

Méthode optique de mesures des grandeurs physiques d'un essai de fluage

BONTEMPS Arthur¹, GODI Gael¹, MOUTOU PITTI Rostand^{1,2}, FOURNELY Eric¹,
GRIL Joseph^{1,3}

¹ Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, F-63000
Clermont Ferrand, France

² CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

³ Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont–Ferrand, France
arthur.bontemps@uca.fr

Mots clés : Fissuration ; analyse d'image ; essai de fluage ; essai de flexion

Contexte et objectifs

La compréhension du comportement thermo-hygro-viscoélastique du matériau bois pour l'industrie de la filière est cruciale : fiabilité des charpentes, séchage optimisé, lutherie, etc. Ce sujet a été largement étudié depuis le début des sciences du bois. Il rend compte de phénomènes divers et complexes dont l'effet mécanosorptif, le vieillissement physique, le couplage entre la mécanique de la rupture et la température. Cependant, c'est majoritairement le comportement du bois dans le domaine hygrosopique qui a été étudié, étant donné que le séchage est quasiment systématique avant utilisation. L'étude présentée rentre dans le cadre d'une thèse dont le but est d'étudier le comportement du sapin pectiné vert ou partiellement séché afin de déterminer de nouvelles solutions technologiques s'affranchissant du séchage. Pour cela, des essais de fluage sur des poutres entaillées en bois de sapin pectiné partiellement séché et en environnement extérieur abrité seront réalisés. Les paramètres suivis seront : ouverture et longueur de fissure, flèche centrale et courbure, retrait-gonflement et teneur en eau d'équilibre. Une méthode optique est en cours de développement avec comme objectif de mesurer rapidement, à bas coût et de façon répétable des grandeurs macroscopiques à partir de l'analyse de photographies. Ce résumé et le poster associé présentent les travaux menés pour explorer et tenter de valider cette méthode.

Matériel et méthode

La méthode optique :

Elle consiste en des analyses d'images contenant des marqueurs « ArUco ». Ces marqueurs sont des carrés semblables à des QR codes, majoritairement utilisés en réalité augmentée (Fig. 1)

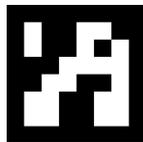


Fig. 1 : Illustration d'un marqueur ArUco

En imprimant puis collant plusieurs marqueurs le long d'une poutre subissant un déplacement, il est possible de suivre l'évolution de leur position sur une succession de photos. Plusieurs étapes sont nécessaires :

- La caméra utilisée doit être calibrée : une série de photos d'un damier régulier permet de déduire sa matrice de calibration. Les photos contenant les distances à mesurer sont ensuite corrigées par la calibration.

- Un script utilisant la librairie d'analyse d'image « OpenCV » analyse la photo contenant les distances à mesurer : il identifie les marqueurs présents et détermine leur position dans le domaine de la photo (pixels).
- En fournissant au programme la position physique (millimètres) de certains marqueurs, celui-ci détermine une matrice d'homographie. Cette matrice d'homographie correspond à la matrice de passage entre les positions virtuelles (pixels) et les positions physiques (millimètres) recherchées. Les marqueurs dont la position est connue forment en quelque sorte une échelle sur la photo, qu'on appelle dans ce cas une « mire ». A partir de cette matrice, la position de tous les marqueurs est calculée.
- Les positions physiques de chaque marqueur permettent de déterminer la distance entre chacun d'entre eux.

L'avantage de cette démarche est de pouvoir calculer la même distance quelle que soit la position de la caméra, tant que les marqueurs sont identifiables.

Premiers tests :

D'abord, une série de photos contenant des marqueurs ArUco sur une feuille blanche a été prise pour vérifier que les mesures correspondent bien aux distances sur la feuille en question. Chaque photo contenait une mire de référence et deux marqueurs dont la position était inconnue. Pour plus de représentativité, des photos ont été prises des jours nuageux (avec peu de luminosité) et des photos lors de journées ensoleillées. Différentes conditions d'essai sont expérimentées comme illustré sur les Fig. 2, 3 et 4. Dans chaque cas, Les marqueurs 10, 11, 12, 13 forment la mire et les marqueurs 1 et 2 sont de position inconnue.

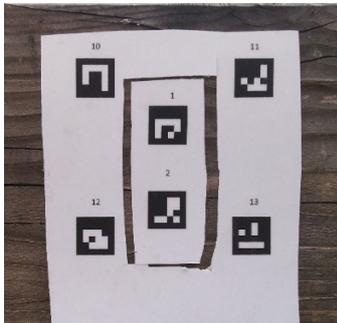


Fig. 2 : mires et marqueurs dans le même plan et sans inclinaison.

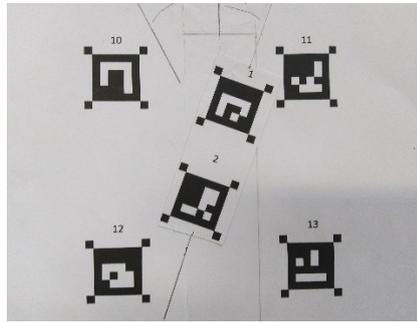


Fig. 3 : les marqueurs 1 et 2 sont inclinés par rapport à la mire

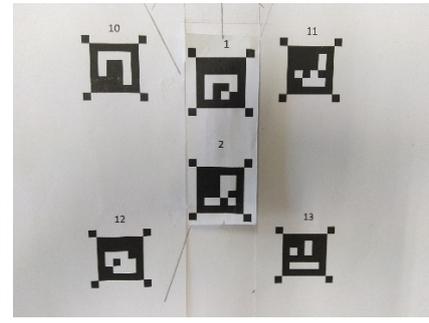


Fig. 4 : les marqueurs 1 et 2 sont dans un plan décalé de 5mm par rapport au plan de la mire.

Essai de validation :

Un essai de flexion quatre points sur une poutre entaillée contenant des marqueurs a été réalisé. L'idée est de simuler les essais de fluage longue durée (ceux en préparation) en remplaçant l'effet du temps par un déplacement imposé jusqu'à rupture. Des marqueurs étaient placés : (i) au niveau de l'entaille et le long de la poutre pour évaluer l'ouverture et la longueur de fissure, (ii) au centre pour évaluer la courbure.

Conditions de l'essai :

L'essai était piloté en déplacement. Les poutres utilisées sont de mêmes dimensions que celle de Pambou Nziengui (2019). Le montage expérimental est représenté en Fig. 5.

Afin d'éviter le poinçonnement, des plaques d'appuis de dimension 70*60*2 mm ont été utilisées.

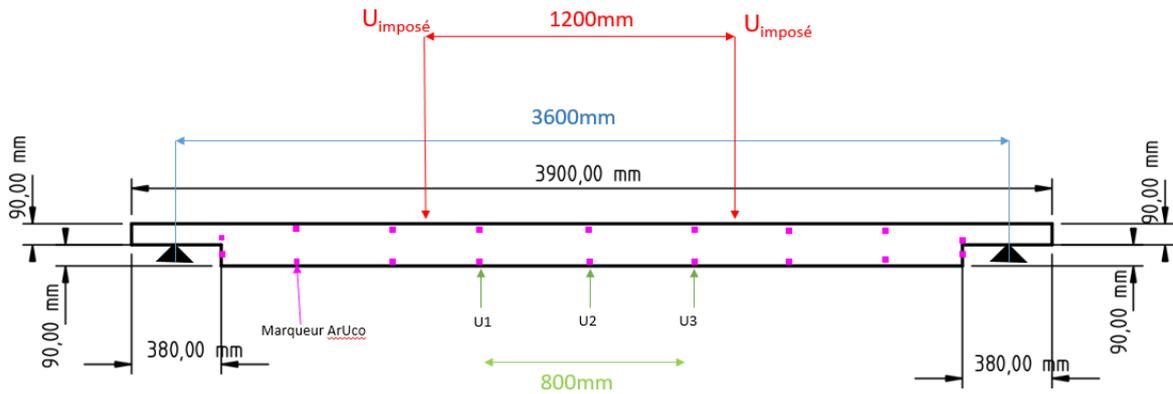


Fig. 5 : Montage expérimental de la poutre entaillée prochainement testée.

Deux mires sont utilisées : une mire « fer à cheval » en aluminium pour l'ouverture de fissure et la courbure ; puis une mire « à fente » en acier pour la longueur de fissure. La mire à fente glisse le long de la poutre et permet de se placer en pointe de fissure (visuellement, via la fente) pour mesurer sa longueur. Elles sont représentées en Fig. 6 et 7.

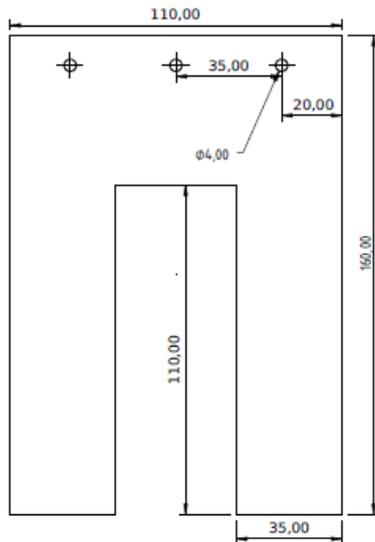


Fig.5 : Dimensions de la mire « fer à cheval »

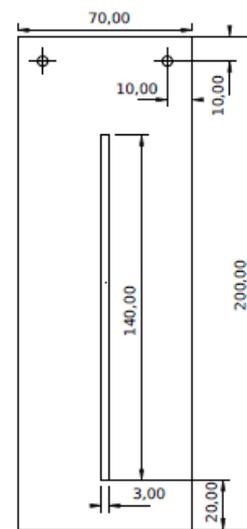


Fig.6 : Dimensions de la mire « à fente »

Enfin, pour comparer les résultats issus des analyses d'image, 3 capteurs LVDT (placés respectivement en U1, U2 et U3 sur la Fig. 5) étaient utilisés pour la mesure de courbure, les mesures d'ouverture et de longueur de fissure étaient quant à elles évaluées au réglet.

Premiers résultats

La série de photos sur feuille a permis d'estimer la précision de la méthode avec l'appareil photo d'un téléphone portable et avec un Canon EOS-1D Mark II. Les résultats montrent que :

- l'angle des marqueurs par rapport à la mire ne pose aucun problème.
- la position de la caméra, tant que les marqueurs sont identifiables, ne pose pas de problème.
- le décalage dans le plan de la mire nuit considérablement à la qualité des mesures. Par conséquent, il sera primordial que tous les marqueurs soient dans le même plan lors d'une photo.

Table 1 : Résultats des tests de photo sur feuille blanche

	Moyenne des mesures de distance sur 61 photos (distance vraie : 40mm)	Ecart-type sur 61 photos	Incertitude à 95% = 2*écart-type
Asus X00TD	39.56 mm	0.0498 mm	0.0995 mm
Canon EOS-1D Mark II	40.014mm	0.0274mm	0.054mm

Les résultats de l'essai de flexion montrent :

- Une efficacité satisfaisante dans le cas des mesures d'ouverture et de longueur de fissure. Les marqueurs sont bien identifiés et les mesures de distances coïncident avec celles faites au réglet.
- Une mauvaise efficacité de la mesure de courbure. Le problème principal concerne l'identification des marqueurs. Ces derniers étant espacés de 50cm chacun, une photo les contenant tous les trois impose d'éloigner l'appareil photo et rend les marqueurs non identifiables. Par ailleurs les valeurs numériques sont légèrement différentes de celles obtenues avec les capteurs LVDT.
- Une nette supériorité de la qualité photo du Canon sur le téléphone portable Asus.

Conclusion et perspectives

D'après les premiers résultats de la méthode, il est possible d'anticiper que :

- La méthode de mesure optique devrait permettre de mesurer les retrait-gonflements journaliers. En effet, en se basant sur les coefficients de retrait-gonflement du sapin pectiné : $\alpha_R=0,19$ et $\alpha_T=0,37\%/%$ (Guitard 1987) sur des poutres de section 180*60 mm, une variation de teneur en eau de 1% implique une variation de hauteur d'environ 0.34 mm. L'incertitude à 95% estimée à 0.054mm est environ 6 fois plus petite. Les variations saisonnières, plus importantes, seront efficacement obtenues.
- Les déformations longitudinales de la poutre seront probablement hors de portée de la méthode. Ceci pourra être confirmé par l'essai de flexion quatre points.
- La flèche centrale serait efficacement mesurée par la méthode mais pour des raisons pratiques sera plutôt évaluée par un capteur LVDT.
- L'application de la méthode à la mesure de courbure sera de nouveau essayée mais en rapprochant les marqueurs entre eux (afin d'approcher l'appareil photo).

Remerciements

Les auteurs remercient la Région Auvergne Rhône Alpes pour le financement de la thèse via le CPER ainsi que l'UCA pour le chèque recherche innovation du programme Hub Innovergne du CAP 20-25.

Références

- Guitard D. (1987) Mécanique du matériau bois et composites. Cépaduès. 16, 17, 52,54
- Pambou Nziengui C.F., Moutou Pitti R., Gril J. Fournely E., Godi G., Ikogou S. (2019) Notched-beam creep of Douglas fir and white fir in outdoor conditions: Experimental study. Construction Material and Building. Vol 196, 659-671.
- NF EN 408+A1 (2012) Structures en bois – bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.