



HAL
open science

Le bois, un écomatériaux pour la construction : effets mécaniques et environnementaux

Rostand Moutou Pitti, Claude Feldman Pambou Nziengui, Nicaise Manfoumbi

► To cite this version:

Rostand Moutou Pitti, Claude Feldman Pambou Nziengui, Nicaise Manfoumbi. Le bois, un écomatériaux pour la construction : effets mécaniques et environnementaux. 2ème Conférence sur les Eco-Matériaux en Afrique (CEMA'2021), Nov 2021, Saly, France. hal-04889862

HAL Id: hal-04889862

<https://hal.science/hal-04889862v1>

Submitted on 15 Jan 2025

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.

Le bois, un écomatériaux pour la construction : effets mécaniques et environnementaux

Wood as an ecomaterial for construction : mechanical and environmental effects

Rostand Moutou Pitti^{1,2}, CF. Pambou NZiengui³, N. Manfoumbi³

¹ Université Clermont Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000, Clermont-Ferrand, France. e-mail : rostand.moutou_pitti@uca.fr

² CENAREST, IRT, Bp 14070, Libreville, Gabon

³ Université des Sciences et Technique de Masuku, URMM, BP 941, Franceville Gabon

1. Résumé

Le matériau bois occupe une place de plus en plus importante dans les constructions individuelles, collectives et industrielles au moment où notre environnement est victime des catastrophes écologiques visibles (réchauffement climatique, fonte des glaciers, pollution,...). Toutefois l'efficacité de ce matériau dans cette régulation passe par le maintien soutenu de la durabilité en service des structures bois qu'il compose. Comprendre l'impact combiné des chargements mécaniques et environnementaux permet donc de maximiser sa résistance suite aux effets qu'il subit et de favoriser en conséquence, la durabilité des structures en service.

Dans la littérature, le matériau bois est souvent assimilé à une éponge. En effet, lorsque le bois s'humidifie ses dimensions augmentent et lorsqu'il perd de l'humidité (séchage) ses dimensions diminuent : c'est le phénomène de retrait-gonflement qui peut notamment s'accompagner des fissurations localisées. Ce phénomène est à l'origine des variations dimensionnelles observées dans le temps sur une poutre en structure par exemple. Couplée à un chargement mécanique permanent (fluage) ou variable, cette alternance de comportement peut justement fragiliser à terme la structure au point d'entraîner sa ruine précoce. Pour modéliser le comportement du bois, sous ambiances climatiques variables, il est primordial de connaître ce phénomène.

Pour apporter des réponses à cette problématique, des nombreux travaux sont menés en ce qui concerne le comportement mécanique des structures bois à base d'essence d'origine tropicale ou tempérée utilisées en construction ou en ouvrage d'art (<https://anr.fr/Projet-ANR-13-JS09-0003>). Cette présentation en séance plénière rappelle (i) la présentation du matériau bois en ce qui concerne sa structure macroscopique, (ii) son comportement mécanique, (iii) sa sensibilité à l'environnement ainsi qu'aux (iv) actions couplées du chargement mécanique et des conséquences introduites par les variations répétitives de l'humidité.

Les derniers travaux effectués à Clermont-Ferrand sur le comportement mécanique des structures bois (d'origine tempérées) exposées en extérieurs non abrité et abrités seront présentés [1]. En même temps, quelques travaux effectués sur les structures à base de bois tropicaux exposés aux ambiances tropicales à Franceville au Gabon seront aussi proposés [2]. L'évolution dans le temps des caractéristiques mécaniques de ces poutres soumises aux caprices environnementaux sont présentées afin de constater au final l'impact sur la durée de vie des structures en situation d'usage dans les constructions.

2. Rappel de la structure macroscopique du bois et de l'hygroscopicité

A l'échelle macroscopique, structure du bois visible à l'œil, la coupe transversale d'un tronc d'arbre (Fig. 1 (a)) apparaît comme un matériau continu. L'hétérogénéité du bois se distingue par la présence de différentes zones de l'arbre : (i) l'écorce, (ii) le liber : partie de l'arbre située entre l'écorce et le cambium, assurant la conduction de la sève élaborée, en périphérie des branches vers les racines ; (iii) le cambium : couche de cellules génératrices, responsable de la croissance de l'arbre ; (iv) l'aubier : partie vivante de l'arbre, dans laquelle la sève brute est transportée des racines vers les branches ; (v) le duramen ou bois parfait de l'arbre. Il est constitué, des cellules mortes n'assurant plus leur rôle de transporteur de la sève.

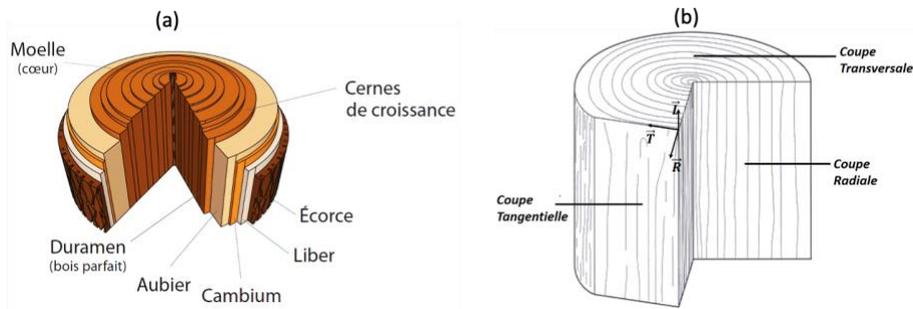


Fig. 1. Coupe transversale (a) et orthotropie local (b) d'un tronc d'arbre

L'idéalisation d'un tronc d'arbre permet de l'assimiler à une symétrie matricielle cylindrique ayant un axe confondu avec celui de la grume. Tout plan radial passant par cet axe est un plan de symétrie matérielle. On admet trois directions orthogonales de symétrie ; Longitudinale, Radiale et Tangentielle notées respectivement L, R et T [3], voir Fig. 1 (b). Un plan est orthotrope lorsqu'il existe, localement, deux plans de symétrie matérielle orthogonaux [3].

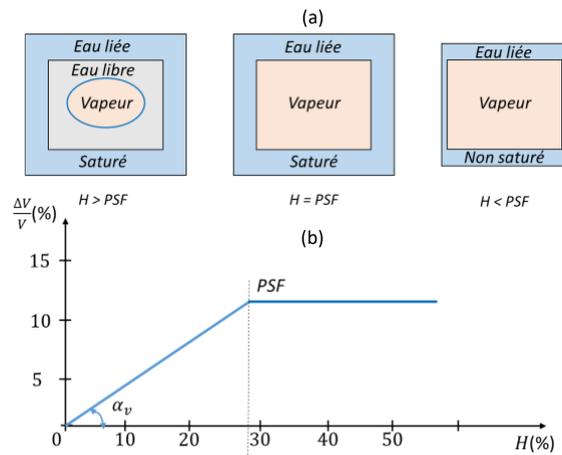


Fig. 2. Eau dans le bois (a) ; Phénomène de retrait-gonflement.

Le bois sur pied contient de l'eau sous trois différentes formes : une eau dite *libre* présente dans les micropores des parois cellulaires et dans les lumens ; une eau dite *vapeur* qui est sous forme gazeuse dans les micropores et les lumens ; et une eau dite *liée* qui est absorbée par les groupes hydroxyles aux sites de sorption correspondant aux ponts d'hydrogènes assurant la liaison entre les groupes hydroxyles du bois. Afin d'avoir une idée de la quantité d'eau présente dans le bois, on utilise l'équation suivante :

$$H(\%) = \frac{M_H - M_0}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

Avec H le taux d'humidité de l'échantillon de bois ; M_H la masse de l'éprouvette à l'humidité H ; M_0 la masse anhydre de l'éprouvette (séchage à 105°C jusqu'à stabilisation de la masse). Par convention et suivant la norme NF :NB 51-004, la masse anhydre est obtenue grâce à un chauffage de l'échantillon à 105°C jusqu'à stabilisation de la masse.

3. Quelques résultats expérimentaux

3.1 Poutres exposées en extérieur non abrité en milieu tempéré

Une série de poutres de Sapin blanc et de Douglas ont subi des essais statiques et ensuite des essais de fluage en flexion 4-points en extérieur non abrité, comme indiqué sur la Fig. 3 [4]. Les dimensions des poutres sont indiquées en Fig. 3 (a) et les configurations de chargement ainsi que les poutres témoins sont proposées en Fig. 3 (c) et (b). Des plaques métalliques en acier ont été placées, respectivement sur et sous les supports des appuis internes et externes du bâti pour éviter d'éventuels écrasements des poutres durant toute la phase d'essai.

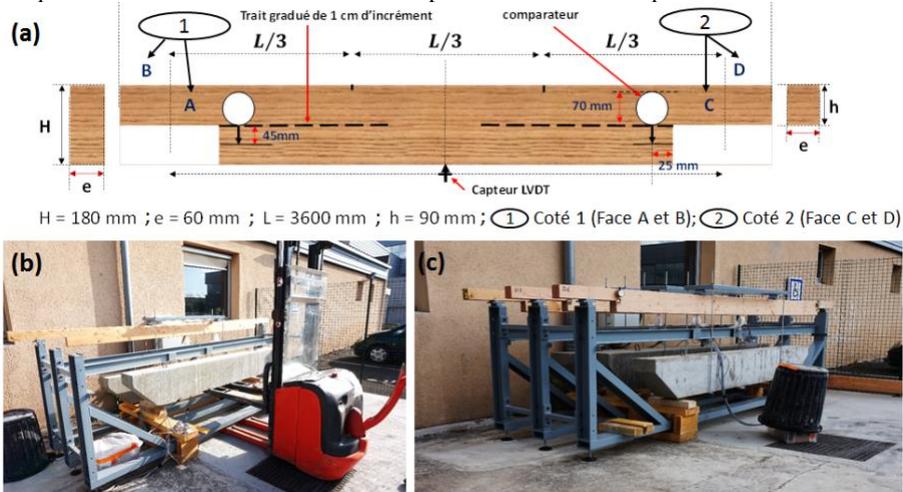


Fig. 3. Dispositif expérimental des essais de fluage en ambiance non contrôlée : (a) Type de PE utilisé ; (b) Mise en place de la charge à l'aide d'un gerbeur ; (c) PE en essais.

Les essais différés, en ambiance non contrôlée, se sont déroulés durant la période allant de Juin 2016 à Août 2018 à Clermont-Ferrand. Compte tenu du nombre limite que peut supporter un bâti (3 poutres maximum), 4 chargements ont été effectués à des périodes distinctes (4 PE de Douglas et 5 PE de Sapin). La flèche relative des poutres est donnée par l'équation suivante :

$$\Delta_r = q \times \frac{U}{U_{in}} \quad (1)$$

Où U est le déplacement total observé, U_{in} le déplacement instantané des poutres et q un facteur correctif de la masse de la poutre (m_b) et de celle de l'équipement (m_e) installé sur les poutres (Fig. 3 (b) et (c)) avant le chargement des blocs de béton conformément à la Fig. 3 (c).

La Fig. 4 présente les évolutions globales des paramètres climatiques en fonction des défauts (longueur et ouverture de fissure) et des flèches des poutres D6, S12, D1 et S6 (D = Douglas, S = Sapin). Pour l'ensemble des poutres testées, on observe lors des périodes sèches (été 2017 et été 2018) des initiations et des propagations de fissures sur la quasi-totalité des coins entaillés des poutres (courbes CL et CO). Notez que pour les grandeurs CL et CO seules les positions ayant atteint des valeurs non nulles, avant la fin du test, sont affichées. De manière générale un séchage est suivi, dans la plupart des cas, d'une initiation et d'une propagation de fissure. Toutes les périodes pour lesquelles les valeurs de HI sont supérieures à 20% correspondaient à de fortes humidifications (pluies) qui perturbaient la mesure, aussi les courbes sont tronquées au-delà de cette valeur. Quelques-unes de ces périodes sont indiquées par les ellipses roses sur la Fig. 4.

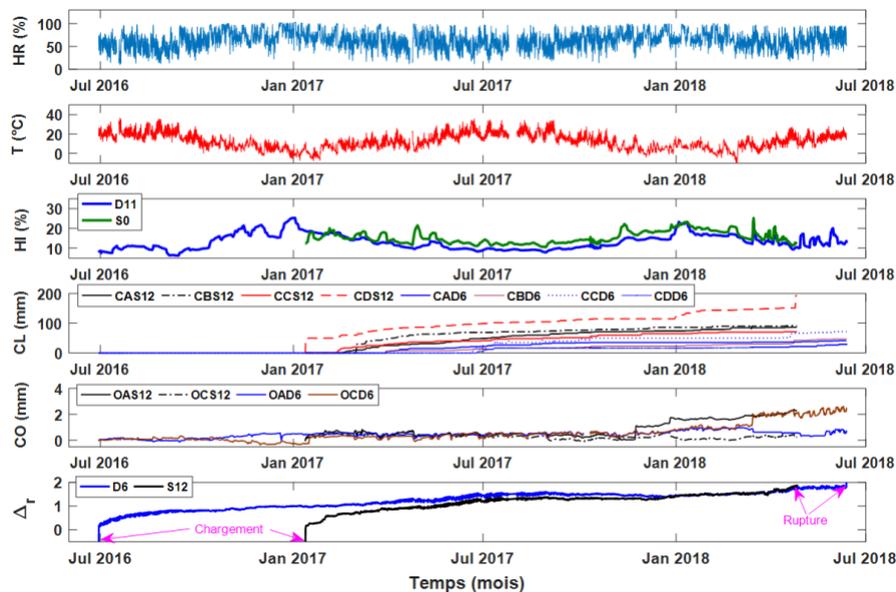


Fig. 4. Évolutions des paramètres mesurés sur les PE D6 et S12 : HR : humidité relative ; T : température ; HI : humidité interne (des poutres témoins) ; CL : longueur de la fissure ; CO : ouverture de la fissure ; r : flèche relative tirée de Eq. 2.7.

3.2 Poutres exposées en trois environnements en milieu tropical

Afin d'évaluer les effets de l'environnement immédiat sur le comportement mécanique à long terme des poutres à base d'essences tropicales, trois environnements ont été considérés [2]. Les essences tropicales sont représentées par trois poutres de Moabi (*Baillonella toxisperma*) et trois poutres d'Ozigo (*Dacryodes buettneri*) (89 x 176 x 3090 mm³) faisant parti des 24 poutres initialement testées dans le cadre de la thèse de Manfoumbi [5], Fig 5. Les trois configurations environnementales, issues des classes de service standard européennes [6] sont : (i) atmosphère climatisée (considéré ici comme la classe 1, Fig. 5a). En effet, le climat équatorial étant chaud et humide, la tendance dans les bâtiments administratifs et dans les maisons est plutôt à la climatisation ; (ii) atmosphère extérieure abritée (considérée dans cette étude comme la classe 2, Fig. 5b) ; et (iii) atmosphère extérieure non abritée (considérée comme la classe 3, Fig. 5c).



Fig. 5. Poutre tropicales exposées en environnement climatisé (a), en environnement extérieur abrité (b) et environnement extérieur non abrité (c).

Conformément au protocole expérimental de la Fig. 5, huit (8) poutres (4 spécimens de Moabi et 4 spécimens d'Ozigo) ont été soumis à un essai de flexion 4 points (charge de fluage). La Fig. 6 présente les évolutions dans le temps des flèches enregistrées sur chaque poutre dans chaque environnement par les capteurs LVDT. On observe qu'il apparaît, à la fin de la deuxième année (environ 700 jours), un début de stabilisation du fluage. Les saisons des pluies sont marquées par une réactivation du fluage (effet mécanosorptif) avec une amplitude dégressive après la première année. Ces résultats montrent en définitive que l'impact cumulé des variations climatiques couplées à un chargement constant a un effet significatif à court ou long terme sur les structures bois quelque soit l'environnement considéré.

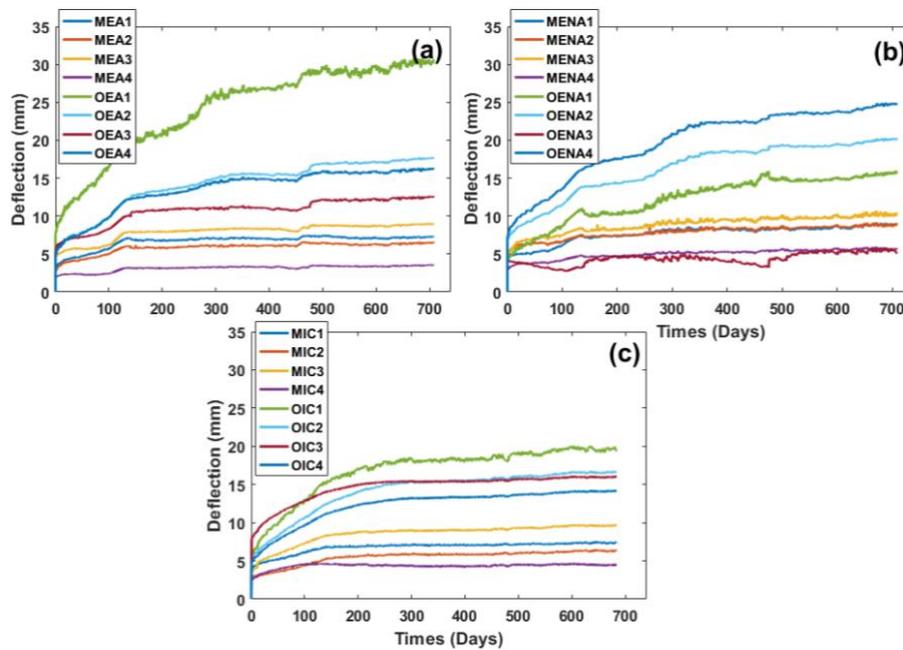


Fig. 6. Évolution en fonction du temps de la flèche des Poutre tropicales exposées en environnement climatisé (a), en environnement extérieur abrité (b) et environnement extérieur non abrité (c).

4. Conclusion

Cette synthèse qui sera présentée en session plénière a pour but d’exposer les travaux passés et récents sur l’effet des changements environnement couplés à un chargement constant ou non sur la durée de vie des structures bois. Dans cette synthèse, seuls les travaux relatifs à des poutres de dimension d’usage évoluant dans les milieux tempérés et tropicaux ont été présentés. Des travaux concernant le comportement mécanique des grumes exposées à l’air libre et symbolisées par des rondelles de bois vert seront aussi présentés. Les tous derniers essais mécaniques en flexion 4 points traitant des poutres structures en extérieur abrité exposées en milieu tempéré non contrôlé avec un nouveau système de monitoring des défauts dans le bois seront aussi exposés. Tous ces travaux visent à montrer le potentiel du matériau et des structures bois pour la construction durable tout en soulignant l’impact des conditions environnementales sur la résistance en situation d’usage dans le domaine de la construction.

Références

- [1] Pambou Nziengui C.F., Moutou Pitti R. Impacts Of Climatic Changes And Creep Loadings On The Cracked Douglas (pseudotsuga Menziesii) Timber Beam In Outdoor Conditions. Timber Structure. Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas., 5(6), 979-984, 2017(b). DOI: 10.2495/CMEM-V5-N6-979-984
 - [2] Manfoumbi, N. Contribution à l’adaptation de l’Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement. Thèse de Doctorat. Limoges, 2012.
 - [3] Moutou Pitti R.. Découplage des modes mixtes de rupture dans les matériaux viscoélastiques orthotropes : modélisation et expérimentation. PhD Thesis, Limoges, 2008. xiii, 12, 13, 17, 18, 31, 33, 35, 36
 - [4] Pambou Nziengui CF. Fissuration du bois en climat variable sous charges de longues durées : applications aux essences européennes et gabonaises. Thèse de doctorat, Clermont-Fd, 2019.
 - [5] CEN, EN 1995-1-1: Eurocode 5: “Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings”, Comité Europeen de Normalisation, Brussel, Belgium, 2009.
-