
Détermination des principales caractéristiques physiques et mécaniques du sapin blanc du massif central et de l'okoumé du Gabon.

C.F. Pambou Nziengui¹, J. Turesson², B. Odounga², M. Ekevad², R. Moutou Pitti²

¹ Université Clermont Auvergne (UCA), CNRS, Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France, Email : Claude_Feldman.PAMBOU_NZIENGUI@etu.uca.fr, bernard.odounga@etu.uca.fr, mats.ekevad@ltu.se rostand.moutou_pitti@uca.fr, jonas.turesson@ltu.se,

² Luleå University of Technology, Division of Wood Science and Engineering, Department of Engineering Sciences and Mathematics, 1, Forskargatan str., 931 87, Skelleftea, Sweden;

RÉSUMÉ. L'étude suivante, présente sous la base d'une série d'essais réalisés sur des éprouvettes d'essences tempérée (sapin blanc du massif central ou Picea alba Mils) et tropicale (okoumé du Gabon ou Aucoumea Klaineana Pierre...), une base de données de leurs différentes propriétés physiques et mécaniques. Les essais sont réalisés en intérieur à température ambiante, sur des éprouvettes dimensionnées selon la norme française [AFN 06]. Ces éprouvettes, dont les propriétés physiques sont préalablement déterminées, sont chargées en flexion statique 4-points sur une presse électrostatique. Puis grâce à des méthodes de calculs normalisées, une détermination des principaux paramètres mécaniques de ces espèces est effectuée. Pour des densités proches, les résultats des différentes analyses comparatives montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les paramètres mis en valeur, dans cette étude, pour ces différentes espèces malgré la différence de leurs zones de croissances.

ABSTRACT. The following study, shows on the basis of a series of tests carried out on samples of White fir species of the central massif and okume of Gabon, a database of the different physical and mechanical properties of these species. The tests are carried out indoors at room temperature, on specimens sized according to the French standard [AFN 06]. These specimens, whose physical properties are previously determined, are loaded in 4-point static bending on an electrostatic press. Then, using standardized calculation methods, a determination of the main mechanical parameters of these species is made. The results of the various comparative analyzes carried out show that there are no significant differences between the parameters highlighted in this study for these different species despite the difference between their growth areas.

MOTS-CLÉS : Sapin Blanc, Okoumé, Massif central, Essence tropicale, caractérisation physique, caractérisation mécanique

KEY WORDS: White fir, Okume, Massif Centrale, Tropical specie, physical characterization, mechanical characterization

1. Introduction

Prédire le comportement du bois sous sollicitations mécaniques ou environnementales est primordial pour améliorer la conception et la durabilité des structures bois. Cela renvoie notamment à la maîtrise des différentes caractéristiques physiques et mécaniques du bois. Mais cette maîtrise est rendue quasi impossible par la multitude de climats rencontrés à travers le monde qui attribuent à chaque espèce un caractère plus ou moins endémique propre au milieu dans lequel on le retrouve. La mise en exergue de ces caractéristiques permet de classer, dans chaque milieu, ces bois du plus léger au plus lourd. C'est dans cette optique qu'une étude comparative est menée sur deux essences dites légères, une tempérées (l'*Abies Alba Mil*, sapin blanc) et une tropicale (*Aucoumea Klaineana Pierre*, okoumé). L'*Abies Alba Mil* communément appelé sapin blanc est une essence qui pousse dans les milieux tempérés. Elle est de la famille des Pinaceae et est souvent utilisée en structure pour des charpentes lourdes et légères, en lamellé-collé, pour des ossatures, comme pâte à papier ou comme panneaux de fibre, ... [NGU 16]. L'*Aucoumea Klaineana Pierre* communément appelé okoumé, est une essence de la famille des burseraceae et endémique de la région du bassin du Congo. Elle est souvent utilisée en structure, pour l'intérieur des contreplaqués, comme bois de coffrage, comme panneau latté, comme produits finis ou semi-finis ou comme pâte à papier, ... [PAM 17].

L'objectif de ce travail est de mettre sur pied une base de données des principales propriétés physiques et mécaniques de ces deux essences qui, sous la base de l'étude bibliographique menée, présentent une certaine similitude, pouvant se substituer l'un à l'autre au vu de leur utilisation industrielle ou rurale. Les essais sont réalisés en intérieur à température ambiante, sur des éprouvettes de bois dimensionnées selon la norme française [AFN 06]. L'un des objectifs de cette étude, est de montrer, s'il existe ou non, une variabilité significative des caractéristiques mises en valeurs dans cette étude. Le travail consiste entre autre, à déterminer les paramètres physiques et mécaniques intrinsèques à chaque espèce tels que : le Module d'élasticité (MOE) ; la densité (ρ) ; la force maximale à la rupture (F_R) ; ... et de conclure par des analyses rigoureusement effectuées s'il existe des différences significatives entre les propriétés de ces deux essences.

2. Matériel et Méthodes

Deux espèces de bois sont étudiées dans ce travail, le sapin blanc (S) et l'okoumé (O). La figure 1 présente l'ensemble des étapes entreprises durant l'étude. Les essais sont réalisés sur 12 éprouvettes (6 S et 6 O) de bois de dimensions $200 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ (Figure 1a). Après usinage, à l'aide d'un CT-scanner, un scan est effectué sur les éprouvettes afin d'avoir une idée de l'orientation, de la disposition des cernes et des éventuels nœuds sur chaque spécimen (Figure 1b). Puis, les éprouvettes sont introduites dans une chambre climatique réglée à une température de 20°C et une humidité relative de 64,7% pour conditionnement pendant 24h (Figure 1c). Enfin les éprouvettes sont chargées en flexion 4-points, jusqu'à rupture, sur une presse électrostatique (Figure 1d).

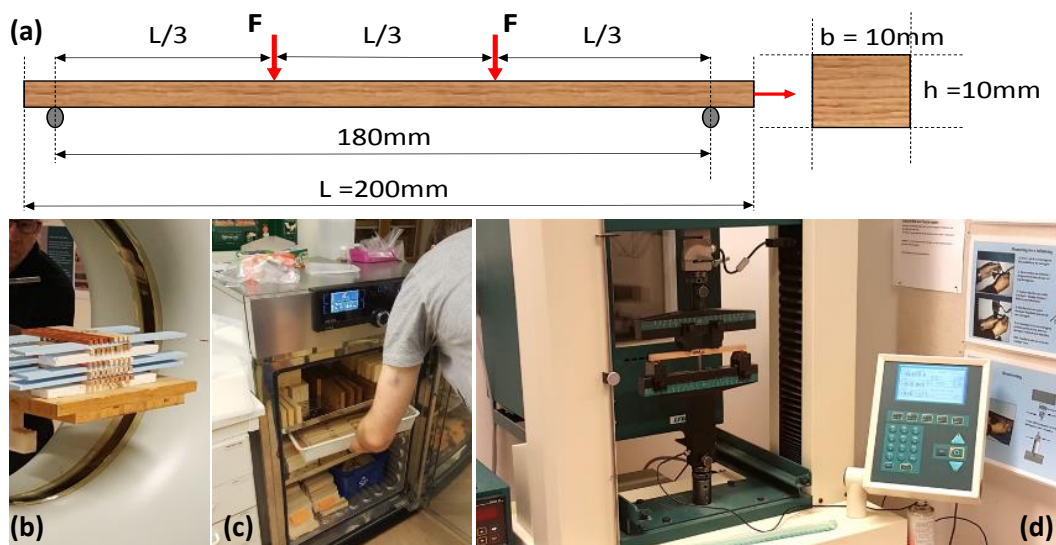


Figure 1. Etapes de caractérisation des éprouvettes de sapin et d'okoumé ; (a) dimensions des éprouvettes ; (b) passage au CT-Scanner ; (c) conditionnement ; (d) essais de flexions 4-points jusqu'à rupture des éprouvettes.

Le tableau 1 présente les caractéristiques physiques et mécaniques des éprouvettes étudiées.

Tableau 1. Caractéristiques physiques et mécaniques des poutres étudiées.

Espèces	Ep	M (g)	b (mm)	Nb	h (mm)	L (mm)	ρ (g/cm ³)	HI (%)	Fr (kN)	MOE (GPa)
Sapin Blanc (S)	S1	8,43	9,71	11	9,66	200,26	0,45	10,82	0,41	9,78
	S2	8,26	9,63	10	9,73	200,31	0,44	10,38	0,29	7,14
	S3	9,31	9,64	7	9,62	200,88	0,50	11,10	0,38	10,19
	S4	8,50	9,77	6	9,70	200,86	0,45	10,63	0,46	10,42
	S5	7,47	9,81	2	9,71	200,80	0,39	10,83	0,37	9,76
	S6	8,28	9,86	2	9,82	200,23	0,43	10,86	0,35	8,65
Okoumé (O)	O1	9,52	9,89	-	9,49	200,15	0,51	11,86	0,46	9,20
	O2	9,33	9,72	-	9,77	200,29	0,49	10,81	0,47	8,68
	O3	10,15	9,89	-	9,80	200,25	0,52	11,26	0,49	9,37
	O4	9,33	9,82	-	9,60	200,4	0,49	11,30	0,39	6,60
	O5	10,02	9,98	-	9,86	200,18	0,51	11,79	0,48	8,39
	O6	10,19	9,89	-	9,61	200,38	0,53	11,57	0,47	8,37

Ep : éprouvettes ; M : masse de l'éprouvette ; b : épaisseur ; Nb : nombre de bois de printemps observable sur une surface ; h : hauteur ; L : longueur totale de l'éprouvette ; ρ : densité ; HI : humidité interne de départ des éprouvettes de bois ; Fr : force à la rupture des éprouvettes testées ; MOE : Module d'élasticité longitudinale de l'éprouvette

3. Résultats

La figure 2 présente les courbes force-déplacement obtenues sur l'ensemble des éprouvettes testées en flexion 4 points. Les modules d'élasticité spécifiques de chaque échantillon figurant dans le tableau 1 sont déterminés de ces courbes grâce à l'équation 1 tirée de la norme française [AFN 06].

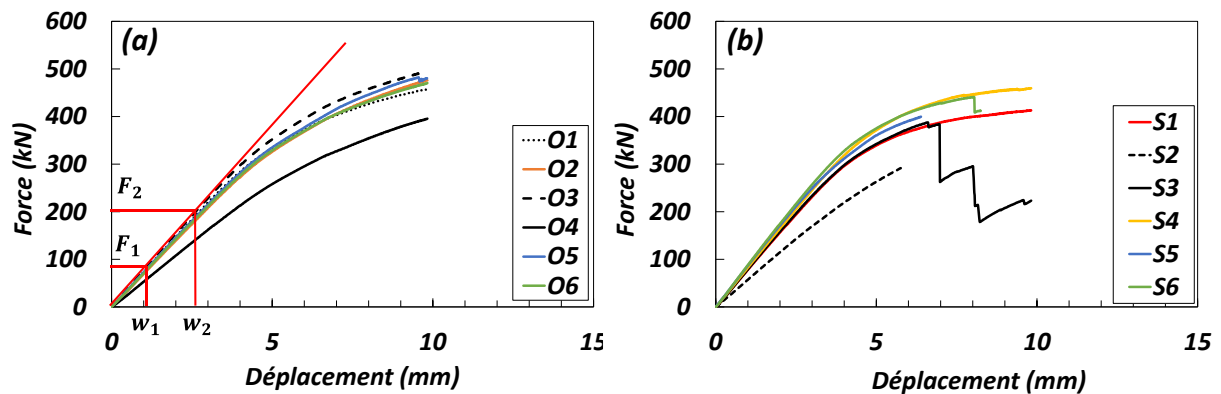


Figure 2. Courbes Force-Déplacement des éprouvettes d'Okoumé (a) et de sapin blanc (b).

$$E = (L/3)^3 \times (F_2 - F_1) / (16I)(W_2 - W_1) \quad [1]$$

Dans cette équation F2-F1 est un accroissement de force sur la ligne de régression et W2-W1 est l'accroissement de flèche en millimètres correspondant (Figure 2) tels que décrit dans la norme [AFN 06].

La figure 3 montre les cartes issues des scans réalisés à l'aide du CT-scan sur les éprouvettes de bois d'okoumé et de sapin blanc. Sur l'espèce S (S1,...S6) la distinction entre bois d'été et bois de printemps est facilement observable, par contre sur les éprouvettes de l'espèce O (O1,...O6), cette distinction est quasiment impossible à réaliser, les bois d'été et de printemps semblent plus compact. On observe aussi une variabilité du nombre de bois d'été (ou de printemps) au sein de la même espèce S. En effet, les 6 éprouvettes de l'espèce S étudiées, peuvent être classées suivant 3 groupes, dont le critère de classement est le nombre de bois de printemps (ou d'été) observable sur la surface scannée (voir tableau 1). Cette variabilité du nombre de bois d'été (ou de printemps), sur une même surface d'étude, pourrait expliquer la variabilité des caractéristiques physico-mécaniques intrinsèques, observable, au sein de la même espèce. Aussi, la différence observable sur la densité

moyenne des deux espèces ($0,44\pm 0,02$ g/cm³ pour l'espèce S et $0,50\pm 0,01$ g/cm³ pour l'espèce O) pourrait être due à la distinction faite entre le bois d'été et le bois de printemps chez l'espèce S, et leur non mise en évidence chez l'espèce O. L'explication logique apportée à la densité plus importante observée chez l'espèce O au détriment de l'espèce S, pourrait s'expliquer par le climat rude (fortes pluviométries 1900mm, humidité relative annuelle 85%, température moyenne annuelle 27°C pour le Gabon par exemple [PAM17]) auquel sont soumis les espèces tropicales, qui présentent des valeurs des paramètres climatiques largement au-dessus de celles présentes dans les zones tempérées.

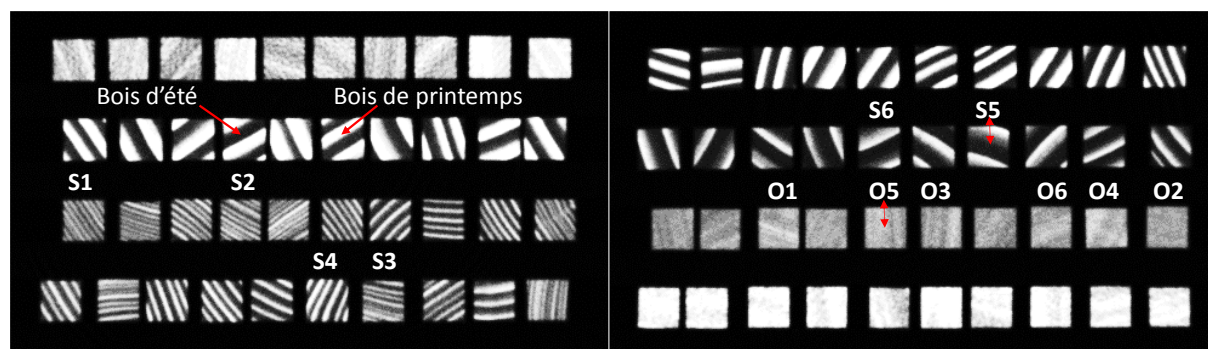


Figure 3. Cartes de la disposition des cernes (bois d'été et bois de printemps) sur les surfaces des poutrelles étudiées.

4. Synthèse

Les résultats obtenus sur la caractérisation physico-mécanique des éprouvettes des deux espèces présentent des paramètres ayant des valeurs quasi-similaires. En effet, les comparaisons effectuées sur les moyennes \pm écart-type des MOE ($9,32\pm 0,82$ GPa pour les éprouvettes de sapin, $8,43\pm 0,55$ GPa pour les éprouvettes d'okoumé) ne montrent pas de grandes différences significatives. Néanmoins, il existe une légère différence des valeurs des densités des deux espèces étudiées ($0,44\pm 0,02$ g/cm³ pour les éprouvettes de sapin, $0,50\pm 0,01$ g/cm³ pour l'okoumé). Cette légère différence pourrait trouver son explication autour de la différence des milieux de croissance des deux espèces. Les essences des milieux tropicaux par exemple (okoumé), sont soumises toute l'année à des conditions climatiques rudes (forte pluviométrie, forte humidité,...), présentent une densité supérieure à ceux des milieux tempérés (sapin blanc). L'exploitation des résultats morphologiques donnés par le CT-scanner donne plus d'informations sur ces deux essences notamment sur la différence observée sur leur densité respective qui semble être étroitement liée à la distinction entre bois d'été et bois de printemps.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'université de Technologie de Luleå à Skellefteå en Suède (Dick Sandberg), notamment la division science bois et ingénierie du département des sciences de l'ingénieur et des mathématiques pour la mise à disposition du matériel d'étude. Les auteurs remercient aussi le Programme TOR de l'Ambassade de France en Suède qui a permis la collaboration initiale mais aussi l'ANR pour le soutien financier de ce travail à travers le projet CLIMBOIS N° ANR-13-JS09-0003-01 labellisé par ViaMeca. Et enfin, les auteurs remercient le CNRS qui a en partie soutenu financièrement ce travail via le projet PEPS "Ingénierie verte" RUMO.

6. Bibliographie

- [AFN 06] AFNOR, NF EN 1995-1-1., « Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois –Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments », Edition AFNOR, 2006.
- [NGU 16] NGUYEN S.L., Modélisation hydromécanique du bois : application au sapin blanc du Massif Central, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand 2, 2016.
- [PAM 17] PAMBOU NZIENGUI, C. F., IKOGOU, S., MOUTOU PITTI, R. (2017). *Impact of cyclic compressive loading and moisture content on the mechanical behavior of Aucoumea Klaineana Pierre*. Wood Material Science & Engineering, 2017, p. 1-7.