

EFFET DU TYPE DE STATION FORESTIERE SUR LA RIGIDITE DU BOIS DE THUYA DE MAGHREB (*Tetraclinis articulata*). APPLICATION DE LA METHODE ACOUSTIQUE DANS LES MESURES DE MODULE DE YOUNG

Reçu le 25/01/2003 – Accepté le 07/07/2004

Résumé

Le Thuya de Maghreb, *Tetraclinis articulata*, est une essence endémique de la méditerranée Sud Occidental, surtout dans les trois pays de Maghreb. Dans ce contexte, nous avons choisi 10 arbres de *Tetraclinis* provenant de trois stations, écologiquement distinctes, situées dans un massif forestier purement méditerranéen, pour déterminer le module d'élasticité longitudinale par la méthode acoustique. Cette méthode acoustique non standard mettant en œuvre un dispositif conçu au Cirad-forêt (France) permet de mesurer le module d'Young E_L d'éprouvette sans défaut et donner des résultats très similaires à ceux de la méthode mécanique. Nous avons étudié aussi l'influence des facteurs stationnels sur ce module. Les résultats obtenus indiquent que le bois de Thuya doit être qualifié comme un bois lourds, son module de Young est faible. L'analyse de la variance à deux critères de classification hiérarchisée a montré que l'effet type de station et l'effet arbre dans la station sont toujours significatif. Le bois de cette essence présente une faible rigidité surtout dans les stations de climat sub-humide à altitudes faibles.

Mots clés: *Tetraclinis articulata*, Module de Young, Méthode acoustique, Algérie.

Abstract

The Thuja of the Maghreb, *Tetraclinis articulata* is an endemic gasoline of the Southern Mediterranean Western, especially in the three countries of the Maghreb. In this context we chose 10 trees of *Tetraclinis* coming from three stations, ecologically distinct, located in a purely Mediterranean forest solid mass, to determine the longitudinal modulus of elasticity by the acoustic method. This not standard acoustic method implementing a device designed at the Cirad-forêt (France) makes it possible to measure the Young's modulus E_L of test-tube without defect and to give results very similar to those of the mechanical method. We also studied the influence of the factors of the station on this modulus. The results obtained indicate that the wood of Thuja must be qualified like a wood heavy; his Young's modulus is weak. The variance analysis to two criteria of hierarchical classification showed that the standard effect of station and the tree effect in the station are always significant; the wood of this gasoline especially has low rigidity in the stations of sub-wet climate at low altitudes.

Keywords: *Tetraclinis articulata*, Young's Modulus, acoustic Method, Algeria.

M. MAATOUG¹
J. GERARD²
A. DALLAL¹

¹ Laboratoire d'Agro-Biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi Arides Université Ibn Khaldoun B.P.78, Tiaret (Algérie)
² CIRAD-Forêt Montpellier (France)

ملخص

تعتبر التوبا المغربية *Tetraclinis articulata* النوع الوحيد الذي ينمو في الجنوب الغربي لحوض المتوسط، خاصة في البلدان المغاربية (المغرب، الجزائر، تونس). من أجل ذلك تم اختيار 10 شجرات من هذا النوع ومن ثلاث محطات مختلفة البيئة تقع ضمن مجال غابي متوسطي، بغية دراسة مقياس يونغ بالطريقة الصوتية. أعطت هذه الطريقة باستعمالها جهاز تم تطويره بـ Cirad-Forêt بفرنسا نتائج مشابهة كثيرا لتلك المحصلة عليها بالطريقة الميكانيكية فيما يخص قياسات مقياس يونغ.

بينت النتائج المحصل عليها على أن خشب التوبا المغربية يصنف ضمن الأنواع الثقيلة، بمقياس يونغ ضعيف. كما أظهر تحليل التباين وجود تأثير المحطة وتأثير الشجرة داخل المحطة في هذه الخاصية، حيث أن صلابة خشب هذا النوع تكون أقل في المناطق الرطبة ذات الارتفاعات القليلة.

الكلمات المفتاحية: *Tetraclinis articulata*، مقياس يونغ، الطريقة الصوتية، الجزائر.

Le Thuya de Maghreb, *Tetraclinis articulata*, comme essence endémique de l'Afrique du Nord, couvre environ 1 million d'hectares dans les trois pays de Maghreb (Maroc 725.000ha, Algérie 161.000 ha, Tunisie 30.000 ha). Par sa rusticité, sa résistance aux agents de destruction et sa qualité extrêmement importante de son bois, il occupe la troisième place après le Pin d'Alep et le chêne vert, il est caractérisé essentiellement par sa longévité qui dépasse 400 ans, son fût rectiligne et son bois de grande valeur dans le domaine de l'ébénisterie avec une grande durabilité naturelle, cette essence est très résistante aux maladies et attaques entomologiques et cryptogamiques, son écorce est riche en extrait de résine de grande valeur utilisée dans la fabrication des vernis.

Cette essence ne se trouve jamais aux hautes altitudes; en Algérie et en montagne très sèche, son altitude maximale est de 1400m. Elle y souffre d'ailleurs du froid et fructifie rarement; par contre au Maroc, la limite la plus élevée est de 1800m. En effet le thuya peut descendre jusqu'au niveau de la mer (*Mostaganem* et *Tlemcen* à l'Ouest de l'Algérie) mais ce n'est pas une station normale pour lui; son climat, comme l'indique Benabid [1], est de type semi-aride chaud, tempéré ou frais et sub-humide tempéré ou frais (essence thermoxérophile). Il craint surtout le froid humide; dans les vallées, il préfère les expositions Nord-Sud, mais cependant, il peut croître dans des stations

froides allant jusqu'à la limite inférieure du cèdre dans l'*Ouarsenis* (au centre de l'Algérie).

Au Maroc, Benabid [1] et Fennane [2] ont analysé des échantillons sur les sols des *Tetraclinaies* dans le Rif; il s'agit en général de *Rendzine*, de sols bruns ou rouges, squelettiques à horizons peu différenciés et dégradés. Leur évolution est perturbée par le pâturage.

Boudy [3] souligne que le Thuya de Maghreb fournit un excellent bois d'ébénisterie, dur, supportant très bien l'écrasement, mais moins bien le choc aux dimensions faibles et moyennes; les essais de flexion statique sont de l'ordre de 500 à 1000 Kg/cm², ainsi que, son bois d'œuvre est un très beau matériau susceptible de nombreux usages dans la menuiserie fine et l'ébénisterie moderne.

Le thuya a une odeur très caractéristique, il ne possède pas des canaux résinifères, dans le bois comme les autres résineux, mais il en existe dans l'écorce. La résine est obtenue par un gemmage profond, (c'est une pratique très néfaste, elle peut arrêter la croissance des jeunes brins).

La loupe du Thuya (racine du Thuya) forme d'énorme masse pouvant atteindre 300 Kg; c'est un bois de densité 1.10 à 1.20, très beau fini, poussant en bouquet sur une même souche formant cette loupe. Son travail est difficile, utilisé uniquement en marqueterie ou en petites surfaces décoratives et en ébénisterie de luxe.

Cette étude a pour but de déterminer la rigidité bois de Thuya de Maghreb à l'aide d'une méthode acoustique non standard afin d'étudier la variabilité intrinsèque et extrinsèque de ce type du bois, à partir des échantillons pris dans trois régions pilotes, situées dans le massif forestier de l'Algérie occidentale.

I- MATERIEL ET METHODES

L'échantillonnage a été réalisé dans trois stations pilotes, ces stations sont :

- Station de Honaine

- *situation géographique* : Ouest de l'Algérie au bord de la mer Méditerranée et au Nord de la Wilaya de Tlemcen

- *altitude* : 100 m,

- *climat* : de type méditerranéen dont l'étage bioclimatique est de sub-humide à hiver frais,

- *températures moyenne annuelles* : est de 16°C,

- *précipitations annuelles* : 550mm,

- *type du sol* : décalcifié sur une roche mère grès jurassique.

- Station de O/Mimoun

- *Situation géographique* : 34 Km à l'Est de la Wilaya Tlemcen?

- *Altitude* : 705 m,

- *Climat* : semi aride supérieur à hivers frais,

- *Température* : 16,5°C,

- *précipitations annuelles moyens* : 513 mm,

- *type du sol* : de type calcaire sur une roche mère gréseuse

- Station de Tiaret

- *Situation géographique* : hauts plateaux (Wilaya de Tiaret),

- *Altitude* : 1200 m,

- *climat* : aride, sec et chaud en été, tempéré et froid en hiver,

- *température* : 20°C,

- *précipitations annuelles* : 250 à 500 mm,

- *type du sol* : *Rendzine* et brun calcaire sur roche mère calcaire.

Dans ces stations, dix arbres de *Tetraclinis* ont été sciés, soit deux arbres* pour la station de *Tiaret*, quatre arbres pour la station de *O/ Mimoun* et quatre arbres pour la station de *Honaine*. Dans chaque arbre, des billons ont été choisis (50 cm de hauteur) et stockés à l'abri des conditions atmosphériques extérieur pendant 04 mois. Les billons ont été transportés par la suite au laboratoire *Cirad-forêt (Montpellier- France)*. Dans chaque billon, des éprouvettes (parfois, des barreaux) ont été tirées, les mesures ont été réalisées après une stabilisation des éprouvettes en salle climatisée (25 °C et 65% d'humidité relative), après une éventuelle purge des défauts.

I.2- Mesures de module d'élasticité longitudinale (Module de Young) par la méthode acoustique

La détermination des propriétés mécaniques du bois par les méthodes classiques (sur éprouvettes normalisées) nécessite une grande quantité de matériels ligneux entraînant l'abattage de maximum d'arbres pour tirer le maximum des billons, sans défauts, et par la suite un grand effort de transport. Elle exige aussi une somme de travail considérable pour la préparation des échantillons. Parmi les caractéristiques mécaniques du bois les plus importantes et les plus significatives nécessitant un faible effort expérimental, la rigidité du bois qui est une grande raideur correspond à une relativement faible déformation en flexion, sous une contrainte donnée.

Conventionnellement, la rigidité d'un bois est mesurée (à une humidité de l'ordre de 12%) par le "module d'élasticité", exprimé en Mégapascals ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N} / \text{mm}^2$).

Aujourd'hui, une meilleure connaissance des propriétés mécaniques des bois, en particulier de la corrélation entre le module d'élasticité et la masse volumique permet d'attribuer aux principales espèces, compte tenu de règles moyennes de classement technologique, une valeur individuelle du module d'élasticité.

Le module d'élasticité longitudinal E_L est une propriété de première nécessité technologique pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres. Elle constitue un indicateur de la rigidité du bois (Tab.1).

Tableau 1: Classes de module d'élasticité longitudinal d'après les normes NF B 51 008 [4].

Valeurs de module d'Young	Qualification
$E_L < 10\ 000 \text{ MPa}$ $10\ 000 \text{ MPa} < E_L < 15\ 000 \text{ MPa}$ $E_L > 15\ 000 \text{ MPa}$	Module faible Module moyen Module élevé

* En effet, les deux autres billons ont donné des échantillons avec bois de compression, ils ont été éliminés de cette étude, étant donné que le bois de compression faussent nos calculs par des propriétés particulières (densité élevée, retrait longitudinal élevé et largeur moyenne de cerne forte).

Parmi les méthodes utilisées dans la détermination de module de Young, Bucur [5] a cité la méthode dynamique qui repose sur l'utilisation des vibrations. Les essais de vibrations sonores utilisent soit la mise en résonance d'un échantillon, soit des vibrations libres de cet échantillon pour mesurer la fréquence fondamentale dont on déduit le coefficient élastique mis en jeu.

Actuellement, un dispositif conçu au *Cirad-foret* par Bordonne [6] pour déterminer le module de Young à l'aide de la méthode dynamique. Ce dispositif permet notamment de mesurer le module d'Young E_L d'éprouvette sans défaut par analyse du spectre de leurs fréquences de résonance :

- Préalablement à la mesure, l'opérateur doit saisir les 3 dimensions et la masse de l'éprouvette,

- L'éprouvette qui repose sur 2 élastiques de rigidité négligeable est mise en vibration par percussion d'une de ces 2 extrémités : les premiers modes de la poutre flottante sont ainsi sollicités ; un microphone placé perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette à son autre extrémité enregistre le signal transmis ; ce signal est traité par une procédure FFF (*Fast Fourier Transform*),

- Le module spécifique de l'éprouvette ($= E_L/D$), dont est déduit le module d'élasticité longitudinal E_L , est estimé à partir d'un ajustement sur les premiers modes (au minimum 2, au maximum 5), suivant la théorie de *Timoshenko* sur les poutres flottantes (l'inertie de rotation et le cisaillement sont pris en compte) ; l'opérateur sélectionne directement sur le spectre de fréquences du signal transformé le nombre de fréquences propres utilisées et leur rang.

Le principe de fonctionnement des composantes du banc d'essai est décrit par Gérard [7] :

Cette méthode d'essai dynamique présente les principaux avantages suivants :

- les mesures sont "répétables", faciles à mettre en œuvre et très rapides d'exécution,
- les éprouvettes présentant des défauts internes sont facilement repérables : leur spectre de fréquences de résonance présente des anomalies flagrantes (double pic de fréquences ou absence de pic bien marqué).
- le module d'élasticité obtenu est un module dynamique,
- le module dynamique est très stable lorsque les dimensions des éprouvettes sont variées, on admettra que des résultats obtenus sur des éprouvettes de dimensions différentes sont directement comparables.

I.3- Comparaison du module de Young mesuré par la méthode mécanique standard (flexion 3 points et flexion 4 points) au module dynamique

Le module d'Young obtenu par la méthode dynamique (acoustique) est comparable au module Quasi- statique obtenu par la méthode mécanique standard, Bordonne [6] avait mis en évidence d'excellentes corrélations (0.95 à 0.99) entre le module dynamique et le module quasi-standard (déterminé en flexion 3 et 4 points sur 2 machines d'essais différentes et sur 16 éprouvettes prélevées dans 16 essences tropicales différentes) d'éprouvettes de dimension standard. Sur l'eucalyptus, Gérard [7] avait trouvé à nouveau une bonne corrélation entre les deux modules

($R^2 = 0.87$, équation de régression : $Y=X$). Cependant et pour améliorer ces relations, Chantre [8] a trouvé des ajustements faisant intervenir l'âge, la position de la pièce dans l'arbre et la largeur de cerne. Ces paramètres sont surtout pris en compte dans le cas d'éprouvettes de petites tailles.

La norme française actuellement en vigueur (NF B 51 – 008) préconise une flexion 4 points. Au *Cirad – Forêt*, les essais sont réalisés en flexion 3 points et ayant pour vocation principale un comparatif du comportement mécanique des nombreuses essences tropicales étudiées. Curie [9] avait mis en évidence une très bonne relation entre le module déterminé en flexion 3 points et le module déterminé suivant la nouvelle norme française : corrélation de 0.98 entre les deux modules avec une équation de régression : E_L (3 points) $= 0.77$ (E_L flexion 4 points) $- 0.08$.

Haines *et al.* [10] ont comparé les résultats des essais obtenus par la méthode de flexure de résonance (méthode acoustique) avec des résultats obtenus à partir des essais statiques de flexion de quatre points, sur des éprouvettes normalisées du Sapin. Ils constatent que la différence entre les deux méthodes est de l'ordre de 6% pour les éprouvettes de grande taille et moins de 3% pour les petites éprouvettes (moins de 1 millimètre d'épaisseur). Les auteurs ajoutent que la mesure de module de Young par la méthode dynamique est plus précise et facilement exécutée que la méthode classique (flexion de 3 ou 4 points).

I.4- Détermination de la densité sur éprouvette par la méthode acoustique

Le module d'Young (obtenu par la méthode dynamique) et la densité ont été mesurés conjointement sur les mêmes éprouvettes ; la détermination du module d'Young nécessite la prise en compte de la masse et des 3 dimensions de l'éprouvette ; l'opérateur doit saisir ces paramètres qui sont nécessaires au calcul des modules apparent ; la masse volumique est obtenue directement à l'issue de la mesure.

En effet, les valeurs de densité obtenues simultanément au module d'élasticité longitudinal par la méthode dynamique (simple calcul du volume à partir des 3 dimensions de l'éprouvette) sont comparables à celles obtenues en utilisant la méthode standard (à l'aide d'un volumétre). Hervé [11] a trouvé une forte corrélation entre les deux densités (géométrique et volumétrique. $R^2 = 0.998$, $Y= X$), on peut considérer que les deux méthodes permettant d'obtenir des résultats équivalents.

2- RESULTATS ET DISCUSSION

2.1- Variabilité du module d'élasticité (module de Young)

2.1.1- Variation du module de Young inter et intra arbre et inter-type de station

La figure 1 est représentée sous forme du graphique Box plots (tracé par le logiciel *Statistica*), montre la variabilité intra et inter-arbre dans chaque station.

La position basse de la médiane chez l'arbre 1 (station de *Tiaret*) est caractéristique d'une dissymétrie à droite sur la distribution du module de Young, en revanche, l'arbre 2

(station de *Tiaret*) présente une dissymétrie à gauche caractéristique aussi. Les autres arbres ont une symétrie centrale. Les provenances de *O/Mimoun* et *Honaine* se caractérisent par une forte dispersion (grande taille des rectangle) mais avec un faible étalement des données.

La variabilité du module de Young intra et inter-station est illustrée dans la figure 2, sur laquelle, on note sur les Box plots les valeurs extrêmes dans la station de *Tiaret* et une variabilité intra-station importante pour les autres provenances (*O/Mimoun* et *Honaine*), ce qui confirme une hétérogénéité à l'intérieur de chaque station. Les résultats obtenus ont classé les individus de *Tiaret* en premier lieu (moyenne : 6861 MPa ; les individus de *O/Mimoun* et *Honaine* ont, respectivement : 5869 MPa et 5530 MPa.

D'après les normes NF B 51-006 (sept. 1985), le module de Young pour le bois de *Tetraclinis articulata* est faible ($EI < 10000$ MPa).

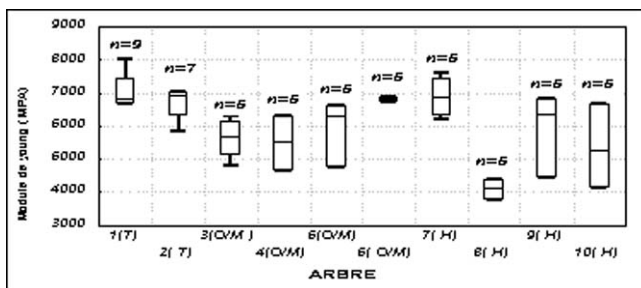


Figure 1: Représentation en Box plots de la variabilité intra et inter- arbre de module de Young.

Légende :

- T : Arbre de la station de *Tiaret*,
- O/M : Arbre de la station de *O/Mimoun*,
- H : Arbre de la station de *Honaine*,
- n : Nombre d'éprouvettes.

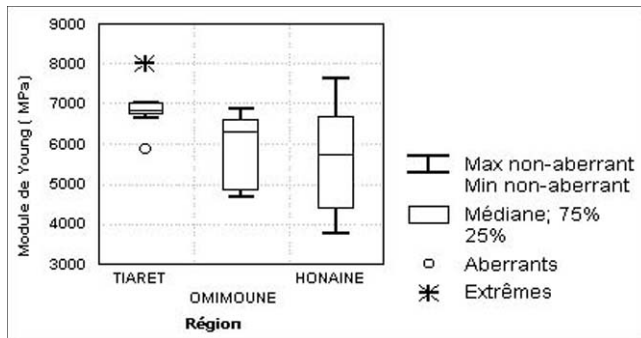


Figure 2: Représentation en Box plots de la variabilité intra et inter – station de module de Young.

2.1.2- Analyse de la variabilité du module de Young

Une analyse de variance à deux facteurs hiérarchisés [12] (facteur station, puis facteur arbre dans station) donne les résultats présentés dans le tableau 2.

Compte tenu des deux valeurs de F obtenues, on est amené à rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes du module de Young pour les trois stations et les dix arbres ; nous constatons donc qu'il y a une différence significative (à 5 %). En effet, c'est dans la station de *Tiaret* que le module de Young est élevé. Il faut rappeler par ailleurs que dans cette station on trouve les conditions naturelles du développement

Tableau 2: Analyse de variance à deux critères de classification hiérarchisés (Effet station et effet arbre dans station) pour le cas de module de Young.

Source de variation	Degré de liberté	Somme des Carrés	Carrés moyens	F
Station	2	9166632	4583316	7.05*
Arbre	7	18912133	2701733	4.14*
Station x Arbre	14	-	-	-
Résidus	32	15002703	652291	
Total	55	43081468	1346296	

du *Thuya* de Maghreb (climat semi-aride, altitude élevée, sol Rendzine). Néanmoins, le bois de *Tetraclinis* est qualifié comme un bois lourd, son module de Young reste toujours faible.

En effet, Cilas *et al.* [13] avaient étudié l'effet de station et de l'héritabilité sur le module d'élasticité, chez l'espèce *Caféier (Coffea canephora)*, étant donnée que la casse du bois de cette essence durant la période de récolte pose un problème majeur chez certains cultivateurs. Le module de Young a été estimé en Côte d'Ivoire et au Togo ; ils concluent par une analyse de variance, que le module de Young de Togo était plus élevé que de Côte d'Ivoire, les diamètres des branches des provenances de Togo était sensiblement plus petit et ces branches étaient certainement plus sèches.

2.1.3-Corrélation Module de Young densité

La densité du bois conditionne fortement sur le module de Young, comme le montrent les différentes études. Cependant la dispersion $E = f(D)$ laissent supposer que d'autres paramètres interviennent ; parmi ceux qui sont les plus susceptibles d'intervenir, la largeur moyenne des cernes et l'angle du fil du fait de l'anisotropie du bois. Nous avons choisi d'étudier uniquement la relation densité – module de Young qui est une relation fondamentale annoncée par la littérature.

En effet, l'angle des microfibrilles intervient surtout dans le bois juvénile et plus particulièrement dans les cernes très près de la moelle ([14] cité par [15]).

Goy [15] a étudié également l'influence de largeur de cerne sur le module de Young, pour deux valeurs de l'angle des microfibrilles, pour un angle élevé (10°), les variations du module de Young interviennent surtout pour les faibles valeurs de largeur de cernes ; au delà de 6 mm, le module reste sensiblement constant. En revanche, pour les angles faibles, la variation de largeur de cerne continue à se faire sentir, même pour des valeurs fortes. Cependant les changements les plus importants se situent avant 3 mm.

De même, Dereboul [16] ajoute, chez l'*Epicéa*, que la pente de régression étant plus forte dans le cas du bois adulte que dans le cas du bois juvénile, une augmentation de la largeur de 3 mm entre 2 mm et 5 mm conduit à une baisse de 40 % de la valeur du module dans le cas du bois adulte (12200 MPa à 8000 MPa) et de seulement 10% dans le cas du bois juvénile (11000 MPa à 9200 MPa).

La figure 3 illustre la relation linéaire (significatif à 1 %) entre la densité (sur éprouvette) et le module de Young.

Les résidus sont bien distribués autour de l'axe 0 (Fig. 4), ce qui confirme la linéarité de relation. Ces résultats ont été confirmés chez les essences résineuses par de nombreux auteurs. Bordonne [6] trouve, chez les eucalyptus de plantation, une valeur de r très élevée entre la densité et le module de Young dans le bois de duramen ($r = 0.80$, 79 mesures contre $r = 0.69$ pour le bois d'aubier) il conclut que le phénomène de duraminisation constitue une principale source de variabilité intra arbre. Cette influence de duraminisation est largement masquée par les variations de propriétés du cœur vers l'écorce (évolution de la structure du bois entre le bois juvénile et le bois adulte). D'autre part, nous retrouvons une confirmation chez l'Epicéa commun, par Dereboul [16] et Guitard *et al.* [17], chez les résineux, qui proposent un modèle linéaire pour la relation densité-module de Young.

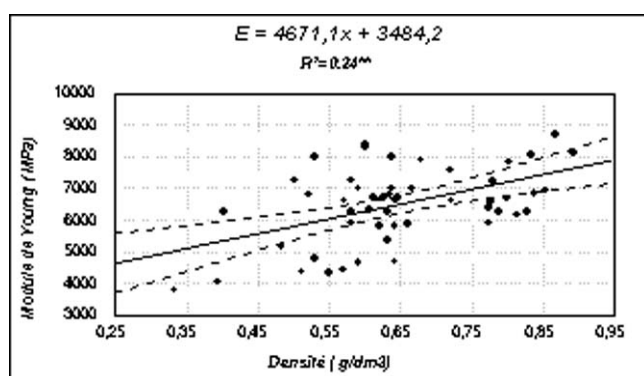


Figure 3: Ajustement linéaire observé entre le module de Young et la densité.

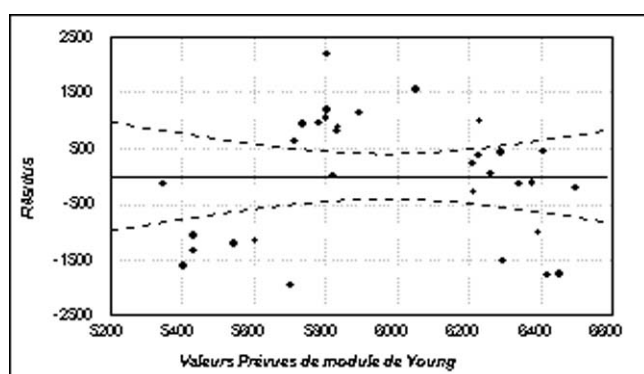


Figure 4: Relation entre les résidus de l'ajustement du module de Young (estimé à partir de Densité) et les valeurs prévues de module de Young.

2.2- Comparaison de module de Young du bois de Thuja avec d'autres essences

Il serait intéressant de comparer le module de Young de Thuja de Maghreb à des essences méditerranéennes telle que la Pin d'Alep. Les résultats de cette comparaison sont résumés dans le tableau 3.

Le module d'élasticité longitudinal (module de Young) est faible, ce type de bois est moins rigide que le bois des autres essences, notamment le Pin d'Alep et l'Epicéa. En effet, Un module faible pour une densité forte peut correspondre à un bois présentant un fort taux d'extrait qui

augmente sa densité mais ne change pas ses caractéristiques mécaniques. C'est le cas pour le Thuja de Maghreb (GERARD, 2002, communication personnelle).

Tableau 3: Comparaison de module de Young du bois de Thuja avec d'autres essences. (D'après le site Internet : <http://www.artenum.org>).

Essence	Module (MPa)
Pin d'Alep	11450
Thuja de Maghreb	6086
Chêne	12000
Epicéa	13000
Erable	10000
Frêne	10000

CONCLUSION

Cette étude a permis de faire progresser les connaissances en ce qui concerne la rigidité du bois de *Tetraclinis articulata* à partir de mesures du module d'élasticité longitudinal (module de Young) qui est largement utilisé dans le domaine technologique du bois, ce module caractérise le comportement global du bois. Les mesures de ce module ont été réalisées à l'aide d'une méthode acoustique non standard qui présente l'avantage d'être rapide et fiable. Cette méthode a été validée par rapport à la méthode d'essai en flexion 3 points ; sur bois stabilisé à 12 %, elle donne des résultats très similaires à ceux obtenus à l'aide de la méthode classique (mécanique).

L'action des facteurs stationnels sur le module de Young a été étudiée aussi, le bois de *Tetraclinis* est qualifié comme un bois lourd, son module de Young reste toujours faible (inférieur à 10000 MPa) surtout dans les stations de climat sub-humide à altitudes faibles. Le bois de cette essence est qualifié donc comme un bois à faible rigidité.

La tendance générale de la variation du module de Young en fonction de la densité est de forme linéaire, le sylviculteur est en mesure d'intervenir sur la largeur des cernes et sur la densité, à différents niveaux dans l'arbre, et par conséquent il est à même d'en contrôler les caractéristiques technologiques et mécaniques du bois de cette essence.

REFERENCES

- [1]- Benabid A., "Etude écologique, phytosociologique et sylvopastorale de la Tetraclinia de l'Amsittene", Thèse de doctorat, université d'Aix-Marseille III, (1976), pp. 3-4.
- [2]- Fennane M., "Etude phytosociologique des Tetraclinis Marocaines", Thèse de doctorat. Université Aix-Marseille, (1987), p. 6.
- [3]- Boudy, "Economie forestière Nord - Africaine, monographie et traitement des essences résineuses", Tome II, fascicule 2, (1950), 280 p.
- [4]- AFNOR, "Bois, détermination de retrait et de densité", BN 50 002, NF B 51-006, NF B 51-008, (1985).
- [5]- Bucur F., "Ondes ultrasonores dans le bois, caractérisation mécanique et qualité de certaines essences de bois" - Institut supérieur des matériaux et de la construction mécanique. Thèse de docteur ingénieur, (1984), 162p.

- [6]- Bordonne P.A., "Module dynamique et frottement intérieur dans le bois : mesures sur poutres flottantes en vibrations naturelles", Thèse de doctorat en sciences du bois. INPL de Lorraine, (1989).
- [7]- Gérard J., "Contraintes de croissance, variation internes de densité et de module d'élasticité longitudinal et déformation de sciage chez les Eucalyptus de plantation", Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 1, (1994), 160p.
- [8]- Chantre G., "Liaison entre rigidité et densité du bois à l'intérieur du cerne. Application au cas de l'Epicéa commun (*Picea abies* Karst)", Rapport DEA Sciences du bois, INPL, Nancy, (1989), 45p.
- [9]- Curie P., "Méthode acoustique pour l'évaluation instantanée du module d'élasticité du bois", Séminaire Afrique IUFRO Grope P5.01 « Proprieties and utilization of tropical Wood » ,Abidjan 11/89, (1989).
- [10]- Haines D.W., Riverdale Ny, Leban J.M. and Herbe C., "Determination of Young's modulus for spruce, fir and isotropic materials by resonance flexure method with comparisons to static flexure and other dynamic methods", *Wood Sci. and Tech.*, 30 (1996), pp. 253-263.
- [11]- Hervé C., "Etude des variations de propriétés physiques et mécaniques sur Eucalyptus de plantation à croissance rapide", Cirad forêt, mesures physiques, Créteil, rapport de stage, (1993), 40 p.
- [12]- Dagnelie P., "Théorie et méthodes statistiques", Vol I et II. Les presses Agronomiques de Gembloux. AS.B, 2^{ème} édition, (1975).
- [13]- Cilas Ch., Montagnon C., Bernard B., Godin C. *et al.*, "Wood elasticity of several *Coffea canephora* _ierre clones. A new trait to be included in selection schemes", *Agronomie*, 20 (2000) INRA. EDP. Science (2000), pp. 439-444.
- [14]- Chantre G. et Gouma R., "Influence du génotype, de l'âge de la station sur la relation entre l'infradensité du bois et la vigueur chez l'Epicéa commun (*Pecea abies* Karst)", *Ann. de l'AFOCEL* (1993), pp. 61-89.
- [15]- Goy B., "Prédiction de la rigidité de l'Epicéa commun avec prise en compte de paramètres de croissance. Etude des pièces de petites dimensions sans nœud", Thèse de doctorat de l'université de Nancy I, (1992), 128p
- [16]- Dereboul L., "Influence des paramètres de structure et de position dans le module de rigidité en flexion statique (E1) dans le cas de l'Epicéa commun", DEA en Science du Bois, Station de Recherche sur la Qualité du Bois Nancy, (1988), p. 60.
- [17]- Guitard D. et El Amri F., "La fraction volumique en rayons ligneux comme paramètre explicatif de la variabilité d l'anisotropie élastique du matériau bois", Association pour la recherche en bois de Lorraine, Acte du 2eme Colloque Sciences et Industries du bois, ENGREF, Nancy, (1987), pp. 405-412. □