et anatomiques simples du bois de chêne pour l'appréciation de la qualité des placages d'ébénisterie. *DEA Sciences du bois*, INPL, 105 p.
- MARCHAL R., 1989 - Valorisation par tranchage et déroulage des bois de chênes méditerranéens (*Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Quercus suber*). *Thèse de doctorat de l'INPL*, Nancy, 294 p., 4 annexes
- OLIVA A.G. et PULGAR F.P., 1967 - Características físico-mecánicas de las maderas españolas. *Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias*, Madrid
- POLGE H. et KELLER R., 1973 - Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt de Tronçais. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 30, n° 2, pp 91 / 123
- POLGE H. et THIERCELIN F., 1979 - Growth stress appraisal through increment core measurement. *Wood Science*, vol. 12, n° 2, pp 86 / 92
- PERRIN J.R., 1983 - Dispositif de sciage de carottes de sondage de 5 mm sans collage préalable sur un support. *Annales des Sciences Forestières*, tome 40, n° 4, pp 399 / 406
- PERRIN J.R. et FERRAND J.C., 1984 - Automatisation des mesures sur carottes de sondage de la densité du bois, de son retrait et des contraintes de croissance. *Annales des Sciences Forestières*, tome 41, n° 1, pp 69 / 86
- PETRIC B. et SCUKANEC V., 1975 - Volumni udio trakova u drvu nekih vaznijih domacih vrsta listaca. (Wood rays volume share in some important species of home hardwoods). *Drvna Industrija*, (26), pp 224 / 226
- REGIMBEAU M.M., 1879 - Le chêne yeuse ou chêne vert dans le Gard. *Imprimerie Jouve*, Nîmes, 162 p., 8 annexes
- STFG, 1974 - Rapport d'activités de la Station de Technologie Forestière de Gembloux (Belgique).
- TAKAHASHI A., TANAKA C. et SHIO-TA Y., 1983 - Compilation of data on mechanical properties of foreign woods (Part IV) Europe. *Research report of foreign wood*, Foreign wood laboratory, Matsue (Japon), n°11, 316 p.
- TESSIER L., PONS A. et SERRE-BACHET F., 1982 - Analyse dendroclimatologique comparée de quelques populations de chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) de la Drôme et du Var. *Ecologia Mediterranea*, tome VIII, fascicule 4, pp 117 / 130

Résumé

Les bois de chêne vert et de chêne pubescent présentent une densité et une rétractibilité exceptionnellement élevées pour des bois français. Cependant, la variabilité de ces propriétés, mesurées sur carottes de sondage que l'on a prélevées sur des brins de taillis du Gard et de l'Hérault, se révèle moins importante que chez les autres chênes français. Ces deux bois présentent néanmoins d'assez importants niveaux de variabilité intra-arbre dus à la présence de très gros rayons ligneux chez le chêne vert ("hétérogénéité tangentielle") et d'une zone initiale poreuse chez le chêne pubescent ("hétérogénéité radiale").

Summary

The properties of Holm oak (*Q. ilex* L.) and Downy oak (*Q. pubescens* Willd.) timber.

Very few studies have been made of Mediterranean oaks with a view to getting an objective assessment of the timber quality. It remains true that few companies in the industrial sector are willing to try to turn a profit using wood with a reputation as "knotty" and slow growing. Such wood was widely used in the past, nevertheless, as saw-wood.

The wood of the holm oak has a diffuse pore structure and 30% of its volume is formed of woody rays. Like timber from the tropics, it is homogeneous throughout. Wood from the downy oak, however, on account of its initial porous zone, is very similar to wood from mid-European oaks.

This study of the variability of the physical properties of these two woods was carried out on samples taken from 16 sites in the Gard département in southern France - an area offering a wide variety of different ecosystems - and from a research station at Puechabon in the neighbouring

Hérault département . In all, 152 holm oaks and 152 downy oaks were sampled by coring. Each core had its dendrometric characteristics noted, density analysed and was measured for shrinkage and infradensity.

Results indicate that :

- **shrinkage** was in every instance greater with the holm oak than the downy oak (average shrinkage in volume : 14.9% and 13.4% respectively).

At the same time, anisotropy of the transverse shrinkage was more evident in the holm oak than in the downy oak (1.5 and 1.3 respectively).

As a species, the downy oak is intermediate between the mid-European oaks, to which it is akin in anatomical structure ; and the holm oak, with which it shows a common response to the ecological rigours of the Mediterranean climate.

Though a comparison of shrinkages appears unfavourable to Mediterranean oaks, the situation is, in fact, the opposite when transverse anisotropy is taken into account.

- the **density** of the holm oak is on average 10% greater than that of the downy oak. In comparison to other French oaks, a progressive tendency can be seen, in the following order, towards higher levels of infradensity : common oak, sessile (Durmast) oak, red oak, downy oak, holm oak. In a parallel manner, the density distribution becomes narrower : the Mediterranean oaks, unquestionably denser than the other oaks, display less variation in density.

Within an annual ring, the minimum density is on average twice as great in the holm oak as in the downy (0.76 as against 0.37).and is also less variable. However, the maximum densities are about level in the two species (1.33 compared to 1.13) with their coefficients of variation similarly close.

In the downy oak, whose anatomical structure resembles that of the native oaks in northern France, it is factors specific to the Mediterranean climate that induce the low variation in infradensity; whereas in the holm oak, the same low variation can be ascribed to

its homogeneous anatomical structure, a characteristic which it shares with tropical species.

- the **growth** of Mediterranean oaks is modest (1.3mm for the holm oak, 1.5mm for the downy) and varies little. This feature can be attributed to the major slowdown in growth during the hot summer period, though an additional factor that might play a role is the significant genetic ageing of coppice that has been over-cropped through countless generations.

Riassunto

Proprietà delle legna di leccio e di roverella (*Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd)

(I) Caratteristiche fisiche

Le quercie mediterranee sono studiate in vista di una valutazione obiettiva della qualità del loro legno. È vero che pochi collaboratori industriali si tengono pronti a impegnarsi su una valorizzazione di queste legna reputate "nervose" e lente di crescita. Tuttavia, queste legna sono state largamente utilizzate nel passato in uso di materiale.

Il legno di leccio è da pori diffusi e è costituito per 30% del volume di raggi legnosi. È molto omogeneo alla maniera delle legna tropicali. Invece, per il fatto della presenza di una zona iniziale porosa, il legno di roverella si riavvicina molto di quello delle quercie medioeuropee.

Questo studio di variabilità delle proprietà fisiche di queste legna è stato condotto su un campionario effettuato in 16 siti del Gard - dipartimento presentando una grande ricchezza di ambienti naturali - e nel sito di CEPE-CNRS a Puechabon (Hérault). Tutto sommato 152 lecci e 152 roverelle sono state prelevate da carotaggio. Ognuna delle carote è stata matura a estratti dendrometrici, di misura di ritiri e di infradensità, di analisi densitometriche.

Risulta che

- i **ritiri** sono tutti più importanti per il leccio che per la roverella (ritiri volumetrici medi rispettivi : 14,9% e 13,4%).

Parallelamente, l'anisotropia dei ritiri trasversali è più segnata per il leccio che per la roverella. (rispettivamente 1,5 e 1,3).

La roverella è una maglia intermedia tra le quercie medioeuropee di cui si avvicina per la struttura anatomica e il leccio con cui condivide le risposte ai rigori ecologici mediterranei.

Se il paragone dei valori dei ritiri è in sfavore delle quercie mediterranee la situazione si inverte prendendo in conto l'anisotropia trasversa.

- la **densità** del leccio è in media superiore di 10% a quella della roverella. A paragone delle altre quercie francesi, un passaggio progressivo si osserva verso classi di infradensità più alte nel ordine seguente : quercia pedunculata, farnia, quercia rossa, roverella, leccio. Parallelamente, la distribuzione delle densità si restringe sempre di più. Le quercie mediterranee innegabilmente molto più densi degli altri offrono una variabilità inferiore per la densità.

A l'interno di un cerchio, la densità minimale è in media due volte più grande per il leccio che per la roverella (0,76 contro 0,37) ma è meno variabile per il primo. Invece la densità massima è di un livello abbastanza vicino per le due essenze (1,33 contro 1,13) con coefficienti di variazione anche vicini.

Per la roverella di struttura anatomica vicina di quella delle quercie indigene del nord della Francia, sono più le specificità del clima mediterraneo che determinano la debole variabilità per l'infradensità mentre per il leccio, è sopra tutto la struttura anatomica omogenea che può spiegarlo.

- **gli accrescimenti** delle quercie mediterranee sono modesti (1,3 mm per il leccio e 1,5 mm per la roverella) e poco variabili. Questo si spiega dalla sosta importante di crescita nel periodo estivo ma forse anche per un importante invecchiamento genetico di un bosco ceduo sovrassfruttato durante secoli.