



## Caractérisation physique du bois de la loupe de Thuya

Mohammed El Mouridi, Thierry Laurent, A. Farimi, B. Kabouchi, Tancrede Alméras, Gilles Calchéra, A. El Abid, Moshine Ziani, Joseph Gril, Abdelillah Hakam

### ► To cite this version:

Mohammed El Mouridi, Thierry Laurent, A. Farimi, B. Kabouchi, Tancrede Alméras, et al.. Caractérisation physique du bois de la loupe de Thuya. *Physical Chemical News*, 2011, 59, pp.57-64. <hal-00797386>

**HAL Id: hal-00797386**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00797386>**

Submitted on 6 Mar 2013

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

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



# PHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE ROOT BURL WOOD OF THUJA (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters)

## CARACTÉRISATION PHYSIQUE DU BOIS DE LA LOUPE DE THUYA (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters)

M. El Mouridi<sup>1,6\*</sup>, T. Laurent<sup>1</sup>, A. Famiri<sup>2</sup>, B. Kabouchi<sup>3</sup>, T. Alméras<sup>1</sup>,  
G. Calchéra<sup>4</sup>, A. El Abid<sup>2</sup>, M. Ziani<sup>5</sup>, J. Gril<sup>1</sup>, A. Hakam<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Équipe MAB, LMGC, Université Montpellier 2, CNRS {mohamed.el-mouridi, thierry.laurent, tancrede.almeras

<sup>2</sup>Centre de Recherche Forestière (C.R.F), Rabat, Maroc

<sup>3</sup>Laboratoire de Spectronomie Moléculaire, Optique et Instrumentation Laser, Faculté des Sciences,  
Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc

<sup>4</sup>CIRAD, Département PERSYST

<sup>5</sup>Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine (INSAP), Rabat, Maroc

<sup>6</sup>Laboratoire des Sciences et Technologies du Bois, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc

\* Corresponding author: E-mail: mohamed.el-mouridi@univ-montp2.fr

Received: 13 October 2010; revised version accepted: 19 February 2011

### Abstract

This work is an original contribution to the study of density and drying shrinkage of the root burl wood of thuja (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters) coming from the forest of Khemisset (Morocco). The density is often used for prediction of mechanical properties of wood. As for the linear shrinkage, the degree of anisotropy between the radial, tangential and longitudinal shrinkage prefigure mechanical behaviour of wood. The measurements of these physical properties were performed on 77 samples (2×2×2cm<sup>3</sup>) cut according to radial, tangential and longitudinal directions. The analysis of density measurements allows to classify the wood of the root burl of thuja as a dense wood. The density of the root burl wood is higher than that of the thuja wood. This difference is explained by the presence of dark growths composed of cells with thicker walls than those of the thuja wood. The analysis of shrinkage measurements show a small anisotropy, explained in the microscopic scale by a very variable orientation of cells in a reference plan. This result presupposes a mechanical behaviour close to isotropic for the wood of the root burl of thuja.

**Keywords:** Wood; Root burl wood of thuja; Density; Shrinkage; Anisotropy; Cellular tissue.

### Résumé

Ce travail constitue une contribution originale à l'étude de la densité et du retrait au séchage de la loupe de thuya provenant de la forêt de Khémisset (Maroc). La densité est souvent utilisée dans les étapes de prédiction des propriétés mécaniques du bois. Quant aux retraits linéaires, l'existence ou non d'une anisotropie entre les retraits radial, tangentielle et longitudinale préfigurent du comportement mécanique du bois. Les mesures de ces propriétés physiques sont réalisées sur 77 échantillons de 2×2×2cm<sup>3</sup> découpés selon les directions radiale, tangentielle et longitudinale. L'analyse des résultats des mesures de densité permet de classer le bois de la loupe de thuya comme un bois dense. La densité de la loupe est plus élevée que celle du bois de thuya. Cette différence s'explique par la présence d'excroissances foncées composées de cellules aux parois plus épaisses que celles du bois de thuya. L'analyse des mesures de retraits montre une faible anisotropie de retraits, expliquée à l'échelle microscopique dans un plan de référence, par une orientation très variable des cellules. Ce résultat présuppose un comportement mécanique proche d'un comportement isotrope du bois de la loupe de thuya.

**Mots clés :** Bois ; Loupe de thuya ; Densité ; Retraits ; Anisotropie ; Tissus cellulaires.

### 1. Introduction

Le thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters) a la faculté de développer de la loupe, excroissance se trouvant au niveau du collet de l'arbre et se développant dans des conditions mal connues. Au Maroc, le thuya occupe une superficie totale d'environ 680 000 ha (soit l'équivalent de 11,7% de la surface totale couverte

par la forêt marocaine) et joue un rôle socio-économique important dans le cadre de la satisfaction des besoins locaux des populations riveraines en matière de parcours, bois de chauffage et bois de service divers [1,2]. Lorsqu'il est correctement travaillé, le bois de la loupe de thuya laisse apparaître un remarquable moucheté qui lui confère un véritable intérêt esthétique.

C'est pour cette raison que son bois est très apprécié par les artisans pour la marqueterie, l'ébénisterie et pour la production d'articles divers [1]. Actuellement, le développement du secteur artisanal engendrant une forte demande de cette matière première ainsi que l'action des aléas environnementaux font que les écosystèmes des tétraclinaies (forêts de thuya) connaissent un recul graduel pouvant être irréversible [2]. Les études réalisées sur l'arbre de thuya concernent surtout la filière d'aménagement et/ou la phyto-écologie de cette essence forestière [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], la régénération post-incendie [12], le séchage du bois de thuya [13] et l'attaque des champignons [14]. Aucun travail visant la caractérisation physique de la loupe de thuya n'a été entrepris. Cette étude a pour objectif de caractériser la loupe de thuya à travers deux propriétés physiques de référence : la densité souvent utilisée dans les étapes de prédiction des propriétés mécaniques du bois [15] et les retraits linéaires et volumétrique qui préfigurent du comportement mécanique du bois [16].

## 2. Matériels et méthodes

La loupe de thuya (Figure 1) provient de la région du Khémisset (Maroc). Le sciage et les essais de caractérisation physique ont été réalisés au Laboratoire des Essais Physiques et Mécaniques du Centre de Recherche Forestière (C.R.F.) à Rabat. Les coupes anatomiques ont été réalisées au Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC) à Montpellier.

### Échantillonnage et débits

Ne connaissant pas *a priori* le réseau de symétries matérielles du bois de la loupe de thuya, nous l'avons présumé identique à celui du bois de thuya. Nous avons donc adopté, lors de la récolte, un repérage selon les directions (R, T, L) correspondant d'une part à la direction longitudinale de l'arbre (L) et d'autre part aux directions radiale et tangentielle perpendiculaires à (L) (Figure 1). Afin de déterminer les caractéristiques intrinsèques de la loupe de thuya, nous l'avons découpée (Figure 2) en plateaux transverses de 25 mm d'épaisseur issus de sciages parallèles. Ces plateaux (Figure 3) sont ensuite débités sous forme de barreaux de dimensions  $2 \times 2 \times L \text{ cm}^3$  (L variant de 15 à 32 cm) et selon des angles prédéfinis de 25°, 50°, 75° et 90° (Figure 4). Les barreaux obtenus sont ensuite découpés sous forme d'éprouvettes de  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ . Le plan d'échantillonnage ou de découpe retenu permet de conserver une éprouvette dont les faces parallèles sont orientées selon les directions longitudinale,

radiale et tangentielle de la loupe. Les nombres d'éprouvettes retenues suivant les différents angles de prélèvement sont présentés dans le tableau 1. Il faut préciser ici que certains barreaux ont été réservés pour d'autres mesures de caractéristiques qui ne font pas l'objet de cet article, ce qui explique les différences de lots d'éprouvettes correspondant aux 4 directions.

### Mesures physiques

La teneur en eau, les densités et les retraits sont déterminées sur les éprouvettes cubiques ( $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ ) respectivement selon les normes NF B 51-004, NF B 51-005 et NF B 51-006. Ces éprouvettes sont pesées par une balance de précision Sartorius de résolution 0,001 g et les dimensions suivant les trois directions de référence sont mesurées par un comparateur digital Mitutoyo de résolution 0,001 mm.

Les retraits dans chacune des directions sont définis comme les variations relatives de longueur entre l'état saturé et l'état anhydre. Pour étudier l'anisotropie du retrait dans le bois de la loupe de thuya, nous utilisons le coefficient d'anisotropie transverse défini comme le rapport du retrait radial sur le retrait tangentiel. Ce coefficient traduit, d'une part, pour une application technique, la stabilité dimensionnelle ou encore la nervosité du bois, et d'autre part, il préfigure du comportement mécanique du bois de la loupe de thuya dans le plan transverse.

Le retrait volumique, permettant de classer les bois, se définit comme la variation relative de volume entre l'état saturé et l'état anhydre. Le retrait volumique,  $R_V$ , est défini à partir des retraits linéaires  $R_R$ ,  $R_T$  et  $R_L$ , par la relation suivante :

$$R_V = 1 - (1 - R_L)(1 - R_T)(1 - R_R) \quad (1)$$

### Anatomie

Des coupes transverses de 20  $\mu\text{m}$  d'épaisseur sont réalisées au microtome à glissière sur du bois re-saturé et montées dans l'eau entre lame et lamelle sans coloration. Les coupes sont observées au microscope (Leica DMLP) en lumière transmise.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Densités

Les valeurs des densités et de la teneur en eau de la loupe, obtenues sur les 77 éprouvettes, sont regroupées dans le Tableau 2. La teneur en eau des éprouvettes testées est de  $9,12^{\pm 0,19}\%$ .

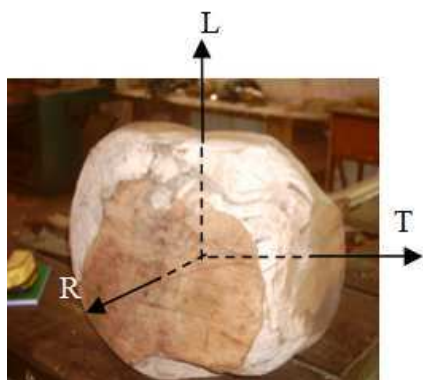


Figure 1: Repérage de la loupe avant sciage des plateaux.



Figure 2: Coupe dans le plan transversal de la loupe.

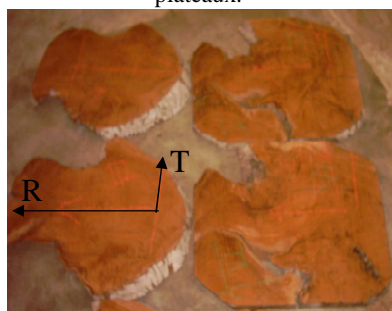


Figure 3 : Plateaux transverses de la loupe.

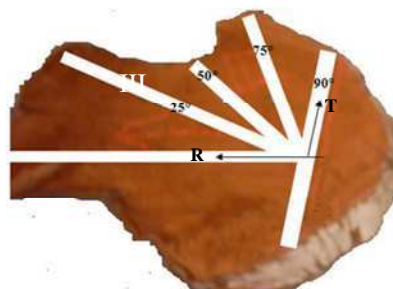


Figure 4: Visualisation des directions de découpe des barreaux du plateau (III).

Position	90°	75°	50°	25°	Total
Nombre	45	4	3	25	77

Tableau 1: Nombre d'éprouvettes retenues selon les angles de prélèvement.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Intervalle de confiance à 95%
H(%)	<b>7,94</b>	<b>11,70</b>	<b>9,12</b>	<b>0,19</b>
D <sub>h</sub>	<b>0,726</b>	<b>0,954</b>	<b>0,845</b>	<b>0,014</b>
D <sub>0</sub>	<b>0,676</b>	<b>0,906</b>	<b>0,795</b>	<b>0,014</b>
D <sub>b</sub>	<b>0,632</b>	<b>0,842</b>	<b>0,739</b>	<b>0,013</b>

Tableau 2: Teneur en eau et densités du bois de la loupe de thuya (D<sub>h</sub>, densité à la teneur en eau H% ; D<sub>0</sub>, densité anhydre ; D<sub>b</sub>, infradensité).

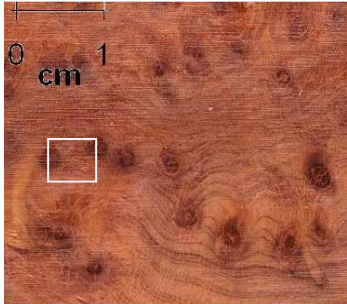
Comparée au bois de thuya [17], d'infradensité moyenne de 0,58, la loupe est plus dense avec une infradensité de  $0,739^{\pm 0,013}$ . Cette différence de densité s'explique par la présence « d'excroissances » de couleur plus foncée visibles sur la coupe mouchetée de la Figure 5. La figure 6 montre le grossissement d'une zone englobant une excroissance (cette zone est repérée par un rectangle blanc sur la figure 5). La densité de ces excroissances peut être appréhendée à l'échelle microscopique. La Figure 7 présente une coupe anatomique réalisée dans le plan transverse,

prise au microscope, au sein d'une excroissance localisée sur la figure 6 par un rectangle blanc. La comparaison du réseau cellulaire de l'excroissance de la loupe de thuya avec celui du thuya *Tetraclinis articulata* [18] montre que les parois cellulaires des excroissances de la loupe sont beaucoup plus épaisses que celles du thuya ce qui explique sa porosité plus faible et donc sa densité plus élevée. Pour résumer, on peut dire que la loupe de thuya, est composée d'excroissances foncées, de densité élevée, noyées dans une

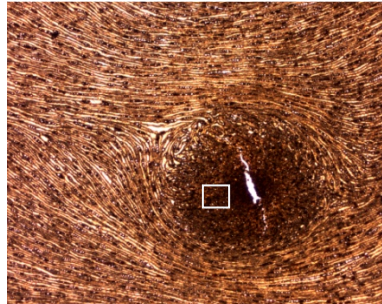
« matrice » de tissu ligneux, de densité voisine de celle du thuya.

Ce résultat a une conséquence pratique directe sur la qualité de la matière première. En effet, une enquête menée auprès des maître-artisans des coopératives de thuya montre que parmi les paramètres de qualité de la loupe, la proportion

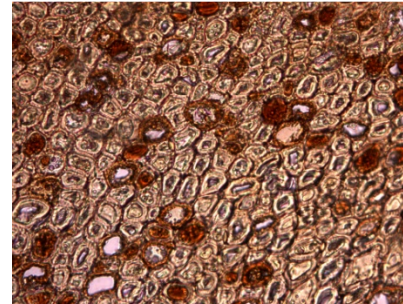
d'excroissances contenue en son sein est l'un des plus importants. De ce fait, plus une loupe est dense et plus elle contient une fraction volumique importante d'excroissances limitant ainsi le risque d'obtenir, après découpe, un moucheté pas ou peu esthétique.



**Figure 5:** Présence « d'excroissances » foncées à l'échelle macroscopique.



**Figure 6:** Vue d'une excroissance dans le plan transverse et du tissu ligneux l'entourant (dimension 4,10x3,03mm<sup>2</sup>)



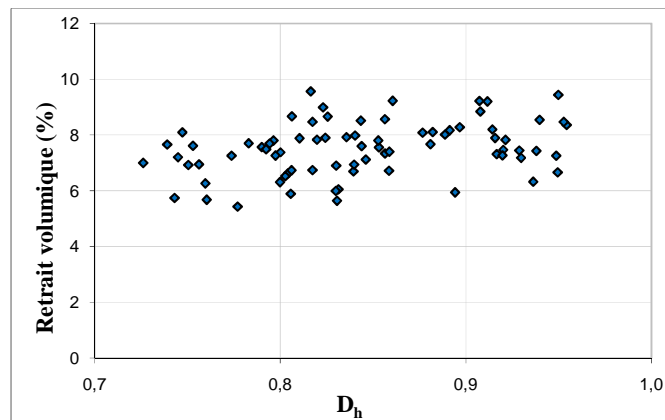
**Figure 7:** Vue à l'échelle microscopique dans le plan transverse d'une excroissance (dimension 0,26x0,19 mm<sup>2</sup>)

### 3.2. Retraits volumique et linéaires

La Figure 8 présente l'évolution du retrait volumique des 77 échantillons de loupe de thuya en fonction de la densité à une teneur en eau de 9,12%. Cette densité est choisie dans les tracés car les échantillons sont découpés en cube dans cet état de teneur en eau. La détermination du volume

humide présente donc une meilleure exactitude que le volume anhydre par exemple.

La valeur moyenne de ce retrait (Tableau 3 est de 7,51<sup>±0,22</sup>% ce qui positionne le bois de la loupe de thuya parmi les essences à faible retrait.



**Figure 8:** Tracé du retrait volumique en fonction de la densité à une teneur en eau de 9,12%.

Classiquement, la différence entre le retrait radial et tangentiel est appréhendée au travers du coefficient d'anisotropie des retraits dans le plan transverse,  $R_R/R_T$ . La Figure 9 présente l'évolution du coefficient d'anisotropie des retraits transverses en fonction de la densité mesurée à 12% de teneur en eau sur un ensemble de 836 espèces. Ces

données sont issues de la base de données des propriétés physiques et mécaniques des bois du CIRAD. Nous pouvons remarquer sur cette figure que le thuya *Tetraclinis articulata*, avec un coefficient d'anisotropie de retrait transverse de 0,84, présente une faible anisotropie transverse, comparé à la majeure partie des autres essences.

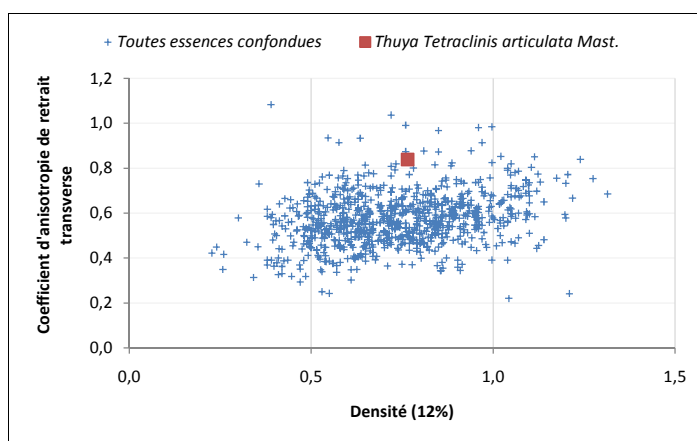


Figure 9: Relation coefficient d’anisotropie des retraits transverses / densité à 12% de 836 espèces (base de données CIRAD)

La Figure 10 présente l’évolution des retraits radial, tangentiel et longitudinal du bois de la loupe de thuya en fonction de la densité. Le

Tableau 3 rassemble les résultats des valeurs moyennes des différents retraits avec leur intervalle de confiance à 95%.

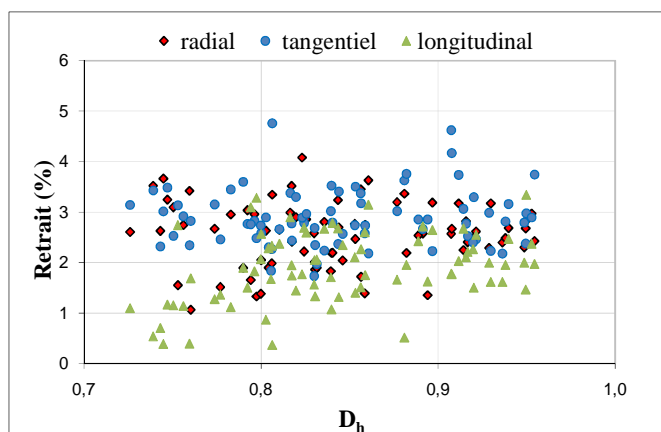


Figure 10: Relation retraits radial, tangentiel et longitudinal / densité du bois de la loupe de thuya.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Intervalle de confiance à 95%
R <sub>R</sub>	1,07	4,08	2,55	0,15
R <sub>T</sub>	1,73	4,76	2,89	0,13
R <sub>L</sub>	0,37	3,34	1,89	0,16
R <sub>V</sub>	5,43	9,46	7,51	0,22

Tableau 3: Valeur minimale, maximale, moyenne et intervalle de confiance à 95% de la moyenne des retraits de la loupe de thuya

Pour étudier les corrélations des retraits radial et tangentiel en fonction de la densité et de la direction (R ou T), nous avons conduit une analyse statistique (modèle linéaire général) sur l’ensemble des retraits radiaux et tangentiels. Le retrait dans le plan transversal, noté R<sub>TR</sub>, s’écrit sous la forme :

$$R_{RT} = a + bD + cD_h + \varepsilon \quad (2)$$

où a, b, et c sont les coefficients de régression linéaire, d la variable direction (de valeur 0 pour la direction R et 1 pour la direction T) et ε l’erreur.

Les résultats de cette analyse, présentés dans le Tableau 4, donnent les valeurs estimées ainsi que la P-value des coefficients de régression de l’équation (2).

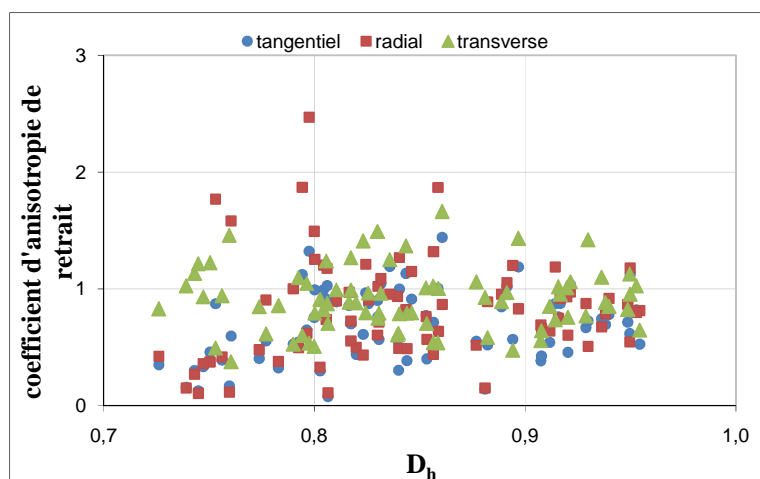
	Coefficient (Variable)	Valeur estimée	P-value (%)
<b>R<sub>TR</sub></b>	a	2,222	0,10%
	b (direction)	0,338	0,06%
	c (densité)	0,389	61,78%

**Tableau 4:** Valeurs estimées et P-value des coefficients de régression entre les retraits transverses et les variables (direction et densité)

Les résultats de cette analyse montrent, d’une part, qu’il n’existe pas de corrélation significative entre les retraits transverses et la densité (P-value > 5%) et d’autre part, que les valeurs des retraits transverses dépendent de la direction radiale ou tangentielle. D’ailleurs, le coefficient d’anisotropie transverse (Tableau 5) de la loupe de thuya n’est pas différent de celui du thuya. En effet, la valeur moyenne du coefficient d’anisotropie transverse du thuya se situe à l’intérieur de l’intervalle de confiance de celui de la loupe de thuya.

La deuxième observation que l’on peut faire à partir de la Figure 10 concerne le retrait longitudinal relativement important comparé à celui du bois en général et du thuya (base de

donnée CIRAD) en particulier pour lequel le retrait longitudinal représente 12% du retrait tangentiel. Pour comparer les anisotropies de retraits entre ceux du thuya et de la loupe de thuya nous avons construit deux autres coefficients d’anisotropie. Le premier « radial » traduit l’anisotropie des retraits dans le plan radial et se calcule comme le rapport de la moyenne du retrait longitudinal sur celle du retrait radial. Le deuxième « tangentiel » traduit l’anisotropie des retraits dans le plan tangentiel et se calcule comme le rapport de la moyenne du retrait longitudinal sur celle du retrait tangentiel. La Figure 11 présente l’évolution de ces coefficients d’anisotropie en fonction de la densité.



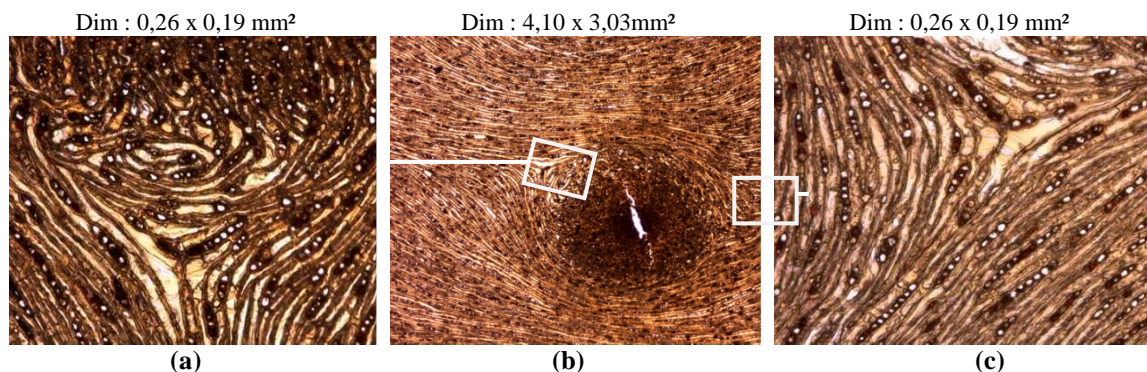
**Figure 11:** Tracé des coefficients d’anisotropie en fonction de la densité du bois de la loupe de thuya.

Coefficient d’anisotropie des retraits	Loupe de thuya		Bois de thuya (base de données CIRAD)
	Moyenne	Intervalle de confiance à 95%	Moyenne
Transverse $\frac{R_R}{R_T}$	<b>0,91</b>	<b>0,07</b>	<b>0,84</b>
Tangentiel $\frac{R_L}{R_T}$	<b>0,69</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>
Radial $\frac{R_L}{R_R}$	<b>0,82</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>

**Tableau 5:** Moyenne et intervalle de confiance à 95% des coefficients d’anisotropie du bois de la loupe de thuya et du bois de thuya.

Les coefficients d'anisotropie tangentiel et radial de la loupe de thuya (Tableau 5), comparés à ceux du bois de thuya, montrent que les retraits dans le bois de la loupe sont beaucoup moins anisotropes que dans le bois de thuya, notamment à cause de la relativement forte valeur de retrait longitudinal observée dans la loupe. Si l'on

associe à ce résultat, la faible anisotropie transverse de la loupe trouvée précédemment, on peut conclure sur le caractère quasi-isotrope des retraits de la loupe de thuya. Ce résultat novateur peut s'expliquer à l'échelle microscopique par l'observation de coupes anatomiques réalisées dans le plan transverse (Figure 12).



**Figure 12:** Vue à l'échelle microscopique dans le plan transverse de 2 zones voisines de l'excroissance.

Les grossissements Figure 12 (a) et (c), réalisés sur des zones, voisines de l'excroissance, localisées sur la Figure 12 (b) par un rectangle blanc montrent des variations angulaires entre cellules importantes pouvant atteindre 90°. Cette distribution des cellules dans le plan transverse se retrouve également dans les autres plans et explique cette quasi-isotropie des retraits identifiée à l'échelle macroscopique.

#### 4. Conclusion

- Les résultats obtenus dans cette étude permettent de classer le bois de la loupe de thuya comme un bois dense, à faible retrait.
- Le bois de la loupe de thuya est plus dense que celui du thuya. Cette différence s'explique par la présence d'excroissances foncées composées de cellules aux parois plus épaisses que celles du thuya.
- L'analyse des données concernant les retraits linéaires montre une faible anisotropie des retraits de la loupe de thuya. Ce résultat, expliqué à l'échelle microscopique, par une orientation très

variable des cellules, préfigure du comportement mécanique proche d'un comportement isotrope pour le bois de la loupe de thuya.

Au cours de ce travail, nous avons déterminé les propriétés physiques de densité et de retraits du bois de la loupe de thuya provenant de Khémisset. Il est sûr que la structure de la loupe de thuya est différente de celle de la structure connue en général pour le bois d'un résineux ou d'un feuillus. L'étape suivante de ce travail consistera donc à étudier les réseaux de symétries matérielles pour qualifier le comportement mécanique du bois de la loupe de thuya afin d'optimiser les paramètres de découpe, d'améliorer le rendement de sciage et de tranchage et de rationaliser ainsi l'utilisation de cette matière première.

#### Remerciements

Une partie du travail s'inscrit dans le cadre du projet PRAD (n°16878 WC-08/08) et de la convention CNRST (Maroc)- CNRS (France) (n° 22626/STIC 03/09). Les auteurs tiennent à remercier Bruno Clair pour sa contribution aux travaux réalisés à l'échelle microscopique.



## Références

- [1] A. Chakir, "Contribution à l'étude de la consommation de bois d'œuvre de thuya par la marqueterie dans la ville d'Essaouira", Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, 1999.
- [2] O. Mhirit, F. Benchekroun, "Les écosystèmes forestiers et periforestiers : situation, enjeux et perspectives pour 2025", p. 411.  
<http://www.rdh50.ma/fr/pdf/contributions/GT8-7.pdf>.
- [3] A. Benabid, "Etude écologique, phytosociologique et sylvopastorale de la tetraclinie de l'Amsittène", Thèse, Université de Droit, Economie et Science, Marseille, France, 1976.
- [4] A. Benabid, "Etude sylvo-pastorale de la tetraclinaie de l'Amsittène (Maroc)", *Ecologie Mediterranea*, n°3, pp.125-132, 1977.
- [5] M. Fennane, M. Barbero, P. Quezel, "Le thuya de berbérie au Maroc: Aperçu phytogéographique et écologique", *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, n°8, pp.115-134, 1984.
- [6] M. Mouna, M. Arahou, "Le thuya de berbérie au Maroc: Aperçu phytogéographique et écologique", *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, n°1, pp.133-142, 1986.
- [7] M. Fennane, "Contribution à l'étude phytosociologique des tetraclinaies marocaines", *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, n°10, pp.57-78, 1986.
- [8] M. Fennane, "Etude phytoécologique des tetraclinaies marocaines", Thèse, Université de Droit, Economie et Science, Marseille, France, 1987.
- [9] A. Zaakour, "Cartographie et étude du comportement du thuya", Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, 1997.
- [10] B. Benabid, M. Fennane, "Ecosystèmes forestiers: structure, beauté et diversité: principales formations forestières" in O. Mhirit, P. Blerot (Eds), *Le grand livre de la forêt marocaine*, Margada, Sprimont, Belgique, pp. 71-93, 1999.
- [11] M.A. Morte, M. Honrubia, "*Tetraclinis articulata* (cartagena cypress), Trees IV", in Y.P.S. Bajaj (Ed.), *Biotechnology in agriculture and forestry*, n°35, pp. 407-423, 1996.
- [12] Z. L. Chabaane, H. Bouafif, A. Khalid, H. Chakroun, R. Caloz, "Télé-détection et analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie dans le massif de Boukornin au sud de Tunis ", *Télé-détection*, 5, n°(1-2-3), pp. 161-181, 2005.
- [13] M. Lmouchter, "Etude des caractéristiques physiques et de séchage artificiel du bois de thuya", Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, 2001.
- [14] Y. Abbas, M. Ducouso, M. Abourouh, R. Azcon, R. Duponnois, "Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters woodlands in Morocco", *Ann. For. Sci.*, 63, pp. 285-291, 2006.
- [15] F.F.P. Kollmann, J. R. W. A. Côte, "Principles of wood Science and Technology", *Solid Wood*, Springer Verlag, pp. 592, 1968.
- [16] R. Keylwerth, "Formänderungen in Holzquerschnitten", *Holz Roh-u, Werkst.* 9, pp. 253-260, 1951.
- [17] J.E. Dakak, "La qualité du bois de thuya de Maghreb (*Tetraclinis articulata*) et ses conditions de développement sur ses principaux sites phytoécologiques de son bloc méridional au Maroc", Thèse Engref, Nancy, France, 2002.
- [18] C. Jacquot, "Atlas d'anatomie des bois des conifères", Centre Technique du bois, Paris, pp. pl. LV, 1955.