



**HAL**  
open science

## **Fluage et fissuration de poutrelles entaillées de bois tropicaux et européens en extérieur abrité**

Martian Asseko Ella, Gaël Godi, Rostand Moutou Pitti, Joseph Gril, Laurent Phelippe, Eric Fournely, Claude Feldman Pambou Nziengui

► **To cite this version:**

Martian Asseko Ella, Gaël Godi, Rostand Moutou Pitti, Joseph Gril, Laurent Phelippe, et al.. Fluage et fissuration de poutrelles entaillées de bois tropicaux et européens en extérieur abrité. AUGC, Jun 2019, Nice, France. hal-02116786

**HAL Id: hal-02116786**

**<https://hal.science/hal-02116786>**

Submitted on 21 May 2019

**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.

---

# Fluage et fissuration de poutrelles entaillées de bois tropicaux et européens en extérieur abrité

Martian ASSEKO ELLA<sup>1, 2</sup>, Gaël GODI<sup>1</sup>, Rostand MOUTOU PITTI<sup>1, 3</sup>, Joseph GRIL<sup>1</sup>, Laurent PHELIPPE<sup>1</sup>, Eric FOURNELY<sup>1</sup>, Claude Feldman PAMBOU NZIENGUI<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, SIMA Clermont, Institut Pascal, Clermont Ferrand, France, Clermont-Ferrand, France, [martian.asseko\\_ella@etu.uca.fr](mailto:martian.asseko_ella@etu.uca.fr); [eric.fournely@uca.fr](mailto:eric.fournely@uca.fr); [joseph.gril@uca.fr](mailto:joseph.gril@uca.fr)

<sup>2</sup>Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon ; [claud\\_feldman.pambou\\_nziengui@etu.uca.fr](mailto:claud_feldman.pambou_nziengui@etu.uca.fr)

<sup>3</sup>CENAREST, IRT, Libreville, Gabon ; [rostand.moutou\\_pitti@uca.fr](mailto:rostand.moutou_pitti@uca.fr); [laurent.phelippe@uca.fr](mailto:laurent.phelippe@uca.fr)

---

**RÉSUMÉ.** La présente étude s'intéresse au comportement mécanique de poutrelles de bois tropicaux (*Aucouméa Klaineana*, *Pterocarpus soyauxii*, *Milicia excelsa*) et tempérées (*Abies Alba Mil* et *Pseudotsuga Menziesii*) sollicitées en flexion quatre points en ambiance extérieure abritée. Le protocole expérimental utilisé pour la réalisation de ces essais de fluage est proposé. Les caractéristiques mécaniques reposant sur un calcul de résistance de matériaux (RDM) ainsi que la configuration des poutrelles pour ces essais statiques sont détaillés. Le calcul RDM a permis d'estimer (i) un taux limite de déformation dans le domaine élastique (0,2%) ; (ii) les valeurs des flèches instantanées, et (iii) des forces qui doivent être pris en compte lors des essais de fluage. Compte tenu de ces calculs RDM et de la géométrie des éprouvettes adoptées, les résultats des essais statiques effectués seront comparés aux calculs analytiques donnés par la RDM pour une bonne estimation des paramètres mécaniques à prendre en compte lors des essais long terme en extérieur abrité.

**ABSTRACT.** The present study deals with the mechanical behavior of the tropical (*Aucouméa Klaineana*, *Pterocarpus soyauxii*, *Milicia excelsa*) and temperate (*Abies Alba Mil* and *Pseudotsuga Menziesii*) wooden beams, which are tested on four point bending in sheltered outdoor environments. The experimental protocol used to carry out these creep tests is proposed. The mechanical characteristics based on a Strength of Materials calculation as well as the configuration of the beams for these static tests are detailed. The Strength of Materials (SM) calculation made it possible to estimate (i) a limit rate of strain in the elastic area (0.2%); (ii) the values of the instantaneous deflection; and (iii) loads that must be considered during the creep tests. Taking into account these (SM) calculations and the geometry of the pieces adopted, the results of the static tests carried out will be compared to the analytical calculations given by the (SM) for a good estimation of the mechanical parameters to be taken into account during long-term tests in outdoor environment sheltered.

**MOTS-CLÉS :** fissuration, fluage, bois tropicaux, effets environnementaux.

**KEYWORDS :** cracking, creep, tropical wood, environment effects

---

## 1. Introduction

L'abondance des ressources naturelles de bois au Gabon est un atout économique pour ce pays compte tenu de la diversité des essences tropicales ainsi que leur densité accrue sur le territoire. Parallèlement en France, et notamment en Auvergne Rhône Alpes, le Sapin blanc constitue l'une des essences les plus utilisées dans le secteur de l'industrie de transformation du bois [ASS 18] et offre à terme un potentiel d'emploi indéniable pour la Région.

Les différentes politiques établies par ces pays en vue de la valorisation du bois augmenteront inévitablement la demande et l'utilisation du bois dans le domaine du génie civil (ouvrages et habitations par exemple). Mais malheureusement dans leur utilisation en service, les ouvrages conçus avec ces essences font face à plusieurs sollicitations mécaniques et climatiques dont la combinaison entraîne inévitablement à une dégradation prématurée de ces structures.

Prédire et comprendre le comportement mécanique de ces ouvrages en interaction avec ces sollicitations thermo-hydomécanique reste un vaste domaine d'étude ; et constitue un intérêt particulier pour la communauté scientifique dans le cadre du dimensionnement des structures en bois.

L'étude s'inscrit dans la continuité du travail de [PAM 18]. Son travail est basé sur l'étude de la fissuration et du fluage des poutres entaillées de dimension égales à (3900x180x60 mm). Notre travail est effectué sur des poutrelles entaillées, réduites à une échelle de 6 par rapport aux dimensions des poutres de [PAM18] soit (650x30x10 mm). Compte tenu de cette réduction homothétique des poutres ce travail a pour but de mettre en place une méthode expérimentale fiable afin de réaliser correctement les essais de fluage à long terme. Dans un premier temps cette méthode est analysée par une approche théorique (RDM) et sera par la suite vérifiée expérimentalement par des essais statiques.

## 2. Matériels et méthodes

Le travail est réalisé dans un premier temps sur des essences de bois tropicaux et se poursuivra sur les essences européennes. La caractérisation se fait sur 3 espèces dont l'okoumé le padouk et l'iroko. Dans un premier temps les éprouvettes brutes de (680x40x60 mm) de ces trois essences (Figure 1) ont été ramenées du Gabon à Clermont-Ferrand, puis stockés en milieu extérieur abrité sur le site expérimental après avoir été pesés.

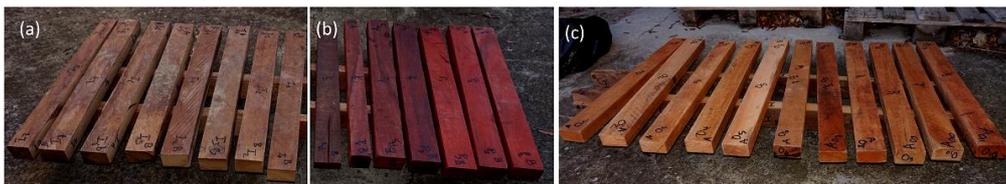


Figure 1.: Poutrelles brutes de essences tropicales ramenées du Gabon ;(a) Iroko (b) ; Padouk (c) ; Okoumé

### 2.1.1. Analyse RDM et validation de la géométrie des éprouvettes

La configuration géométrique des éprouvettes retenues (Figure 2) est similaire à celle des éprouvettes des travaux de [ADJ 15] et de [PAM18] ; qui avaient été entaillées à la moitié de la hauteur ( $H/2$ ) à leurs extrémités. Toutefois avant usinage des poutres brutes (Figure 1), une analyse RDM des valeurs des contraintes dans la zone entaillée ( $Z_1$ ) et la zone non entaillée ( $Z_0$ ) a été faite. Ce qui a permis d'estimer la longueur maximale  $l$  (longueur entre appuis et fond de l'entaille) à ne pas dépasser ; pour que la contrainte donnée par [1] dans la zone ( $Z_0$ ) soit initialement (lors du chargement) plus grande que celle dans la zone ( $Z_1$ ). En ( $Z_1$ ) l'expression de la contrainte est donnée par [3].

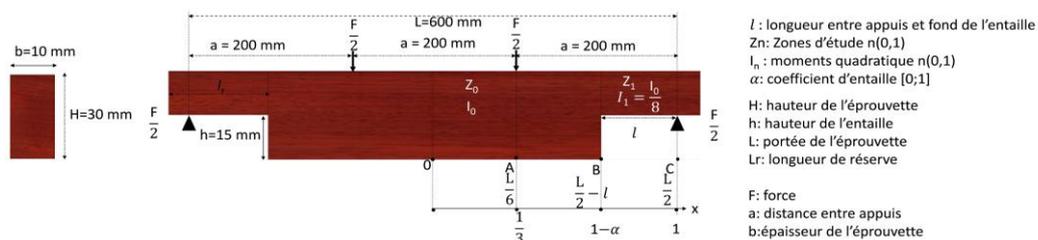


Figure 2. Géométrie des éprouvettes à adopter pour les calculs RDM et la réalisation des essais.

Dans la zone OA l'expression de la contrainte en fonction du moment fléchissant  $M_0$  et  $I_0$  le moment quadratique en ( $Z_0$ ) est défini par [1]:

$$\sigma_0 = M_0 H / 2I_0 \text{ avec } M_0 = FL/6 \text{ et } I_0 = H^3 b / 12 \quad [1]$$

Dans la zone AB l'expression de la contrainte est défini par :

$$\sigma(x)_1 = 3M_0(1-2x/L)/4I_0 \quad [2]$$

Dans la zone BC l'expression de la contrainte est défini par :

$$\sigma(x)_2 = 3M_0(1-2x/L)/I_0 \quad [3]$$

### 2.1.2. Détermination de la longueur entre appuis et fond de l'entaille $l$

Pour déterminer  $l$ , une comparaison des valeurs des contraintes aux bornes ( $B^+$  et  $B^-$ ) du point B a été faite à travers [2] et [3]. Cette comparaison [4] des contraintes en fonction du coefficient d'entaille ( $\alpha = 1 - 2B^\pm/L$ ) a permis de montrer que les contraintes sont plus élevées au voisinage d'un point situé en fond d'entaille  $B^+$ . Les expressions des contraintes en ( $B^+$  et  $B^-$ ) en fonction de ( $\alpha$ ) sont définies en [4].

$$\sigma(B^+) = 3HM_0\alpha/I_0 \text{ et } \sigma(B^-) = 3HM_0\alpha/4I_0 \Rightarrow \sigma(B^-) \pi \sigma(B^+) \quad [4]$$

En partant d'une hypothèse où les contraintes en  $Z_1$  et en  $Z_0$  sont égales ( $\sigma(B^+) = \sigma_0$ ), cela nous a permis de déterminer la valeur du coefficient d'entaille et d'estimer la longueur de  $l$  [8] de la façon suivante :

$$\alpha = 1/6 \Rightarrow l = L/12 = 50mm \quad [5]$$

Ainsi pour une valeur de  $\alpha$  très loin de 1 les contraintes en  $Z_1$  sont inférieures en  $Z_0$

Dans ce cas la condition à respecter pour  $l$  est la suivante :

$$l \leq 50mm \quad [6]$$

Cette équation [6] nous a permis de choisir  $l=38,3$  mm, soit  $Lr=63,3$ mm et de valider la configuration géométrique des éprouvettes présentée par la Figure 3 ci-contre. Ce choix a été fait compte tenu des travaux de [PAM18] avec  $l=230$  mm, ainsi avec la réduction homothétique à une échelle de 6 cette valeur de  $l$  a été divisée par 6.



**Figure 3.** Configuration des éprouvettes à charger à  $l=38,3$ mm avec  $Lr=63,3$ mm (a) ; Padouk (b) Iroko (c) ; Okoumé

### 2.1.3. Estimation théorique des paramètres mécaniques

Afin d'estimer les paramètres mécaniques à prendre en compte pour le chargement, un calcul RDM a été effectué et nous a permis de déterminer les forces [7] et les flèches ( $U$ ) données par [8] à appliquer pour un taux de déformations de 0,2%. Pour déterminer  $U$  nous avons considéré la plus petite valeur de la force obtenue avec les données du Cirad (environ 5,52 daN pour l'Okoumé) Le tableau 1 donne les différentes valeurs obtenues pour une force de 5,5daN. Ces valeurs ont été calculées en fonctions des modules de Young longitudinaux du Cirad ( $E_{LCI}$ ) [CIR11] et de ceux des modules ( $E_{LPAM}$ ) de [PAM 18].

Finalement, l'expression de la force est donnée par [11], sous la forme suivante :

$$F = \xi b E H^2 \varepsilon / L \quad [7]$$

Avec  $E$  le module de Young et  $\xi$  une constante obtenue par application numérique  $\xi = L/(6(L-2l))=0,19$ . L'expression de  $U$  en fonction de ( $\alpha$ ) est traduite par la relation ci-contre [12] :

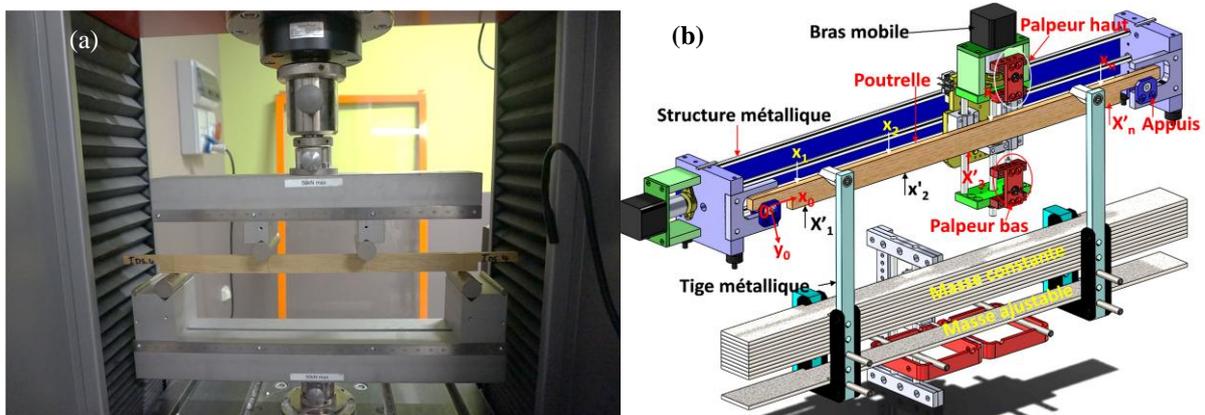
$$U = (23/108) \times (FL^3 / EbH^3) \times (1 + 189\alpha^3 / 23) \quad [8]$$

**Tableau 1.** Estimation RDM des forces à appliquer à 0,2% de  $\epsilon$  et des flèches instantanées pour  $F=55N$ .

Essences	$E_{LCI}$ (Mpa)	F (daN)	$U_{CI}$ (mm)	$E_{LPAM}$ (Mpa)	F (daN)	$U_{PAM}$ (mm)
Padouk	15 870	9,05	0,60	10 720	6,11	0,89
Iroko	12 840	7,32	0,74	10 560	6,02	0,90
Okoumé	9 690	5,52	0,98	7 600	4,33	1,25

#### 2.1.4. Essais statiques de caractérisations et dispositif expérimental pour les essais de fluage

Des essais statiques en flexion 4 points sur une presse Zwick/Roell (Figure 4a) seront effectués sur des éprouvettes jusqu'à la rupture selon la configuration des éprouvettes de la Figure 3. Les résultats issus de ces essais nous permettront d'estimer avec fiabilité les valeurs des contraintes, et des forces à prendre en compte pour les essais de fluage. Ces essais nous permettront aussi de mieux estimer le taux de déformation des poutrelles.



**Figure 4.** Dispositif expérimental : (a) presse pour essais statique ; (b) dispositif pour essais de fluage.

Pour les essais de fluage à venir, le dispositif expérimental en cours de finalisation est un banc d'essai de fluage en flexion 4 points. Il est composé de plusieurs bras mobiles automatisés. La Figure 4b présente un des bras mobiles. Ce bras est fixé sur une structure métallique qui sert également de support à la poutrelle en charge. La poutrelle sera sollicitée par une masse constante soutenue par deux tiges métalliques, une masse ajustable est prévue sur le dispositif également. Le bras est équipé de deux palpeurs (haut et bas). Par rapport à un point d'origine  $(x_0, y_0)$  pris sur les appuis extérieurs, ces palpeurs mesureront à intervalles réguliers le profil de déformation de la poutre. Le profil de la poutre sur des points fixes  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  et  $(X'_1, X'_2, \dots, X'_n)$  sera défini par des coordonnées  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$  et  $(y'_1, y'_2, \dots, y'_n)$  respectivement par le palpeur du haut et celui du bas. Ces différentes informations seront relevées automatiquement chaque heure et nous permettront de quantifier les ouvertures des fissures, les flèches, ainsi que le retrait et gonflement de la poutrelle en charge.

### 3. Bibliographie

- [ASS 18] ASSEKO ELLA M. Mise en évidence de l'impact des variations climatiques sur la durée de vie des poutres entaillées de sapin (*albies alba Mil*) et de douglas (*Pseudotsuga Menziesii*) : étude expérimentale, Mémoire de Master, Ecole nationale des eaux et forêts, 2018.
- [ADJ 15] ADJOVI LOKO R. S. Fissuration des éléments en bois sous sollicitations hydriques, Mémoire de Master, Université de Limoges, 2015.
- [PAM 18] PAMBOU NZIENGUI C.F, MOUTOU PITTI R, FOURNELY E, GRILL J, GODI G, IKOGOU S, « Notched-beam creep of Douglas fir and white fir in outdoor conditions: Experimental study », *Construction and Building Materials*, p 659-671, 2018
- [CIR 11] CIRAD TROPIX, *fiche des essences d'iroko, d'okoumé et de padouk*, 2011, p. 1-4.