

Les chênes méditerranéens et le châtaignier

Le Chêne chevelu en structure

par Martino NEGRI* et Stefano QUARTULLI**

Recherche financée par le *Ministero Agricoltura e Foreste* et coordonnée par Luca UZIELLI. Stefano QUARTULLI a développé les phases d'échantillonnage, de séchage et de sciage; Martino NEGRI et Filippo JANNONI ont travaillé sur les phases d'usinage, de triage, sur les essais en laboratoire et enfin sur l'élaboration des données. M. Rocco LO GIUDICE a aussi pris part à ces travaux.

Introduction

Le Chêne chevelu (*Quercus cerris* L.) est une espèce de l'Europe orienta-

le, centrale et méridionale; en France il est localisé près de Laon, près de Besançon, dans la Basse Seine, dans les Alpes-Maritimes et enfin en Bretagne. Le Chêne chevelu est, avec le Chêne pubescent, le Chêne le plus abondant en Italie. On le trouve sous forme de peuplements forestiers mixtes ou purs principalement dans la partie centrale et méridionale de l'Italie. Sur l'*Appennino*, la chaîne montagneuse qui s'étend du Nord au Sud de la péninsule, on le trouve jusqu'à 1200-1400 m; en *Sicile* jusqu'à 1500 m; moins abondant dans les Alpes, il se trouve seulement sur le versant méridional. Les données de l'*Inventario Forestale Nazionale* (1986) montrent que les taillis de Chêne chevelu occupent une surface d'environ 350 000 ha (12% de la surface totale des taillis nationaux) tandis que les futaies occupent une surface d'environ 100 000 ha.

Le bois de Chêne chevelu, malgré

des propriétés mécaniques peu différentes de celles des autres Chênes, est considéré de qualité inférieure. En effet il présente une forte proportion d'aubier et un bois dur et nerveux, qui se fendille et se déforme irrégulièrement, difficile à scier et avec une teinte très irrégulière. Par contre il présente une densité élevée - dans les pays anglophones il est appelé "Iron oak" - et des bonnes propriétés de résistance mécanique, qui le rendent propre à l'usage en charpente.

Traditionnellement le Chêne chevelu des taillis est utilisé en Italie d'une part pour le chauffage - bois de chauffage et bois de charbonnage de bonne qualité -, et d'autre part pour des échelas et des outils agricoles. Le bois des futaies est lui fréquemment utilisé pour les traverses de chemin de fer; aujourd'hui ces domaines d'utilisation se sont progressivement restreints.

C'est pour cette raison que nous nous sommes proposé de développer

* Ph.D - Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale - Université de Florence, Italie

** Prof.Ing. - Istituto di Meccanica Agraria - Université de Bari, Italie

les connaissances techniques en vue de son usage en structure, débouché qui convient le mieux aux propriétés du Chêne chevelu.

1 - Débouchés pour le bois du Chêne chevelu

1.1 - La recherche des nouveaux débouchés

Etant une essence importante pour l'Italie et, en même temps, vu les problèmes de marché, le Chêne chevelu a retenu l'attention de plusieurs forestiers et chercheurs. Ils ont développé, ces dernières années, des études et des recherches sur la sylviculture, sur les méthodes d'exploitation, sur les propriétés technologiques et sur quelques applications industrielles dans le but d'encourager la recherche de nouveaux débouchés. Suivent ci-dessous quelques-unes des recherches développées sur les deux derniers sujets.

Quant aux propriétés technologiques:

- anatomie et identification du bois (FIORAVANTI, 1988);
- propriétés physiques et mécaniques du bois, sur petites éprouvettes (BERTI *et* CORONA, 1983)[voir Annexe 1];
- couleur (JANIN *et al.*, 1988; LAVISCI, 1988);
- abrasivité (PETROCCHI, 1983, 1988);
- collabilité (CASTRO, 1988; LO GIUDICE, 1988; LAVISCI *et* MASSON, 1992).

Quant aux applications industrielles:

- déroulage pour la production de contreplaqué (LA MARCA *et al.*, 1983);
- séchage des déroulés (ZANUTTINI, 1988);
- fabrication du contreplaqué (CASTRO *et* ZANUTTINI, 1988);
- imprégnation des déroulés (MENDES, 1986);
- fabrication des emballages (MORETTI *et* QUARTULLI, 1988);
- fabrication du papier (JANIN *et al.*, 1988).

Pour compléter et poursuivre cette

recherche et afin de valoriser les bonnes propriétés mécaniques du Chêne chevelu, l'étude ici présentée - malgré une taille d'échantillon limitée - fournit les premières données en vue d'une utilisation rationnelle de cette essence en structure.

1.2 - Utilisation en structure

Le développement de l'utilisation du Chêne chevelu en structure nécessite la résolution de plusieurs problèmes liés aux habitudes des utilisateurs, et à différents problèmes de nature économique, de positionnement sur le marché, problèmes techniques et de normalisation. Ce travail a développé les deux derniers aspects.

En ce qui concerne les aspects techniques, nous avons étudié les propriétés mécaniques (résistance, module d'élasticité) - les essais n'ont pas été conduits sur de petites éprouvettes mais sur des planches de dimensions courantes - et des méthodes de triage visuel et automatique.

Les essais, le classement et le calcul des valeurs caractéristiques ont été conduits selon les Normes - ou les projets de Norme - du Comité Européen de Normation (CEN) et dans le cas où ces normes demeuraient insuffisantes (cas de la classification des singularités du bois des feuillus) nous nous sommes référés à des Normes nationales et internationales ou documents techniques (ISO, FAO ECE, UNI, BS, CTBA), qui puissent être utiles.

2 - Echantillonnage et usinage des avivés pour structure

Le peuplement d'origine des sciages est localisé à "Pallareta" - près de Potenza, chef-lieu de la *Basilicata*, au sein d'une région montagneuse et riche en forêts dans le sud de la péninsule italienne. C'est une futaie régulière âgée de 120 ans presque pure avec

la présence sporadique de Chêne pubescent. Le diamètre moyen à hauteur d'homme est de 47 cm, la surface terrière est de 40 m²/ha.

Les caractéristiques de la station de ce peuplement sont:

- une altitude de 900 m;
- un sol argileux;
- des précipitations annuelles moyennes de 816 mm;
- la moyenne des températures minimales et maximales du mois le plus froid (Janvier) de - 10,9 °C et de + 16,5 °C;
- la moyenne des températures minimales et maximales du mois le plus chaud (Août) est de + 9 °C et de + 39 °C.

Le peuplement n'avait jamais été éclairci et plusieurs arbres étaient soit malades, soit endommagés soit de forme irrégulière. Lors de l'abattage et du tronçonnage nous avons échantillonné uniquement les billons les plus convenables: les plus réguliers, sans blessures ni pourritures.

Les billons ont été sciés en planches de dimensions nominales 5x13x260 cm. Alors qu'une partie du matériel a été séchée à l'air libre et une partie en séchoir, aucune différence significative d'humidité du bois (valeurs comprises entre 10,9% et 13,1%) n'a été remarquée entre ces deux groupes. Après le séchage nous avons relevé que plusieurs sciages étaient déformés et d'épaisseur irrégulière. Dans la menuiserie universitaire, toutes les planches ont été rabotées, de façon à obtenir des avivés d'épaisseur, de largeur et de longueur régulières (4,5 x 12,5 x 237,5 cm; tolérance de ± 0,1 cm) et avec les faces et les rives perpendiculaires.

3 - Matériel et technique

3.1 - Singularités du bois

Le comportement mécanique d'un avivé est influencé par la présence de singularités. La nature, la présence, le nombre, les dimensions et la localisation des singularités, permettent de

Normes et projets de Norme	Titre	Année Organisme Pays	Contenus
UNI 8198	Segati di conifere. Classificazione in base alla resistenza meccanica	1981 UNI Italie	Norme italienne de classification, selon la résistance mécanique, des sciages de conifère.
FAO-ECE	Recommended standards for stress grading and finger-jointing of structural coniferous sawn timber.	1982 FAO-ECE	Norme internationale recommandée ECE pour la classification selon la résistance du bois scié et du bois assemblé par aboutage à entures multiples, de conifère.
BS 5756	Specification for Tropical Hardwoods Graded for Structural Use.	1980 B.S.I. U.K.	Norme anglaise sur la classification des feuillus tropicaux pour structures.
UNI-ISO 8375	Strutture di legno. Legname massiccio in dimensione d'uso strutturale. Determinazione di alcune caratteristiche fisiche e meccaniche.	1987 UNI Italie	Version italienne de la Norme internationale ISO 8375 sur les essais pour la détermination des propriétés physiques et mécaniques pour bois massif pour structures.
prEN 338	Bois de charpente - Classes de résistance.	1992 CEN CEE	Norme européenne qui définit les classes de résistance en vue du code européen de calcul des structures en bois (Eurocode 5).
prEN 384	Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density	1992 CEN CEE	Norme européenne pour la détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique.
UNI-ISO 3130	Legno. Determinazione dell'umidità per le prove fisiche e meccaniche.	1985 UNI Italie	Version italienne de la Norme internationale ISO 3130 sur la détermination de l'humidité en vue des essais physiques et mécaniques.
UNI-ISO 3131	Legno. Determinazione della massa volumica per le prove fisiche e meccaniche.	1985 UNI Italie	Version italienne de la Norme internationale ISO 3131 sur la détermination de la masse volumique en vue des essais physiques et mécaniques.

Tab. I : Normes et projets de Norme utilisés pendant la recherche

classer les avivés selon la résistance.

Nous rappelons ici les singularités ou les propriétés du bois les plus importantes évaluables par observation attentive des surfaces du bois, ayant une influence sur le comportement mécanique d'un sciage pour structure: les nœuds, les fentes - radiales ou tangentielles -, la pente de fil, la largeur des cernes d'accroissement, le bois de réaction et les défauts de structure tels que les déformations et l'entre-écorce.

- Méthodes de mesure des nœuds

La méthode pour mesurer l'importance des nœuds est différente suivant les normes; nous avons essayé deux méthodes différentes : la première, la

méthode KAR (Knot Area Ratio), qui est une des méthodes les plus utilisées, a été conçue pour le bois de conifère; la seconde, décrite dans la Norme BS 5756 (voir Tableau I), a été conçue pour le bois des feuillus tropicaux.

- Méthode KAR

Cette méthode est décrite dans plusieurs normes et documents, tel que la Norme italienne UNI et le document FAO-ECE (voir Tableau I); elle est fondée sur la mesure des surfaces des nœuds, projetées sur la section transversale considérée. Le KAR définit deux valeurs qui ne doivent pas dépasser des quotas limites:

- KAR TOTAL, rapport de la surface des nœuds, projetée sur la section transversale considérée, sur la surface totale;

- KAR MARGINAL, rapport de la surface des nœuds, projetée sur la section transversale considérée, comprise dans la zone marginale, sur cette même surface marginale; les surfaces marginales sont les surfaces adjacentes aux rives sur 1/4 de la hauteur (pour les pièces carrées, on considère l'orientation la plus défavorable); voir Fig. 1.

- Méthode BS pour les feuillus tropicaux

Les nœuds localisés sur la rive ou sur la face, sont mesurés par la distance entre les deux lignes tangentes au nœud et parallèles aux arêtes (voir Fig. 2); les nœuds localisés sur l'arête sont mesurés par la distance entre la ligne tangente au nœud et l'arête, choisissant la mesure la plus grande ;

dans le cas des nœuds plats localisés sur l'arête, on choisit la mesure la plus petite; l'importance des nœuds est mesurée par le rapport de la dimension des nœuds sur la hauteur de la planche.

- Méthodes de mesure des autres singularités

Les autres singularités ou propriétés du bois qui peuvent être relevées avec un examen visuel ont été mesurées selon les règles de la Recommandation FAO-ECE ou de la Norme BS 5756. Nous avons mesuré les singularités du bois ayant une influence significative sur le comportement mécanique du bois :

- les fentes radiales ou tangentielles (roulures), selon la méthode BS 5756;
- la pente de fil, selon la méthode FAO-ECE;
- la largeur des cernes d'accroissement, selon la méthode FAO-ECE.

Enfin ont été relevées les déformations, tel que le voilement longitudinal de face et de rive, le gauchissement et le voilement transversal, selon la méthode FAO-ECE; les déformations n'influencent pas directement les propriétés, mais peuvent toutefois influencer la conduite de l'essai.

3.2 - Propriétés physiques et mécaniques

- Densité et humidité

La densité et la teneur en eau contenue dans le bois, sont deux paramètres qui ont une influence sur les propriétés du bois. La densité - ou masse volumique - est le rapport de la masse sur le volume d'une pièce (en $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ou en $[\text{g}/\text{cm}^3]$). Ce paramètre dépend de la teneur en eau contenue dans la pièce. Les résultats des déterminations des valeurs de masse volumique ont été rapportés à l'humidité de 12%, selon la méthode indiquée par la Norme UNI ISO 3130.

L'humidité a été déterminée par la méthode gravimétrique - selon la méthode indiquée par la Norme UNI ISO 3131 - après les essais mécaniques.



Photo 1 : Triage visuel: la mesure d'un nœud

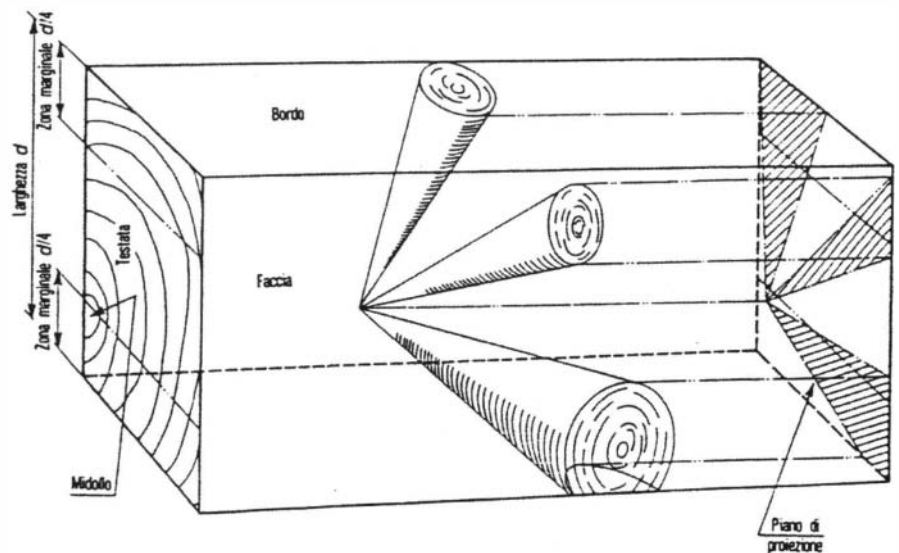


Fig. 1 : Vue montrant en trois dimensions, un groupe de nœuds sur une pièce de bois et leur projection sur un plan de section transversale

- Module d'élasticité et contrainte de rupture en flexion statique

L'essai de flexion statique a été mené conformément à la Norme UNI ISO 8375, qui indique les méthodes d'essais pour la détermination des propriétés mécaniques des sciages en structure; l'essai de flexion statique a été réalisé sur 51 pièces avec une machine d'essais hydrauliques à pilotage électronique jusqu'à une force de 200 kN.

Les planches ont été essayées en "vertical", selon l'inertie la plus favo-

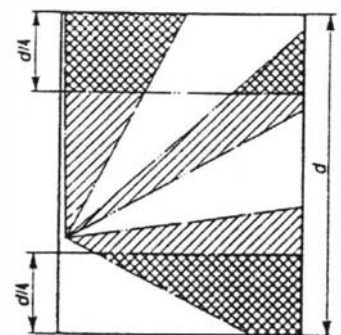


Fig. 2 : Vue de face du plan de projection, montrant la projection de nœuds (hachures) et la partie des projections comprise dans la zone marginale (double hachures)

Méthodes de triage	Relation		Symboles	Unité
Méthode ultrason	$E_{uls} = \rho v^2$	[1]	E_{uls} : module d'élasticité longitudinal ρ : masse volumique v^2 : vitesse ultrason sur l'axe longitudinal	MPa g/cm ³ km/s
Méthode des oscillations libres	$E_v = \pi^2(17/35 + P/Q)(L^4 \delta f^2 / h^2 10^{-6})$	[2]	E_v : module d'élasticité longitudinal P : masse à mi-portée Q : masse de la pièce L : distance entre appuis δ : masse volumique f^2 : fréquence fondamentale de résonance h^2 : distance nominale de la pièce	MPa kg kg m kg/m ³ Hz m
Méthode Strength Grading	$E_{mac} = L^3 \Delta f / 48 I \Delta w$	[3]	E_{mac} : module d'élasticité apparente L : distance entre appuis Δf : charge I : inertie de la planche Δw : déformation	MPa mm N mm ⁴ mm

Tab. II : Méthodes de triage

nable en vue d'une utilisation la plus rationnelle. Les paramètres de l'essai en flexion statique 4 points, sont :

- distance nominale de la pièce (hauteur), l : 125 mm
- distance entre appuis, L = 181 : 2250 mm
- distance entre les points d'application de la charge, $L/3$: 750 mm
- temps d'exécution de l'essai: ~180 s

Les données de laboratoire ont permis de déterminer le module d'élasticité longitudinal E (module d'Young) et la contrainte de rupture f_m (module de rupture).

3.3 - Triage avec méthodes non destructives

Les techniques de triage visuel reposent sur la qualification par rapport à la présence de défauts, observées d'une façon la plus objective possible par un opérateur; les méthodes non-destructives, par opposition, sont des méthodes qui apprécient la qualité du sciage sur la base d'un principe physique, à l'aide donc d'une mesure, c'est-à-dire d'une façon objective.

- Méthode par ultrason

La méthode par ultrason est une méthode non destructive fondée sur la relation entre les propriétés physiques (en particulier les constantes élastiques et la masse volumique) et la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore ; la propagation des ultrasons a été utilisée pour déterminer les constantes élastiques du bois et pour effectuer le triage.

Cette méthode a été essayée comme technique de triage surtout avec les

avivés de conifère; dans ce cas les ultrasons permettent de faire un triage très rapide et efficace de la qualité mécanique du bois (SANDOZ, 1990).

Pour cette recherche a été utilisé le P.U.N.D.I.T., appareil conçu pour le béton. Cet appareil mesure le temps mis par l'onde - générée par des transducteurs piézo-électriques émettant dans une fréquence de 54 kHz - pour se propager de la sonde émettrice, placée à un bout du sciage, à la sonde réceptrice, placée à l'autre bout. La

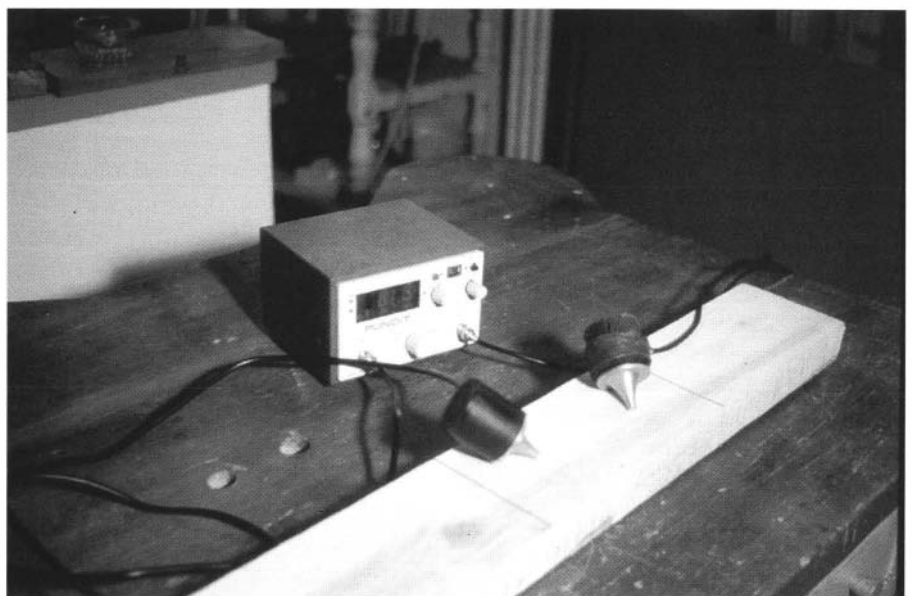


Photo 2 : Triage par ultrason: l'appareil de mesure et les transducteurs piézo-électriques

distance séparant les deux sondes - donc égale à la longueur de la pièce - permet de calculer la vitesse de propagation de l'onde. Avec une relation théorique simplifiée (voir Tableau II [1]), on obtient la valeur de module d'élasticité, ici noté E_{uls} , qui tient compte de plusieurs paramètres physiques, telles que la densité et la présence de singularités.

- Méthode des oscillations libres

Cette méthode consiste à analyser les vibrations transversales émises par l'impact d'un choc mécanique. Les vibrations sont captées par un accéléromètre, placé sur les sciages. Pour ralentir la fréquence d'oscillation et rendre plus facile l'interprétation de l'enregistrement du signal, on ajoute une masse à mi-longueur. Après les premières vibrations, le sciage vibre sinusoïdalement selon la propre fréquence fondamentale de résonance; avec une relation théorique simplifiée (UZZIELLI *et al.*, 1992), on obtient une valeur de module d'élasticité, ici noté E_v (voir Tableau II [2]).

Les paramètres d'exécution de l'essai sont:

- dimension nominale de la pièce (hauteur): 45 mm
- distance entre appuis: 2147 mm
- masse à mi-longueur 10,8 kg

- Méthode de longueur: flexion (Méthode Stress Grading machine)

Les pièces en bois sont à présent classées à l'aide de machines automatiques - "Stress Grading Machine", utilisées surtout en Amérique du Nord et en Europe septentrionale; le bois scié se déplace à une vitesse constante dans le sens longitudinal de l'appareil, qui mesure les modules d'élasticité apparents sur la longueur de la pièce. La machine détermine une valeur relative qui sert à localiser la section critique ou la rupture de la pièce est la plus probable. Ne disposant pas de cet appareil, nous sommes arrivés à un résultat comparable avec des essais de flexion statique afin de déterminer le module d'élasticité apparente, ici noté E_{mac} (voir Tableau II [3]), réalisées

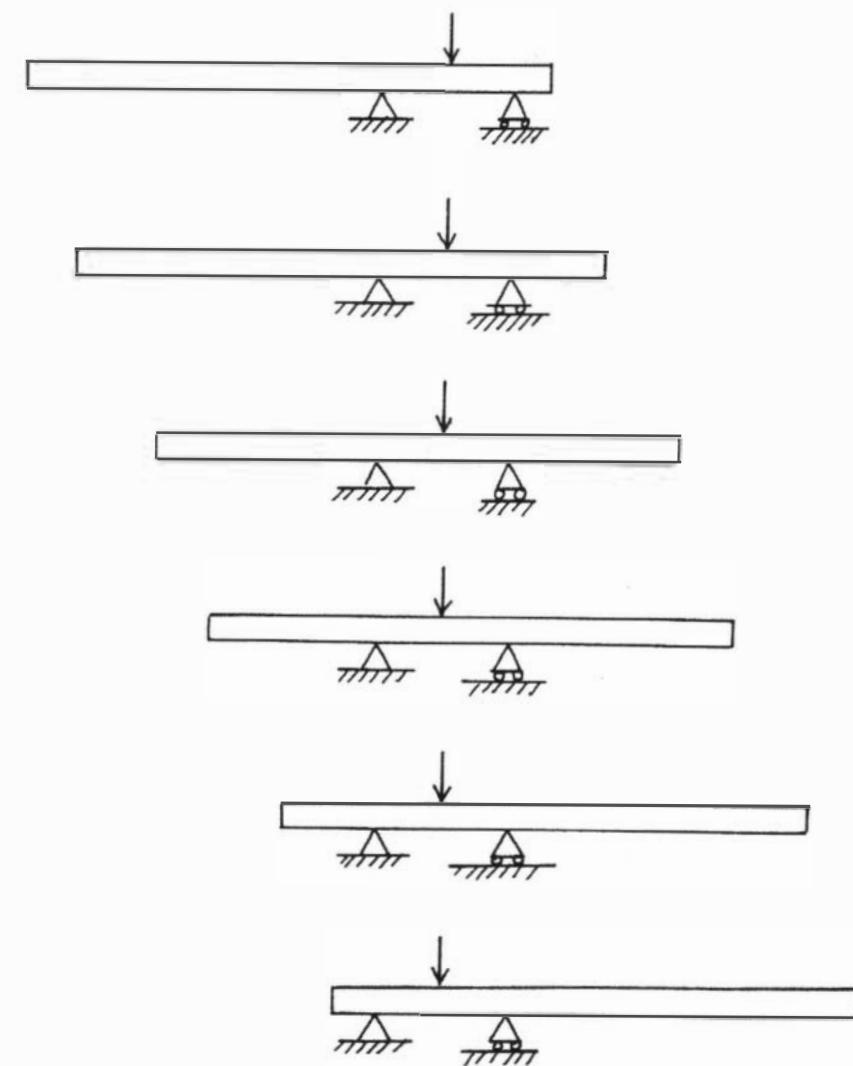


Fig. 3 : Méthode "Stress Grading machine": l'essai a été répété sur plusieurs sections successives de chaque avivé.

avec la machine essais-matériaux; l'essai a été répété sur plusieurs sections successives de chaque avivé. Les pièces ont été testées à "plat", en vue d'une bonne corrélation entre les essais selon cette distance et les contraintes de rupture, vérifiée par de nombreux auteurs. Les paramètres d'exécution de l'essai sont :

- dimension nominale de la pièce (hauteur): 45 mm
- distance entre appuis : 500 mm
- distance entre un point d'application de la charge et le point successif : 250 mm
- répétitions successives sur chaque avivé (voir Fig.3) : 6 n.
- charge totale appliquée sur le point central : 600 daN

- temps d'exécution de l'essai : 30 s

Des six valeurs du module d'élasticité apparent E_{mac} déterminées pour chaque avivé, nous avons considéré la valeur correspondante à la section où s'est localisée la rupture.

3.4 - Valeurs caractéristiques et Classes de résistance

La classification selon la résistance du bois massif pour structures est fondée sur la détermination des *valeurs caractéristiques* des propriétés mécaniques et de la masse volumique. On appelle *valeur caractéristique*, la valeur correspondante à un fractile de la distribution de fréquence relative à

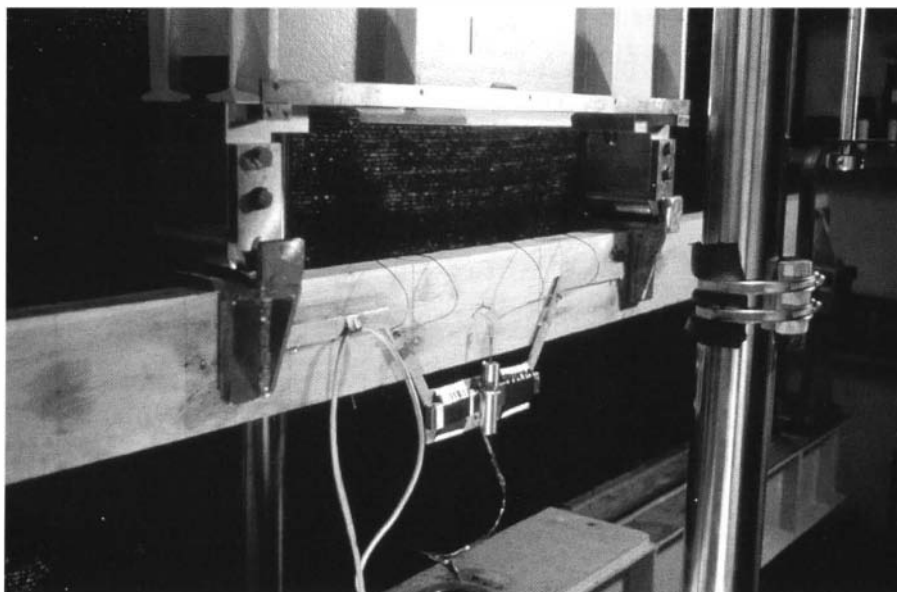


Photo 3 : Essais de flexion statique: détermination du module d'élasticité

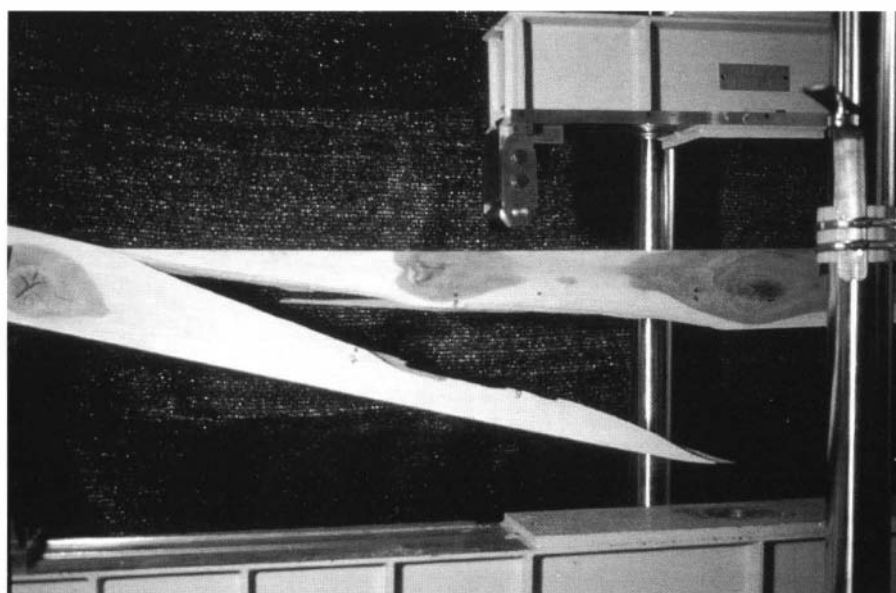


Photo 4 : Essais de flexion statique: la pente de fil a été le responsable de la rupture dans plusieurs cas. Noter la coloration du duramen.

la population statistique considérée; pour les valeurs de résistance et pour la masse volumique la Norme prEN 384 indique le fractile 5%⁽¹⁾ tandis que pour les valeurs de module élastique la même norme indique le fractile 50%, calculés sur un échantillon minimum de 40 pièces. Les fractiles 5% et 50% doivent être corrigés par un coefficient, indiqué par la Norme prEN 384, qui tient compte du nombre des échantillons étudiés et la taille de chaque échantillon; le fractile 5% doit être corrigé par un coefficient, indiqué par la même norme, qui tient compte de la dimension (hauteur) de la pièce.

L'ensemble des valeurs caractéristiques des principales résistances (flexion, compression, traction, cisaillement et torsion), des propriétés élastiques (module d'élasticité et module de cisaillement) et de masse volumique a été organisé - par la Norme prEN 338 - en 11 groupes (*profils*) normalisés, appelés *Classes de résistance*. La même norme admet la possibilité de se limiter à la détermination expérimentale des valeurs caractéristiques de masse volumique, de résistance et de module élastique en flexion statique, pour insérer le bois étudié dans sa propre Classe de résistance.

Le système de Classes de résistance est strictement liée à EUROCODE 5, le code européen de calcul - fondé sur un concept de sécurité aux états limites - pour les structures en bois.

4 - Résultats

4.1 - Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de l'échantillon essayé (51 pièces) ont été pénalisées par la présence de quelques avivés de mauvaise qualité; en observant les résultats (voir Tableau III) on peut en effet relever que la valeur moyenne de la contrainte de rupture est assez élevée (70 MPa), tandis que

Propriétés	N.obs.	Unité	Moyenne	Ecart type	Coeff. var.	Fractile 5%	Fractile 50%
Contrainte de rupture	51	MPa	70,1	19,8	28,2 %	26	-
Module d'élasticité	51	MPa	14593	2490	17,1 %	-	14900

Tab. III : Propriétés mécaniques du Chêne chevelu, calculées sur l'ensemble de l'échantillon (y compris les avivés de mauvaise qualité)

(1) N.d.e. : Le fractile 5% représente dans l'échantillon la valeur de la propriété telle que 5% seulement des individus ont des valeurs inférieures.

son fractile 5 % est beaucoup plus petit; par contre, on ne peut observer aucune différence significative entre la valeur moyenne et la valeur du fractile 50 % du module d'élasticité.

Pour une utilisation rationnelle de cette essence en structure, il est donc nécessaire de pouvoir rejeter les pièces les plus faibles; ce but a été atteint avec l'étude du triage visuel et du triage avec techniques non-destructives

4.2 - Méthodes de triage visuel

- Critères du classement visuel

Pour le classement visuel du bois de feuillus pour l'utilisation en structure il n'existe que peu d'expériences auxquelles il est possible de se référer. Nous avons commencé cette recherche par l'analyse d'un document, le Cahier 123 "Le peuplier en structure" du CTBA, sur la classification des sciages de Peuplier en structure. Les propriétés de ces deux essences étant très différentes, surtout en ce qui concerne les accroissements et l'influence des nœuds sur les propriétés mécaniques, cette méthode s'est révélée insuffisante; en effet elle a été jugée peu satisfaisante, non seulement pour le grand nombre d'avivés rejetés mais aussi pour la qualité du résultat: beaucoup de pièces de bonne résistance avait été rejetées. D'après ces premiers résultats, grâce à une analyse attentive des causes de rupture, nous avons développé deux propositions de règles pour le classement visuel du Chêne chevelu, l'une fondée sur la méthode KAR- ici nommée **IATF C 20/40** -, l'autre fondée sur la méthode BS pour les feuillus tropicaux - ici nommée **IATF C 0,3**. Toutes les

deux, vu la petite taille de l'échantillon, prévoient une seule classe visuelle, notée **BS**.

D'après l'analyse des causes de ruptures, nous avons individualisé les singularités les plus importantes par rapport à la résistance des pièces:

- nœuds;

- pente de fil;

- fissurations passantes.

Les Figures 4a/b, 5 et 6 montrent les corrélations entre la contrainte de rupture et les défauts responsables de la rupture; le Tableau IV donne l'influence de la nature de la singularité sur la rupture. Le Tableau V donne

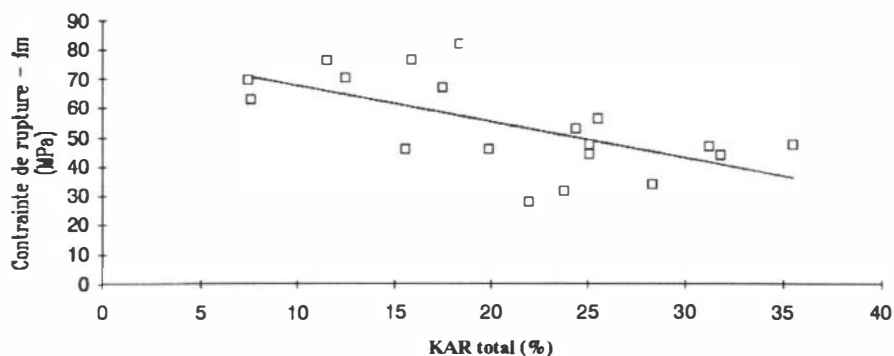


Fig. 4/a : Corrélation entre la contrainte de rupture et les nœuds, mesurée selon la méthode KAR total. Le coefficient de corrélation "r" (Bravais-Pearson) est calculé sur un échantillon de 19 pièces : $r = 0,61$.

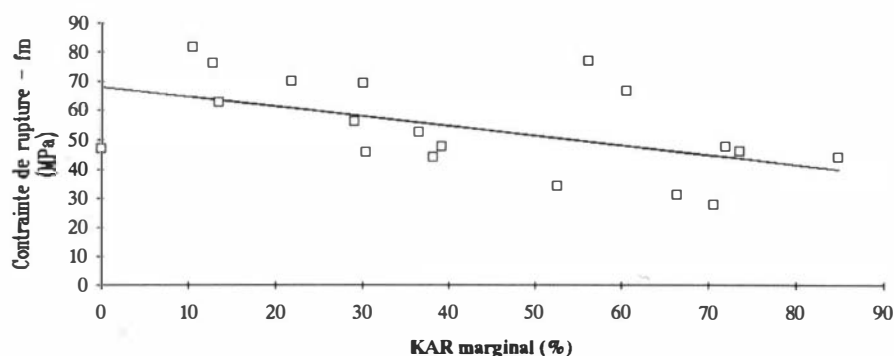


Fig. 4/b : Corrélation entre la contrainte de rupture et les nœuds, mesurée selon la méthode KAR marginal. Le coefficient de corrélation "r" (Bravais-Pearson) est calculé sur un échantillon de 19 pièces : $r = 0,51$.

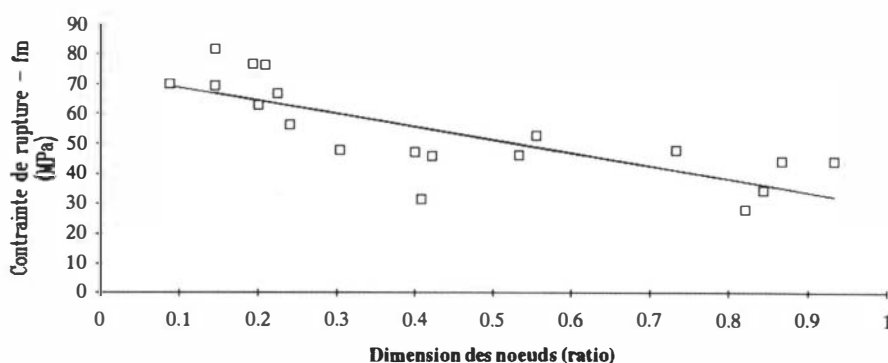


Fig. 5 : Corrélation entre la contrainte de rupture et les nœuds, mesurée selon la méthode BSI. Le coefficient de corrélation "r" (Bravais-Pearson) est calculé sur un échantillon de 19 pièces : $r = 0,75$.

Défauts	Pourcentage de rupture
Nœuds	37 %
Pente de fil	51 %
Fissurations	12 %

Tab. IV : Singularités responsables des ruptures

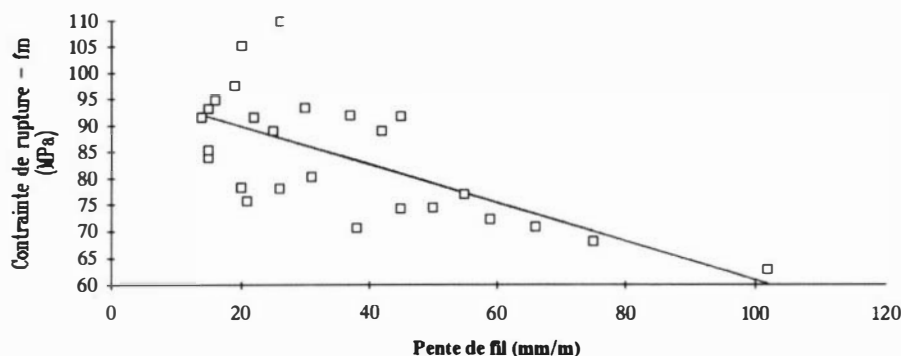


Fig. 6 : Corrélation entre la contrainte de rupture et la pente de fil. Le coefficient de corrélation "r" (Bravais-Pearson) est calculé sur un échantillon de 26 pièces : $r = 0,61$.

Critères	IATF C 20/40	IATF C 0,3	CAHIER 123 (par comparaison)
Nœuds	KAR total : 20 % KAR marginal : 40 %	0,3 h	< 0,5 h < 70 mm
Pente de fil	60 mm/m	60 mm/m	-
Fissurations	fissurations passantes non acceptées	fissurations passantes non acceptées	-
Cernes d'accroissement	-	-	18 mm
Altérations biologiques	non acceptées	non acceptées	non acceptées
Avivés rejetés	37,2 %	35,3 %	58,8 %

Tab. V : Critères pour le classement visuel et pourcentage d'avivés rejetés par chaque méthode.

Propriétés mécaniques	Unité	IATF C 20/40 Classe BS	IATF C 0,3 Classe BS
$f_{m,k05}$	MPa	65	64
$E_{m,k50}$	MPa	14900	15000
ρ_{k05}	kg/m ³	760	760
Classe de résistance		C50	C50

Tab. VI : Valeurs caractéristiques et classes de résistance des classes visuelles BS pour le Chêne chevelu, selon les deux méthodes de classement visuel proposées.

les critères pour le classement visuel selon les méthodes ici proposées: la méthode IATF C 20/40, la méthode IATF C 0,3 et - par comparaison - la méthode du Cahier 123.

- Valeurs caractéristiques de la classe visuelle BS

Les deux méthodes proposées donnent des pourcentages des avivés rejetés similaires (voir Tableau V) et des valeurs caractéristiques de contrainte de rupture, de module d'élasticité et de masse volumique équivalentes (voir Tableau VI).

4.3 - Méthodes de triage avec techniques non-destructives

La "qualité" d'une méthode de triage avec techniques non-destructives peut être jugée par :

- une bonne corrélation entre le paramètre non-destructif et les principales propriétés mécaniques (la contrainte de rupture mais aussi le module d'élasticité);
- l'efficacité (capacité à bien écarter les avivés de mauvaise qualité de ceux de bonne qualité);
- la simplicité et la répétitivité du triage.

Les résultats donnés par le Tableau VII montrent que la méthode "ultra-sons" (E_{uls}) ne présente qu'une corrélation très faible avec la contrainte de rupture, tandis que les deux autres méthodes - "oscillations libres" (E_v) et "Stress Grading machine" (E_{mac}) - présentent un coefficient de corrélation "r" (Bravais-Pearson) meilleur pour la contrainte de rupture comme pour le module d'élasticité.

La méthode "oscillations libres" (E_v) montre toutefois une faible efficacité puisqu'elle rejette la plupart des avivés testés; cette méthode ne s'est pas montrée capable de distinguer les avivés présentant de bonnes propriétés mécaniques (voir Tableau VIII). Par contre l'essai "Stress Grading machine" (E_{mac}) semble bien répondre aux qualités nécessaires pour une méthode de triage simple et efficace; premièrement, une certaine corrélation entre le paramètre non-destructif et les pro-

versus	E_{uls}	E_v	E_{mac}
f_m	0,220	0,477	0,540
E	0,646	0,689	0,556

Tab. VII : Corrélations entre les propriétés mécaniques et les méthodes de triage avec techniques non-destructives; coefficient "r" (Bravais-Pearson) calculé sur un échantillon de 51 pièces.

Paramètre non-destructif	Valeurs critiques	% rejetés et acceptés
E_{uls}	-	-
E_v	12300 MPa	rejetés : 88 %
E_v	>12300 MPa	acceptés en Classe C 50 : 12 %
E_{mac}	9200 MPa	rejetés : 6,1 %
E_{mac}	> 9200 MPa	acceptés en Classe C 50 : 93,9 %

Tab. VIII - Valeurs critiques des différentes méthodes de triage avec techniques non-destructives qui permettent de classer les avivés de Chêne chevelu dans la classe de résistance C 50; la méthode "ultrasons", étant donnée la faible valeur du coefficient "r", ne permet pas de classer le matériel étudié.

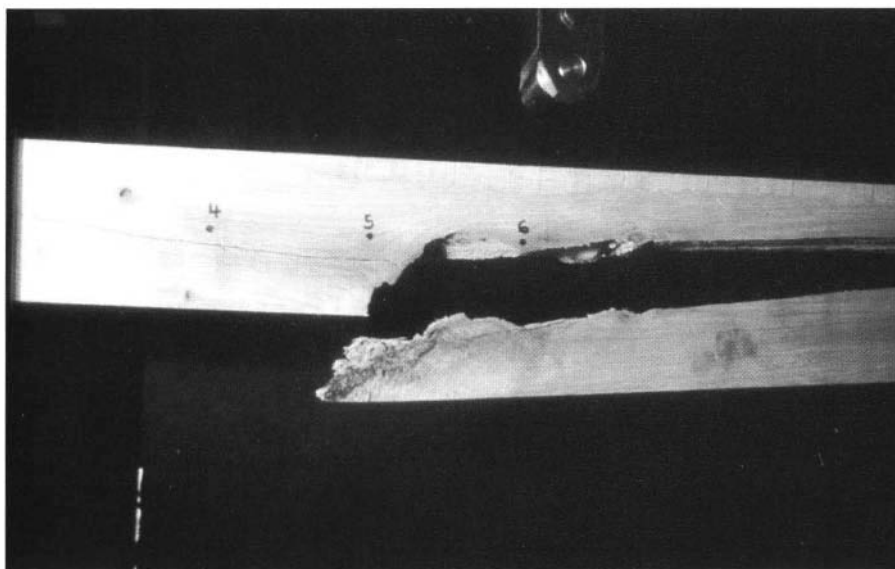


Photo 5 : Essais de flexion statique: les défauts (nœud et entre-écorce) sont les responsables de cette rupture

propriétés mécaniques, et deuxièmement un faible nombre d'avivés rejetés (correspondant à toutes les pièces de mauvaise qualité).

5 - Conclusions

Avec le travail présenté ici nous nous sommes proposés de développer les connaissances techniques indispensables pour un débouché qui paraîtrait bien valoriser les propriétés du Chêne chevelu, c'est-à-dire l'utilisation en structure. Malgré une taille d'échantillon limitée, cette recherche fournit les premières données pour une utilisation rationnelle de cette essence en structure.

Le développement de l'utilisation du Chêne chevelu en structure nécessite la résolution de plusieurs problèmes techniques. Nous avons étudiés les principales propriétés mécaniques, tel que la contrainte de rupture et le module d'élasticité en flexion statique et des méthodes de triage visuel et automatiques.

Les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques calculées sur l'ensemble de l'échantillon (avivés de mauvaise qualité compris), placent le Chêne chevelu provenant d'Italie méridionale dans la Classe de résistance C 24, une classe qui pénalise ses bonnes propriétés moyennes de résistance (70 MPa).

Les méthodes de triage visuel proposées, en rejetant les sciages qui présentent des défauts conséquents (environ 35 % des avivés), permettent de bien valoriser cette essence. Les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques (une fois les avivés de mauvaise qualité rejetés), permettent de placer le Chêne chevelu dans la Classe de résistance C 50 (voir l'Annexe 2).

Des méthodes de triage avec techniques non-destructives, la méthode "Stress Grading machine" (E_{mac}) ici proposée, semble être la mieux appropriée grâce à ses qualités d'efficacité et de simplicité:

- la valeur critique du paramètre non-destructif choisie ($E_{mac} > 9200$ MPa) permet de placer le Chêne chevelu dans la Classe de résistance C 50;
- un faible nombre de avivés a été

rejetés (6,1 % des avivés).

Par contre les autres méthodes ne permettent pas d'atteindre un résultat satisfaisant. La méthode ultrasons en particulier, est une technique de triage efficace avec les avivés de conifère, mais ne permet pas le triage du bois de feuillu étudié.

Les résultats du travail ici présenté doivent être considérés comme une première réponse concrète à une meilleure utilisation de cette espèce aussi importante de la forêt méditerranéenne.

M.N., S.Q.

Propriétés physiques et mécaniques	N.obs.	Unité	Moyenne	Coeff. var.	Norme
Masse volumique	423	g/cm ³	0,84	4 %	UNI ISO 3131
Contrainte de rupture en compression axiale	244	MPa	66,3	10 %	UNI ISO 3787
Contrainte de rupture en flexion statique	121	MPa	141,6	13%	UNI ISO 3133
Module d'élasticité en flexion statique	121	MPa	12840	14 %	BS 373
Dureté (Chalais- Meudon)	240	mm ⁻¹	10,1	23 %	NF B 51-013
Contrainte de rupture en cisaillement	240	MPa	18,5	9 %	UNI ISO 3347
Contrainte de rupture en traction	18	MPa	150,7	35 %	UNI ISO 3345
Résilience	88	J	58,5	31 %	UNI ISO 3348

Annexe 1- Propriétés physiques et mécaniques, sur petites éprouvettes (de Berti S. et Corona P., 1983)

Propriété	Résistance [N/mm ²]				élasticité [kg/m ³]		Densité [kN/mm ²]
	flexion statique	traction //	compress. //	cisaillement	module d'élasticité	module de cisaillement	
Classe (...)							
C 24 (...)	24	14	21	2,5	11	0,69	420
C 50 (...)	50	30	29	4,6	14	0,88	650

Annexe 2 - Valeurs caractéristiques des principales propriétés mécaniques des classes de résistance C 24 et C 50, données par la Norme prEN 338

Bibliographie

- BERTI S., CORONA P., 1983 - Possibilità di impiego del legname di Cerro (*Quercus cerris* L.) in Italia: principali caratteristiche fisico-meccaniche del cerro del Gargano. - Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, XXXII: 261÷285
- BS 5756, 1980 - Specification for Tropical Hardwoods Graded for Structural Use - B.S.I., U.K.
- CASTRO G., ZANUTTINI R., 1988 - Esperienze sull'incollaggio di sfogliati di Cerro (*Quercus cerris* L.) per la produzione di pannelli compensati. Tavola rotonda "Prospettive di valorizzazione delle Cerrete dell'Italia centro-meridionale", Potenza, 3-4 ottobre 1988.
- FAO ECE, 1982 - Recommended standards for stress grading and finger-jointing of structural coniferous sawn timber.
- FIORAVANTI M., 1988 - Identificazione anatomica del legno di Cerro - Tavola rotonda "Prospettive di valorizzazione delle Cerrete dell'Italia centro-meridionale", Potenza, 3-4 ottobre 1988.
- ISTITUTO SPERIMENTALE PER L'ASSESTAMENTO FORESTALE E PER L'ALPICOLTURA, 1985 - Inventario Forestale Nazionale - Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Roma
- JACAMON M., 1992 - Guide de dendrologie - ENGREF, Nancy.
- JANIN G., LAVISCI P., ZANUTTINI R., 1988 - *Quercus cerris* L. determinazione della resa in pasta per carta - misure del colore del legno (alburno e durame) su sfogliati - Tavola rotonda "Prospettive di valorizzazione delle Cerrete dell'Italia centro-meridionale", Potenza, 3-4 ottobre 1988.
- JANNONI F., 1991 - Segati di Cerro (*Quercus cerris* L.) in dimensione d'uso strutturale: prime prove per la classificazione a vista e a macchina e per la determinazione dei valori caratteristici - Tesi di Laurea in Scienze Forestali, Università di Firenze, Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale.
- LAVISCI P., MASSON D., 1992 - Quality of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) wood - Holzforschung, 46:103÷107
- LA MARCA O., TOTOLLO M., UZIELLI L., ZANUTTINI R., 1983 - Possibilità di impiego del legname di Cerro (*Quercus cerris* L.) in Italia: indagini preliminari su alcuni popolamenti e prove sperimentali per l'industria dei compensati - L'Italia Forestale e Montana, XXXVIII (1), 34÷62.
- LO GIUDICE R., 1988 - Legno lamellare di Pioppo e Cerro: prove sperimentali su colle di vario tipo - Tesi di Laurea in Scienze Forestali, Università di Firenze, Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale.
- MORETTI N., QUARTULLI S., 1988 - Possibilità di impiego del legname di Cerro nelle industrie degli imballaggi per ortofrutta - Tavola rotonda "Prospettive di valorizzazione delle Cerrete dell'Italia centro-meridionale", Potenza, 3-4 ottobre 1988.
- MENDES F., 1986 - Biological testing of Cuprinol Q treated Hardwood veneers - Cuprinol Ltd. Technical Report F169A
- PETROCCHI S., 1988 - (Misure sulla) Abrasività (di varie specie legnose) - en Uzielli L."Introduzione di nuove specie esotiche di legname da utilizzare sul mercato nazionale", 1988, ISEA, Bologna.
- prEN 338, 1992 - Bois de charpente / Classes de résistance - CEN, CEE.
- prEN 384, 1992 - Structural timber / Determination of characteristic values of mechanical properties and density - CEN, CEE.
- SANDOZ J.L., 1990 - Triage et fiabilité des bois de construction. Validité de la méthode ultrason - Thèse N.851, École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- UNI ISO 3130, 1985 - Legno. Determinazione dell'umidità per le prove fisiche e meccaniche - UNI, Italia.
- UNI ISO 3131, 1985 - Legno. Determinazione della massa volumica per le prove fisiche e meccaniche - UNI, Italia.
- UNI ISO 8375, 1987 - Strutture di legno. Legname massiccio in dimensione d'uso strutturale. Determinazione di alcune caratteristiche fisiche e meccaniche - UNI, Italia.
- UZIELLI L., 1989 - Valorizzazione tecnologica del legno di Cerro - L'Italia Forestale e Montana, XXXIX (3), 222÷237.
- UZIELLI L., BONAMINI G., FIORAVANTI M., NEGRI M., 1994 - Ricerche sulla valorizzazione di legnami italiani per uso strutturale: relazione finale - en publication.
- ZANUTTINI R., 1988 - Prime indagini su di una nuova tecnica di essiccazione per il tavolame di Cerro - Tavola rotonda "Prospettive di valorizzazione delle Cerrete dell'Italia centro-meridionale", Potenza, 3-4 ottobre 1988.

Résumé

Le Chêne chevelu en structure

Le Chêne chevelu - Quercus cerris L. - est une des espèces les plus importantes d'Italie. Il présente une forte proportion d'aubier et un bois dur et nerveux, qui se fendille et se déforme irrégulièrement. Il est difficile à scier et à coller. Malgré ces défauts, il pourrait avoir des débouchés plus intéressants que l'usage actuel comme bois de chauffage: un débouché qui paraîtrait bien valoriser ses propriétés est l'utilisation en structure. Mais il n'existe aucune donnée ni sur les propriétés mécaniques des pièces pour l'utilisation en structure ni sur les règles pour le classement visuel ou pour le classement avec des méthodes non-destructives. D'un certain nombre de billons de Chêne chevelu provenant d'une futaie vieille de 120 ans du sud d'Italie, ont été échantillonnées, sciées et séchées 51 planches 4,5 x 12,5 x 237,5 cm. Nous avons établi les critères de classement visuel et les valeurs critiques des défauts les plus importants, comme les nœuds, les fentes et la pente de fil. Chaque avivé a été classé selon ces critères. Les mêmes pièces ont ensuite été testées avec trois méthodes non-destructives, telles que la méthode par ultrasons, la méthode fondée sur les oscillations libres et la méthode fondée sur la mesure des modules d'élasticité apparents sur toute la longueur de la pièce (méthode Stress Grading). Puis nous avons établi les valeurs critiques de chaque méthode. Sur toutes les pièces ont été menés les essais pour la détermination des propriétés élastiques et de contraintes de rupture en flexion statique (selon la Norme ISO 8375). Les valeurs caractéristiques de résistance, d'élasticité et de masse volumique ont été déterminées selon le projet de Norme prEN 384. Enfin nous avons établi la classe de résistance la plus favorable en accord avec le classement visuel ici proposé, selon le projet de Norme prEN 338.

Abstract

Structural use of Turkey Oak

In Italy Turkey oak - Quercus cerris L. - is one of the most important Oak species. Its heartwood has not homogeneous color, is less durable than other Oak species, is not easily machined and finally it is not easily glued. Despite these characteristics, this timber deserves more profitable use than the present use (mostly firewood): a suitable use could be the structural one, but at present no data exist about strength and elastic properties in structural dimensions, nor about grading rules and grading non-destructive methods. Fifty-one specimens of seasoned 4,5 x 12,5 x 237,5 cm Turkey oak timber were sawned and sampled from a southern Italian 120 years old high forest. Grading criteria and limit values of the most important defects, such as knots, fissures and slope of grain, were established; each specimen was then graded according to the grading criteria previously determined. The same specimens were tested measuring three different non-destructive parameters, such as the apparent modulus of elasticity in bending (Stress Grading method), the speed of ultrasonic waves and the natural frequency of transverse (flexural) vibrations; the limit values of each parameter were established. Each full-size dimensions piece was tested for elasticity and resistance properties in static bending according to ISO 8375. The characteristic values of resistance, elasticity and density were determined following the EN draft standard pr EN 384; finally the more suitable strength class according to the visual grade was established following the EN draft standard pr EN 338.

Riassunto

Il Cerro : utilizzo per usi strutturali

In Italia il Cerro - Quercus cerris L. - è una delle specie legnose più importanti. Il suo legno, caratterizzato da alborno molto esteso, è duro e nervoso, si spacca e deforma irregolarmente e risulta difficile da segare e da incollare. Nonostante ciò, potrebbe avere un utilizzo più razionale rispetto a quello attualmente prevalente, cioè l'uso come legna da ardere: un impiego che potrebbe ben valorizzare le sue proprietà sarebbe l'utilizzo per usi strutturali, per il quale tuttavia manca informazioni circa le caratteristiche di resistenza meccanica dei segati in dimensione d'impiego; d'altronde mancano anche le regole per la classificazione visuale nonché le esperienze sui metodi di classificazione con tecniche non-distruttive. Da una fustaia di Cerro di 120 anni di età sono state campionate e stagionate cinquantuno tavole di Cerro (dimensioni 4,5 x 12,5 x 237,5 cm). Sono stati stabiliti criteri di classificazione visuale e i valori-limite delle dimensioni dei difetti più importanti, quali i nodi, le fessurazioni e l'inclinazione della fibratura; ciascuno segato è stato poi classificato con i criteri studiati. Sugli stessi provini in dimensione d'impiego sono state effettuate prove con tecniche non-distruttive, quali il metodo basato sugli ultrasuoni, il metodo basato sulle oscillazioni libere e il metodo basato sulla misura, ripetuta sulla lunghezza del segato, di modulo elastico apparente (metodo Stress Grading); sono stati stabiliti i valori-limite di ciascun metodo. Su tutti i provini in dimensione d'impiego sono state poi effettuate le prove per la determinazione delle caratteristiche di elasticità e di resistenza a flessione statica, secondo la Norma ISO 8375. I valori caratteristici di resistenza, elasticità e massa volumica sono stati determinati secondo quanto indicato dal progetto di Norma prEN 384; infine è stata stabilita la classe di resistenza più adatta alla classificazione visuale proposta, seguendo le indicazioni del progetto di Norma prEN 338.