

Impact couplé des essais de fluage et des conditions climatiques sur des poutres entaillées de *Pseudotsuga Menziesii* et *Abies Alba Mil*

C.F. PAMBOU NZIENGUI^{1,2}, R. MOUTOU PITT², E. FOURNELY²,
G. GODI², N. ANGELLIER³, F. DUBOIS³,

1. ENEF, BP : 3960 Libreville, Gabon, pclaudefeldman@gmail.com

2. UCA , Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont Ferrand, France

3. Unilim , GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons, France

Résumé :

*Des essais de fluage (flexion 4 points) ont été réalisés, en climat variable, sur des poutres entaillées de *Pseudotsuga Menziesii* (Douglas) et de *Abies Alba Mil* (Sapin Blanc) dimensionnées de façon à mettre en oeuvre les modes de ruptures associés à la problématique des poutres entaillées. Ces essais différés ont pour objectif de mettre en évidence l'impact des variations climatiques sur le comportement mécanique des structures en bois. Le protocole expérimental prend en compte les effets couplés des variations climatiques et du chargement différé. Pour toutes les poutres testées, les résultats montrent un impact certain et différé des paramètres climatiques (Température T, Humidité Relative HR) sur l'évolution des flèches des poutres de bois testées jusqu'à leur rupture.*

Abstract :

*Creep tests (4-points bending) were carried out, in an uncontrolled environment, on notched beams of *Pseudotsuga Menziesii* (Douglas fir) and *Abies Alba Mil* (White fir) designed in order to implement the failure modes associated with the problem of the notched beams. These deferred tests objective to highlight the impact of climatic variations on the mechanical behavior of wood structures. The experimental protocol, takes into account the coupled effects of climatic variations and deferred loading. For all the beams tested, the results show an effective impact of the climatic parameters (Temperature T, Relative humidity RH) on the evolution of the deflections of the wooden beams tested until their rupture.*

Mots clefs : Fluage, Bois européens, Variations climatiques, Poutres entaillées

1 Introduction

Appréhender le comportement mécanique du bois sous l'effet des variations climatiques est primordial pour améliorer la conception des structures. Dans ce contexte, les essais de fluages en climats variables

apparaissent comme des essais appropriés pour pouvoir comprendre les impacts couplés des chargements différés et des variations climatiques.

L'étude présente des essais différés (fluage) sur des poutres entaillées de *Pseudotsuga Menziessi* (PM) et *Abies Alba Mil* (AAM), dimensionnées de façon à mettre en oeuvre les modes de ruptures associés à la problématique des poutres entaillées. Les essais sont réalisés dans un climat extérieur non contrôlé. L'étude bibliographique montre que le comportement mécanique du bois à court ou à long terme dépend de l'état hydrique dans lequel il se trouve [2-3-5-7], de l'intensité de son chargement [1-6-7], de sa durée de chargement [4-5-8], ... L'objectif est donc de pouvoir mettre en évidence, s'il existe, l'impact des variations climatiques sur la durée de vie des structures en bois. Le but à long terme est de proposer, à partir des résultats expérimentaux obtenus et présentés ici, un modèle prédictif, numérique sur le logiciel CAST3M, du comportement mécanique de ces espèces en climat variable couplé à l'intensité du chargement.

Pour ce faire, un protocole expérimental a été mis en place, il s'applique sur des poutres entaillées de PM et de AAM chargées en flexion 4 points dont l'évolution de la flèche dans le temps est mesurée de manière continue, jusqu'à la rupture. Dans la première partie de ce travail un descriptif du matériel et des méthodes utilisés est présenté, puis une présentation des résultats obtenus jusqu'à présent et leur interprétation sont effectuées.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Matériel

La mise en place du dispositif d'étude est conditionnée par une préparation du matériel constituant le protocole expérimental. Les poutres sont au préalable sélectionnées (Figure 1a) et codifiées (Figure 1b). Toutes les Poutres de PM et AAM sont codifiées respectivement D_{ij} et S_{ij} , avec $i \in [1;13]$ et $j \in [A;B;C;D]$, où i représente le numéro de la poutre, j ses faces (Figure 1b). Le dispositif expérimental des résultats qui sont présentés dans ce travail est constitué d'un bâti, de 3 poutres entaillées de PM (D9 et D3) et de AAM (S5) dimensionnées selon des critères normatifs (Figure 1b), 3 lests en béton, 6 comparateurs et 3 capteurs LVDT (Figure 2). Les essais sont réalisés dans un espace aménagé, à l'abri de quelconques perturbations humaines ou animales, dans un milieu où les variations climatiques ne sont pas contrôlées mais mesurées (Figure 2).

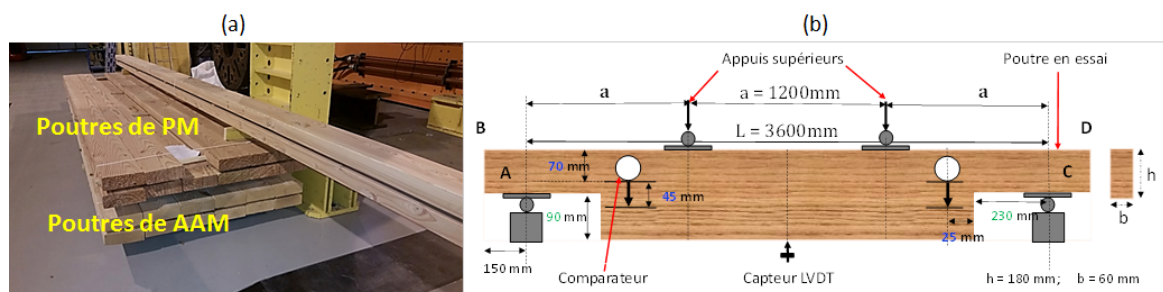


FIGURE 1 – Poutres de PM et de AAM non dimensionnées (a) ; Dimensions de la poutre entaillée (b)

2.2 Méthodes

La figure 2 montre le dispositif expérimental des poutres entaillées de PM et AAM en essai de fluage après un chargement. Après cette phase, une transmission continue (toutes les 2 secondes) des données de

l'évolution de la flèche est effectuée par les capteurs LVDT vers un poste de traitement des données. Un relevé quotidien des comparateurs (Figure 1b) permet de suivre l'évolution de l'ouverture (gonflement) et de la fermeture (retrait) des poutres. Le centre de traitement météorologique de l'Université Blaise Pascal envoie quotidiennement l'évolution des paramètres climatiques du milieu (Humidité Relative HR, Température T).



FIGURE 2 – Comparateur (a) ; Capteur LVDT (b) ; Poutres en fluage (c)

Les essais présentés dans ce travail ont été réalisés sur la période allant du 24 juin 2016 au 23 juillet 2016 (Du 24 juin au 23 juillet 2016 pour la poutre D9 ; Du 29 juin 2016 au 05 juillet 2016 pour la poutre D3 ; Du 12 juillet au 17 juillet 2016 pour la poutre S5). La figure 3 montre l'évolution des paramètres HR et T tout au long de ces périodes. Cette figure met en évidence le lien qui existe entre HR et T. En effet, l'évolution des deux paramètres dans le temps, montre que lorsque T augmente HR diminue (T diminue , HR augmente). Selon cette observation, tout au long de ce travail nous allons considérer T comme étant une variable d'ajustement afin de décrire l'impact des paramètres T et HR sur la durée de vie de la structure.

Le tableau 1 présente les valeurs représentatives des paramètres climatiques T et HR tout au long des périodes d'essais de chaque poutre testée.

TABLE 1 – Valeurs (Moy, Min,...) des paramètres HR et T durant la période de test de chaque poutre

	D9		D3		S5	
	T(°C)	HR(%)	T(°C)	HR(%)	T(°C)	HR(%)
Minimale	10,90	9,80	12,00	31,50	10,90	18,20
Médiane	20,10	54,90	19,90	58,00	16,50	49,60
Moyenne	21,60	53,48	20,25	57,08	17,68	48,97
Maximale	36,70	97,60	28,20	80,60	34,80	89,30

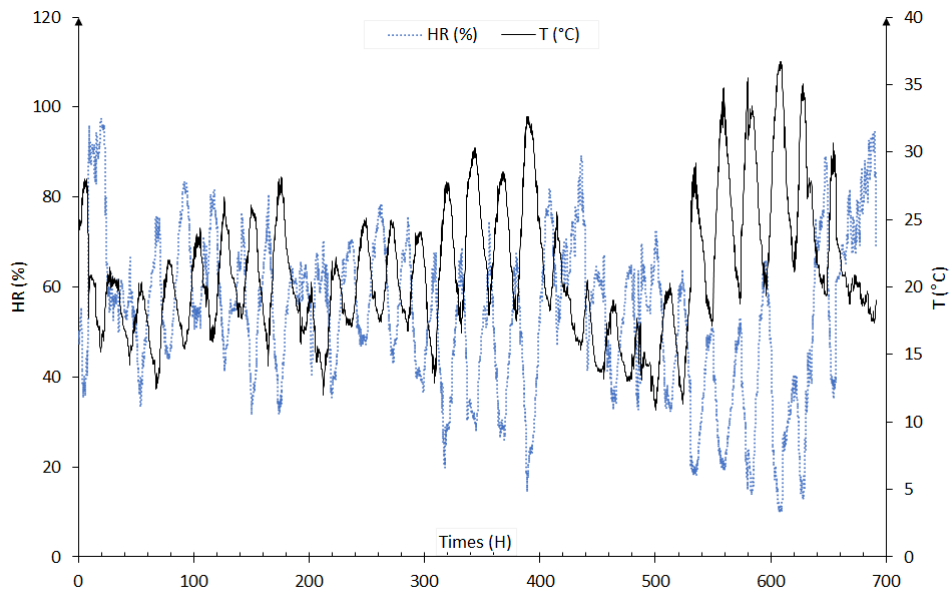


FIGURE 3 – Evolution des paramètres climatiques HR et T durant la période d'essai

3 Résultats

La figure 4a montre l'évolution de la flèche de la poutre D9 dans le temps, en fonction de T (HR), du début du chargement à sa rupture. Pour chaque cycle thermique (élévation et diminution de la température), il y a une perturbation sur l'évolution de la flèche, entraînant une augmentation de sa déformée (D_0 à $D_0 + D_n$).

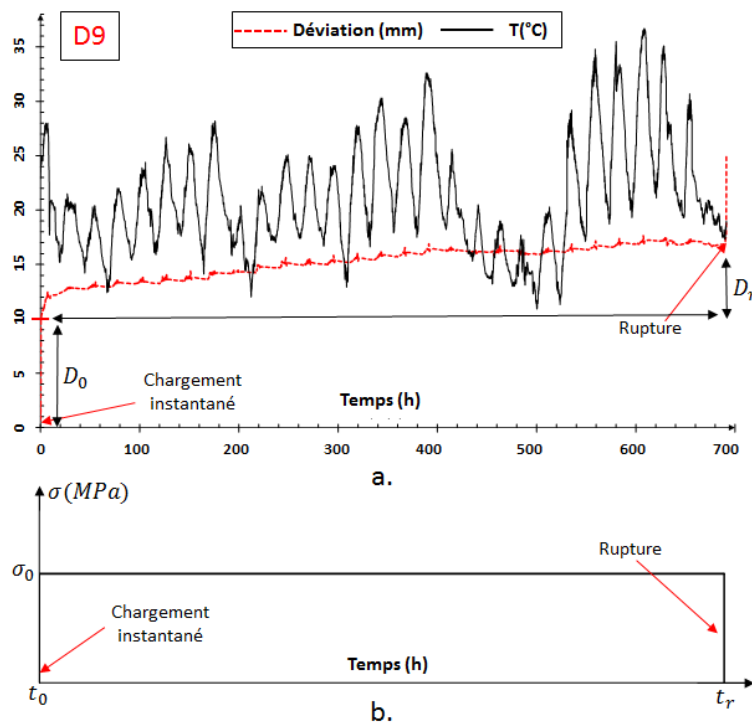


FIGURE 4 – Essai de fluage de la Poutre D9

Les pics d'évolution des cycles thermiques (hydriques) et ceux des cycles d'évolution de la flèche, présentent la même évolution, sur la base de cette observation il semble qu'il y ait un lien entre T (HR) et la flèche du matériau. Sur des périodes plus réduites d'autres essais de fluages ont été réalisés sur des poutres de PM (D3) et de AAM (S5). Les figures 5 et 6 montrent les résultats obtenus lors de ces essais. La courbe de la figure 5 montre qu'il y a un impact de T (HR) sur l'évolution de la flèche de la poutre D3. Cette observation vient conforter le résultat admis précédemment sur l'évolution de la flèche de D9. Outre l'impact certain de T (HR) observé sur cette figure, une autre information est tirée de l'évolution de la flèche de D3. En effet, la figure 5 montre que l'influence de T (HR) sur la flèche de D3 est différée. L'augmentation de la flèche se modifie après un temps τ_i pendant lequel la température T (HR diminue) évolue (Figure 5). Il existe donc un seuil T_c ($HR(c)$), fonction de τ_c (temps d'évolution nécessaire de la température T (HR) pour qu'il y ait une incidence sur l'évolution de la flèche D_i), de la température pour lequel la flèche de la poutre se modifie.

La mesure du temps d'évolution nécessaire (τ_c) de la température T , pour qu'il y ait une incidence sur l'évolution de la flèche est établi suivant un critère bien spécifique. Le début est compté à l'instant où T amorce sa phase ascendante et la fin à l'instant où la flèche amorce sa phase ascendante (Figures 5 et 6).

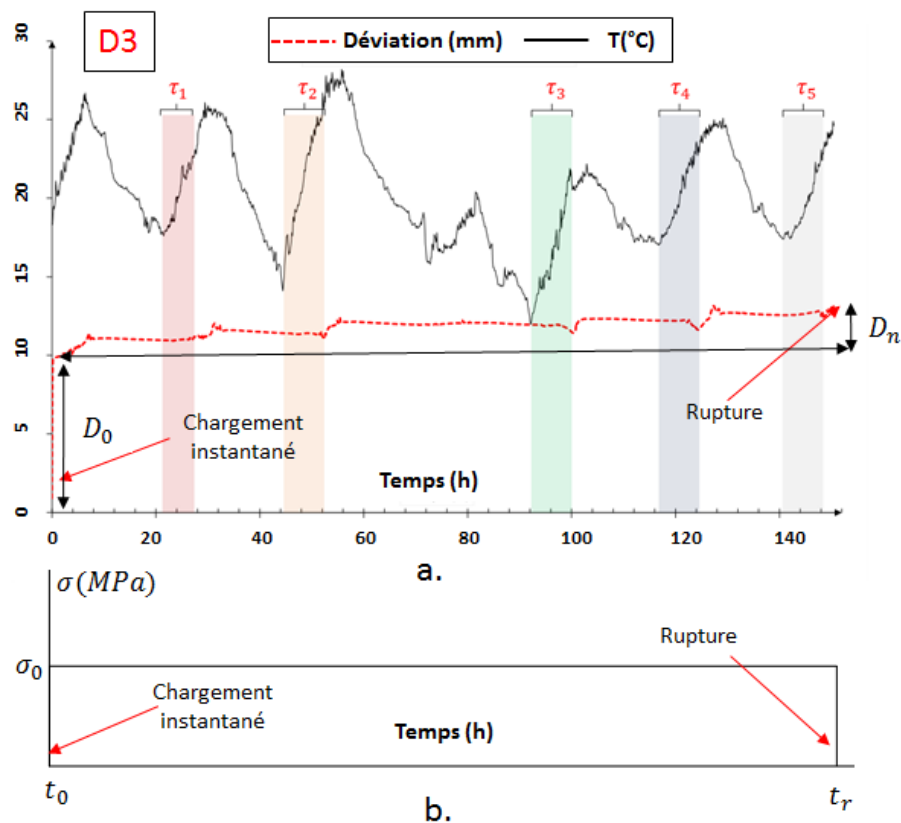


FIGURE 5 – Essai de fluage de la Poutre D3

La figure 6 montre l'évolution de la flèche de la poutre S5 en fonction de la température T (HR). Les résultats obtenus sur cette courbe coïncident avec les observations effectuées précédemment sur l'évolutions des flèches des poutres D3 et D9.

Le tableau 2 donne les valeurs des temps d'évolution nécessaire (τ_i), déterminées des courbes des figures 5 et 6. En moyenne il faut $7,60 \pm 0,60$ h d'évolution de T pour qu'il y ait une évolution de la flèche de PM et $6,88 \pm 0,98$ h pour qu'il y ait une évolution de la flèche de AAM.

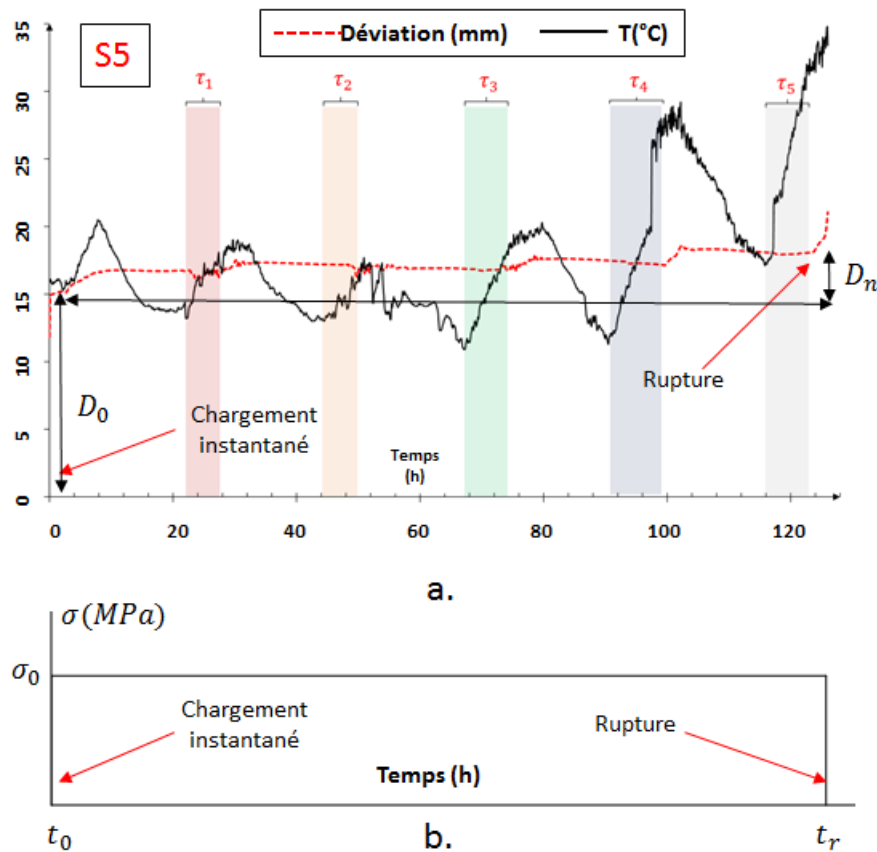


FIGURE 6 – Essai de fluage de la Poutre S5

TABLE 2 – Valeurs des temps d'évolutions nécessaire (τ_i) avant que T (HR) ait un impact sur l'évolution de la déviation de D3 et S5

	D3	S5
τ_1	8,00h	5,10h
τ_2	8,00h	6,20h
τ_3	8,30h	7,00h
τ_4	7,20h	8,60h
τ_5	6,50h	7,50h
Moyenne	7,60h	6,88h
Ecart-type	0,60h	0,98h

Le tableau 2 et les figures 5 et 6 montrent que l'impact des paramètres climatiques (T, HR) sur le comportement des structures est couplé au temps et varie selon l'espèce. En effet, on remarque que l'impact est plus prononcé sur la poutre S5 où le τ moyen est inférieur ($6,88 \pm 0,98h$) au τ moyen de D3 ($7,60 \pm 0,60h$).

4 Conclusion

Dans cette étude nous avons mis en évidence l'impact des paramètres climatiques (Température T et Humidité Relative HR) sur la durée de vie d'une structure soumise à un chargement constant. En effet, les expériences ont montré, premièrement, que l'évolution de la flèche du bois (*Pseudotsuga Menziesii* et *Abies Alba Mil*) est une fonction de l'évolution de la température. Deuxièmement qu'il existe un temps moyen τ_c critique nécessaire pour qu'il y ait un impact de T sur la déformation de la structure et que τ_c dépend de l'espèce.

L'étude menée s'est essentiellement focalisée sur l'interprétation phénoménologique et expérimentale des résultats obtenus lors des essais de fluages, présentés dans cet travail. Sur un plan théorique, ces résultats permettront de proposer un modèle viscoélastique prenant en compte les effets de la disposition spatiale des défauts du bois (nœuds, orientation des cernes,...) sur la durée de vie en charge. Puis à partir de ces résultats, établir un modèle numérique sur le logiciel cast3m prenant en compte toutes les problématiques soulevées dans ce travail.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour son soutien financier à ce travail à travers le projet CLIMBOIS N° ANR-13-JS09-0003-01 labellisé par ViaMeca, l'association interprofessionnelle Auvergne Promobois pour la fourniture des poutres bois et le Laboratoire de météorologie de physique (Lampe) de l'Université Clermont Auvergne pour l'envoi régulier de données météorologiques.

Références

- [1] D. G. Hunt, J. Gril. Evidence of a physical ageing phenomenon in wood. *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 15, pp. 80-82, 1996.
- [2] N. Manfoumbi Boussougou. Contribution à l'adaptation de l'eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement. Thèse université de Limoges, 2012.
- [3] O. Saifouni. Modélisation des effets rhéologiques dans les matériaux : application au comportement mécanosorptif du bois. *Mécanique des solides*. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 2014.
- [4] P. Chassagne, E. Bou-Said, J.F. Julien and P. Galimard. Three dimensional creep model for wood under variable humidity numerical analyses at different material scales. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, Vol 9. 203, 223, DOI : 10.1007/s11043-005-9001-y, 2006.
- [5] V. Pittet. 1996. Etude expérimentale des couplages mécanosorptifs dans le bois soumis à variations hygrométriques contrôlées sous chargements de longue durée. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Thèse de Doctorat, 1996.
- [6] A. Foudjet et C. Bremond. Creep of four tropical hardwoods from Cameroon. *Wood Sciences and Technology*, Vol 23 (4), pp. 335-341, 1989.

- [7] T. Toratti et P. Morlier . Fluage à long terme du bois fléchi en grandeur structurale. *Materials and structures*, Vol 28 (5), pp. 284-292, 1995.
- [8] C. C. Gerhards . Bending creep and load duration of Douglas-fir 2 by 4s under constant load for up to 12-plus years. *Wood and fiber science*, Vol 32 (4), pp. 489-501, 2007.