HAL
open science

Projet ANR JCJC CLIMBOIS : fluage des poutres bois fissurées soumises aux environnements extérieurs : essais de caractérisation mécaniques préliminaires

Eric Fournely, Rostand Moutou Pitti, G Godi, Frédéric Dubois, Claude Feldman Pambou Nziengui

To cite this version:

Eric Fournely, Rostand Moutou Pitti, G Godi, Frédéric Dubois, Claude Feldman Pambou Nziengui. Projet ANR JCJC CLIMBOIS : fluage des poutres bois fissurées soumises aux environnements extérieurs : essais de caractérisation mécaniques préliminaires. 34èmes Rencontres de l'AUGC, May 2016, Liège, Belgique. hal-01616942

HAL Id: hal-01616942

https://hal.science/hal-01616942v1

Submitted on 15 Oct 2017

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.

Projet ANR JCJC CLIMBOIS : fluage des poutres bois fissurées soumises aux environnements extérieurs : essais de caractérisation mécaniques préliminaires

E. Fournely[1,2], R. Moutou Pitti[1,2,4], G. Godi[1,2], F. Dubois[3], C.F. Pambou Nziengui[1,2,5]

[1] *Clermont Université, Université Blaise Pascal, mail : eric.fournely@univ-bpclermont.fr, rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr,gael.godi@univ-bpclermont.fr, claude_pambou.nziengui_feldman@etudiant.univ-bpclermonr.fr*

[2] *CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, mail : eric.fournely@univ-bpclermont.fr, rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr,gael.godi@univ-bpclermont.fr,claude_pambou.nziengui_feldman@etudiant.univ-bpclermonr.fr*

[3] *Université de Limoges, GEMH-GCD, mail : frederic.dubois@unilim.fr*

[4] *CENAREST, IRT, mail : rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr*

[5] *ENEF, BP 3960, Libreville, Gabon, mail : claude_pambou.nziengui_feldman@etudiant.univ-bpclermonr.fr*

RÉSUMÉ. *L'objectif premier de l'ANR JCJC CLIMBOIS est d'étudier le comportement mécanique des poutres bois fissurées en Sapin Blanc et en Douglas sous l'action combinée des variations climatiques (humidité, température), des charges de longue durée (fluage…) et des défauts initiaux (fissures, nœuds, orientation des cernes de croissance…). Les essais présentés ici correspondent à la première phase du programme expérimental à échelle réelle. Cette partie est destinée à caractériser les corps d'épreuve qui seront testés en environnement extérieur. Les lots de bois reçus sont caractérisés et le système d'essais préliminaires intérieurs et extérieurs sont présentés et justifiés. Il en est de même de l'orientation globale de la campagne. L'étude s'appuie principalement sur le comportement de poutres entaillées en flexion quatre points en dimension d'emploi et sous forme d'éprouvettes plus réduites permettant d'obtenir des informations statiques à proximité des entailles des poutres et également pour analyser l'évolution des caractéristiques de fissuration au sein d'une poutre en dimension d'emploi en présence de défauts initiaux. Enfin les caractéristiques mécaniques des poutres testées sont étudiées via des relations normatives issues de la théorie des poutres.*

ABSTRACT. *The behaviour of timber notched beams undergoing mechanical (instantaneous and long term bearing loads…) and environmental (humidity, temperature…) loading is the principle aim of CLIMBOIS JCJC ANR project. Picea-Alba mill and Douglas-fir are the two local species tested in this study. Cracks, knots, angle of annual rings, orientation of the grain are taken into account as characteristics of the specimens. The work presented here is the first part of the wider study; the objective of this part is mainly axed on the determination of mechanical characteristics of the specimens in two dimensions, usual solid wood beams and smaller specimens tested in simple or double notched configuration in bending. This part is mainly realised to define the whole sets of wood and also to analyse the spacing variability of crack characteristics of the two tested species in usual configuration. The external configuration of tests and their instrumentation equipment and strategy are presented and discussed. The elastic moduli of tested beams have studied according to normative expressions given by the beam theory.*

MOTS-CLÉS : *Douglas &, Sapin Blanc, poutre entaillée, nodosité, fissuration, fluage, campagne expérimentale.*

KEY WORDS: *Douglas-Fir & Picea-Alba Mill, notched beam, knots, cracks, creep, experimentation.*

1. Introduction

Le Sapin Blanc du Massif central recouvre environ 40% de la forêt auvergnate et constitue une ressource stratégique aussi bien pour la première que la seconde transformation. Par ailleurs, le Douglas est l'une des essences les plus utilisées en France et notamment dans le Limousin et l'Auvergne [MOU 15]. L'utilisation de ces essences en environnement extérieur plus ou moins protégés constitue un débouché important. Cependant, en présence de variations d'humidité et de température additionnées aux charges de longue durée, le comportement mécanique de ces structures se retrouve fortement modifié complexifiant ainsi leur mise en œuvre et pouvant éventuellement hypothéquer leur durée de vie en service.

L'un des objectifs poursuivis par le projet ANR JCJC CLIMBOIS [MOU 14] est d'étudier le comportement mécanique des poutres de bois fissurées en Sapin Blanc et en Douglas sous l'action combinée des variations climatiques (humidité, température), des charges de longue durée (fluage…) et des défauts initiaux (fissures, nœuds, orientation des cernes de croissance…). Les essais présentés ici devraient perdurer au-delà de la fin du projet (mars 2017) et seront réalisés dans un espace extérieur spécialement aménagé au hall Génie Civil de Polytech Clermont-Ferrand.

Concrètement, 13 poutres en Douglas et 12 poutres en Sapin Blanc ont été fournies par l'Association interprofessionnelle Auvergne Promobois, partenaire industriel du projet CLIMBOIS. Ainsi, 3 poutres de chaque essence, serviront aux essais extérieurs. Une poutre de chaque essence sera utilisée comme poutre témoin pour différentes mesures pendant toute la durée des essais. Les essais seront donc réalisés sur des poutres en bois massifs. Conformément aux exigences de différentes normes et aux calculs numériques effectués sur des poutrelles [ANG 16] [ANG 15] les dimensions suivantes ont été retenues (60 x 180 x 4000 mm^3). Les poutres restantes permettent la réalisation de différents essais préliminaires afin de déterminer des paramètres mécaniques du lot (rigidité globale, distribution spatiale telle que le taux de restitution d'énergie...).

Outre la présentation globale de la campagne, ce travail présente les essais mis en œuvre pour la phase préliminaire, ainsi que les résultats obtenus pour cette étape expérimentale. Les masses de l'ensemble des poutres, leurs dimensions réelles ainsi que leur taux d'humidité sont présentés. Des essais de flexion quatre points sont ensuite présentés afin de déterminer le module de flexion de l'ensemble des poutres. Ces modules sont obtenus via des relations normatives issues de la théorie des poutres et des exigences règlementaires de l'Eurocode 5. Enfin des poutres entaillées sont découpées et testées en flexion statique afin d'anticiper les plans de fissuration susceptibles d'apparaître pendant les essais en extérieur.

En ce qui concerne les essais extérieurs, l'accent est mis sur l'instrumentation et le suivi d'acquisition des paramètres nécessaires à la mesure de fissuration en fond d'entaille et de la flèche induite à la fois par les effets environnementaux et le chargement mécanique de fluage. Ces résultats expérimentaux seront confrontés aux modèles viscoélastiques déterministes conduits dans le cadre de cette ANR [MOU 16]. Ils permettront également d'alimenter les paramètres des modélisations stochastiques développées pour cette action [BAS 15]. Les résultats de ces campagnes expérimentales et numériques pourront améliorer la connaissance du comportement et de la durée de vie en service des structures bois issues de ces essences et en même temps, optimiser leur utilisation et leur fiabilité dans de tels environnements.

2. Présentation de la campagne expérimentale CLIMBOIS en lien avec la modélisation

La campagne expérimentale du projet CLIMBOIS se décline à trois échelles ; l'échelle 1 avec des essais de flexion statique et de longue durée sur des poutres à double entaille et sur des éprouvettes à simple entaille en dimensions d'emploi, l'échelle 2 des essais de flexion sur des éprouvettes de dimensions réduites, et enfin des essais de fissuration sur éprouvettes MMCG (Mixed Mode Crack Growth) en modes simples ou combinés. Afin de mesurer l'impact des variations climatiques sur le comportement mécanique de ces essences, les essais seront réalisés en climat variable (environnement extérieur) et en climat contrôlé (essais en laboratoire) à des taux d'humidités relatives des éprouvettes bien définis (Tableau 1). La figure 1 présente schématiquement ces échelles et les formes d'éprouvettes des poutres. Cette partie d'essais mécaniques s'accompagne de mesures physiques sur les corps d'épreuve mais également sur des "pièces témoins". Ces mesures physiques sont conduites par des mesures analogiques sur l'ensemble des corps d'épreuve, mais également par mesure directes sur les pièces témoins. Ces mesures directes sont destructives et sont menées à des temps déterminés sur une éprouvette destinée à ce seul usage. L'objectif de cette campagne est d'obtenir des informations complémentaires afin de rendre compte des observations menées sur les différents essais et sur les éprouvettes ou les poutres. Ces essais doivent donc permettre d'alimenter les différents modèles proposés dans le cadre de ce projet.

La variabilité du matériau bois, dans ses pentes de fil, ses orientations de cernes, sa nodosité... conduit à proposer une approche stochastique comme extension des modèles déterministes proposés par ailleurs. Pour limiter les effets de cette variabilité dans l'estimation initiale des niveaux de chargement, un jumelage entre poutres destinées aux essais statistiques et aux essais de longue durée en environnement extérieur est proposé sur la base d'essais préliminaires en flexion simple et sur le relevé de nodosité et d'orientation des cernes. Pour affiner cette estimation, des essais sur éprouvettes entaillées débitées dans les chutes des entailles des poutres sont effectués. Cette opération est menée aussi bien sur les poutres destinées aux essais extérieurs que sur les poutres destinées aux essais statiques. Ces derniers permettront d'évaluer l'effet d'échelle sur des corps d'épreuve avec un rapport de dimensions 2,53. La taille de 2 éprouvettes juxtaposées permettra également d'évaluer une éventuelle variabilité dans le plan d'une section droite.

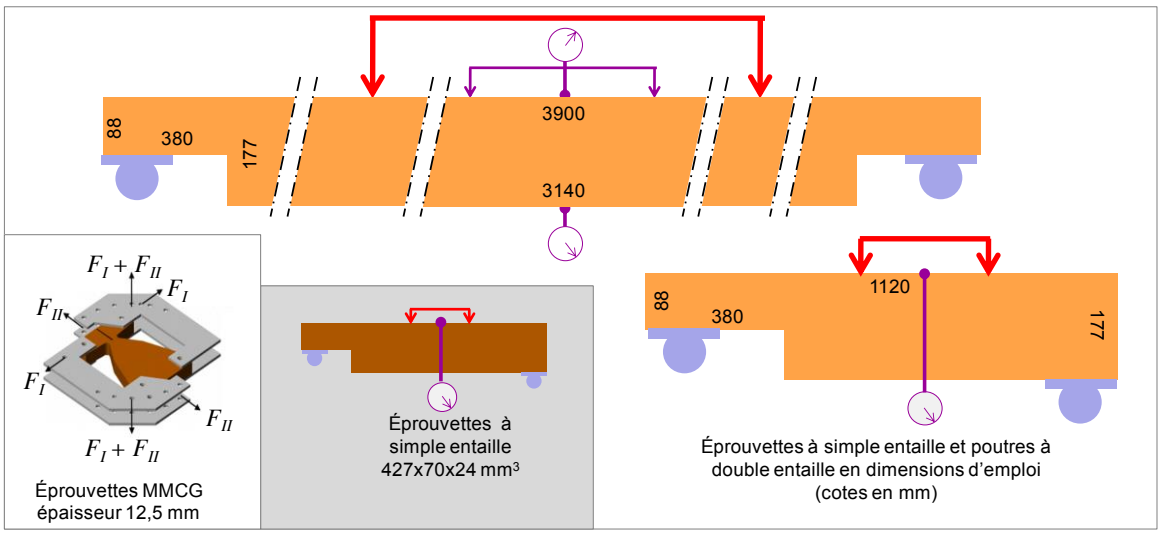

Figure 1. *Types d'éprouvettes et poutres testées et échelles de ces corps d'épreuve*

La figure 2 présente la logique de débit de ces différentes poutres et éprouvettes au sein d'une poutre. Une poutre est entièrement destinée à la réalisation de ces éprouvettes à entaille simple de dimensions réduites afin de disposer d'éléments sur la variation des caractéristiques de fissuration sur l'ensemble du volume d'une poutre.

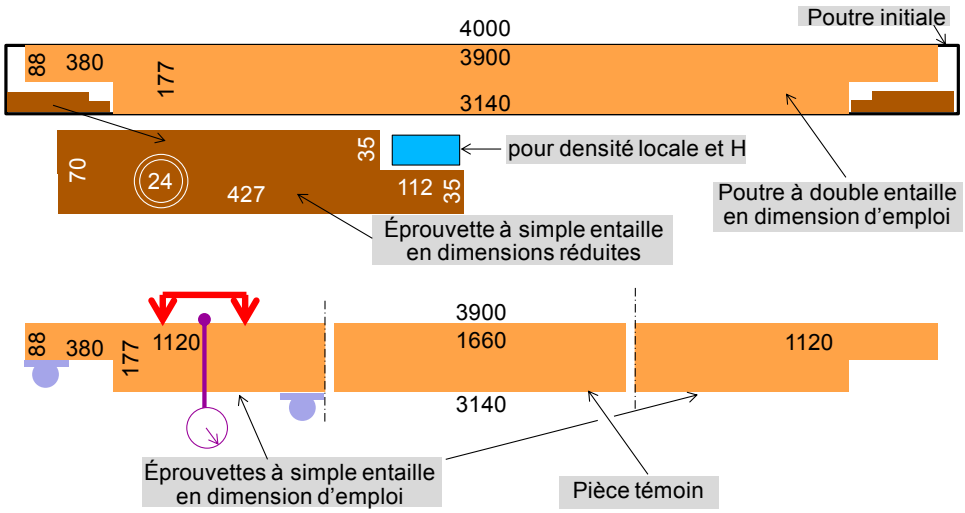

Figure 2. *Débit des différents corps d'épreuve dans une poutre destinée aux essais statiques ou extérieur.*

L'instrumentation mise en œuvre sur ces essais sera variée. Elle intégrera majoritairement une instrumentation classique avec capteurs de force et capteurs de déplacement de type LVDT. Elle fera également intervenir, pour certains essais, des mesures sans contact et également des mesures d'émissions acoustiques afin de localiser les

fissures [DIA 16]. Pour les poutres à double entaille en extérieur, ce seront des capteurs de force et des capteurs de déplacement qui seront utilisés. Pour les éprouvettes à simple entaille dans les deux échelles prévues ce seront aussi des capteurs classiques qui seront mis en œuvre, mais pour quelques unes de ces éprouvettes (en dimensions d'emplois et en dimensions réduites) des mesures de champs seront réalisées avec la méthode de la grille [TOU 16].

3. Description des deux lots de bois

Les poutres testées sont en bois résineux massifs locaux. Un lot est en Douglas et l'autre en Sapin Blanc. Les poutres sont livrées rabotées en longueurs tels que présentés dans le Tableau 1. Leur section transversale de 180x60 mm à l'usinage et peut varier en fonction de l'humidité à l'usinage. La rectitude des poutres et surtout la planéité des faces peuvent être affectées par la phase de séchage entre l'usinage et les essais. La figure 3 présente une photo de ces deux lots et le Tableaux 1 rapporte les mesures faites à la réception des lots. Les deux lots sont relativement homogènes. Pour les deux lots la moyenne d'humidité est de 11,06% avec un écart-type de 0,8. La densité moyenne pour le Douglas est de 0,45 et celle du Sapin Blanc est de 0,41. Le coefficient de variation sur la densité est de 9% pour le Douglas et de 5% pour le Sapin Blanc.

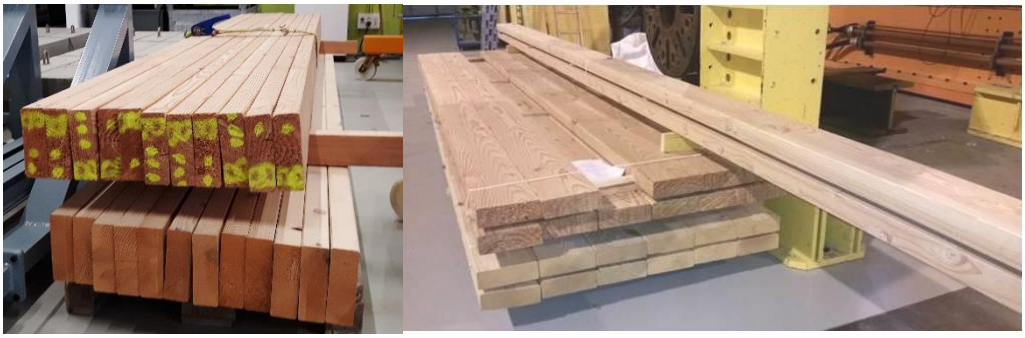

Figure 3. *Lots de Douglas et de Sapin Blanc constituant la base matériau utilisée dans le projet Climbois*.

Tableau 1. *Caractéristiques physiques des lots de Douglas (D) et Sapin Blanc (S).*

DOUGLAS	longueur L (mm)	largeur l (mm)	hauteur h (mm)	humidité H (%)	densité
D1	4032	178	59,66	10,3	0,405
D2	4027	178	59,38	10,0	0,391
D3	4054	174	59,12	12,8	0,517
D4	4049	176	58,5	10,8	0,428
D5	4054	174	59,31	11,2	0,466
D6	4056	175	59,01	11,5	0,447
D7	4057	174	58,9	11,8	0,471
D8	4032	174	58,59	10,5	0,431
D9	4056	176	59,37	12,4	0,486
D10	4050	174	58,93	11,7	0,497
D11	4053	178	58,99	10,7	0,415
D12	6107	174	59,34	9,6	0,419
D13	6105	178	59,64	9,6	0,393
moyenne	4218,92	175,42	59,10	11,11	0,448
Ecart-type	314,68	1,50	0,27	0,80	0,03

SAPIN BLANC	longueur L (mm)	largeur l (mm)	hauteur h (mm)	humidité H (%)	densité
S1	3999	179	60,83	10,1	0,406
S2	4004	179	58,86	9,9	0,398
S3	4002	178	60,01	13,3	0,396
S4	3999	179	59,7	10,0	0,410
S5	3996	178	59,86	10,5	0,450
S6	4003	178	60,44	11,1	0,423
S7	4004	179	59,28	12,0	0,417
S8	4000	180	60,28	10,5	0,410
S9	4002	178	59,86	12,0	0,386
S10	4002	178	60,08	11,2	0,378
S11	4002	179	59,96	11,4	0,427
S12	4004	179	60,04	10,2	0,386
moyenne	4001,41	178,66	59,93	11,02	0,407
Ecart-type	1,94	0,55	0,35	0,81	0,02

En ce qui concerne la nodosité et l'orientation des cernes, le choix a été fait de travailler sur la base de données photographiques assemblées sur un modèle prismatique afin de pouvoir manipuler virtuellement les poutres à tout instant du projet. Les six faces des poutres ont été photographiées et "collées" sur le prisme. Un zoom permet clairement de repérer les nœuds. Leur position et leur taille peuvent être obtenues par les fonctions de cotation du logiciel de gestion de ces éléments volumiques.

Les vues des extrémités des poutres permettront de positionner le cœur du tronc de l'arbre, de juger de la cohérence des mesures sur une extrémité et sur l'autre. Il sera également possible de mettre en relation la trace nodosité sur une face avec celle de la face en vis-à-vis ou perpendiculaire. Il sera à tout moment possible de "retirer" une face du prisme "voir" l'intérieur du volume.

4. insertion Essais de flexion préliminaires et jumelage au sein des lots

Pour jumeler les poutres par lot de deux voire de trois, le choix a été fait de tester toutes les poutres en flexion quatre points avec mesure de flèches centrales et flèches intermédiaires. La configuration des essais est illustrée en figure 4. L'instrumentation est constituée de deux capteurs de forces à jauges et de trois capteurs de déplacement LVDT. L'histoire de chargement est constituée de deux cycles successifs de chargement avec un pilotage en déplacement. La force appliquée est limitée à celle qui sera prise en compte ultérieurement sur les poutres à double entaille, environ 5 kN. Cette force est une force arbitraire déterminée dans la zone d'élasticité des deux essences, sachant que le Douglas et Sapin Blanc ont respectivement des contraintes maximales de rupture en flexion statique égales à 91 MPa et 80 MPa.

Figure 4. *Configuration d'essais pour les essais de flexion quatre points sur poutres avant entaille.*

Les résultats d'essais sont présentés ici pour le lot Douglas, sous forme de courbes effort appliqué - flèche centrale. Les courbes sont classées en quatre zones de comportement limitées par les traits mixtes sur le graphe. Les jumelages sont réalisés par proximité de comportement en termes de courbes flèche-effort et également par type de débit et orientation des cernes, illustrés ici par les photos des faces d'extrémité des poutres. La figure 5, Présente le jumelage des poutres D4 (a) et D11 (b).

Cette figure met aussi en exergue le comportement mécanique du bois de Sapin Blanc sous un chargement en flexion statique 4 points. La courbe (c) de la figure 5 représente les courbes force totale-flèche centrale des poutres S1, S2, S3 et S4 alors que la courbe (d) de cette même figure présente les courbes force totale-delta flèche des poutres de Sapin Blanc. La valeur delta flèche est déterminée par l'expression suivante tirée de [MAN 12] :

$$\Delta u_1 = u_3 - (u_2 + u_4)/2 \qquad (1)$$

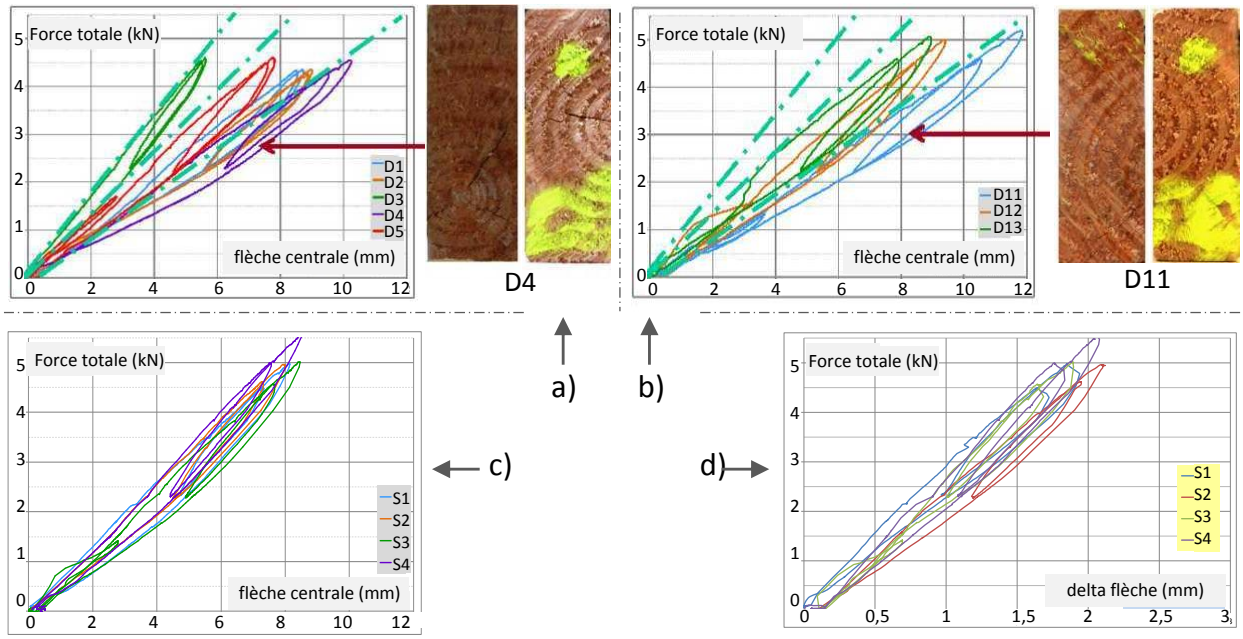

Figure 5. *Comportement global d'une partie des poutres en Douglas et jumelage pour les poutres D4-D11.*

Le tableau 2 présente l'ensemble des modules d'élasticités de chaque poutre de Douglas et de Sapin Blanc tirés respectivement de leur courbe caractéristique force-flèche centrale. Ces modules d'élasticités sont déduits de l'équation (2) et (3), découlant de la théorie des poutres [MAN 12].

$$E_{0,g}(1) = (\Delta F/\Delta u)(L-a)(2L^2 + 2La - a^2) \qquad (2)$$

Où $\Delta F/\Delta u$ représente la pente de la courbe force –flèche, avec L la longueur entre les deux appuis et a la distance entre les forces de charge appliquées aux éprouvettes. $E_{0,g}$ représente le module d'élasticité global des éprouvettes.

Ce module d'élasticité ne prend pas en compte l'effet du module de cisaillement des essences et l'effet de tassement du dispositif expérimental. L'équation 2 [MAN 12], permet de déterminer le module d'élasticité locale des éprouvettes testées.

$$E_{0,l} = (\Delta F/\Delta u_1) \times (al^2/8I) \qquad (3)$$

Où $\Delta F/\Delta u_1$ représente la pente de la courbe force-delta flèche, avec Δu_1 le terme delta flèche (conf. Equation (1)), u_3 est la flèche centrale, u_2 la flèche enregistrée par le capteur de déplacement 2 et u_4 celle du capteur de déplacement 4 tel que décrit par [MAN 12] et I le moment quadratique de la poutre testée.

Le tableau 2 donne une moyenne du module d'élasticité globale du Douglas égale à 17,26 $\pm$ 3.09 GPa (moyenne $\pm$ écart-type) cette valeur est légèrement supérieure à celle présente dans la littérature (16 GPa). Alors que celle du Sapin Blanc (tableau 2) est égale 17,16 $\pm$ 2,24 GPa, cette valeur est supérieure à celle donnée par la littérature 14 GPa ce qui fait un taux de différence de plus de 21%. Ces différences peuvent s'expliquer par la variabilité des taux d'humidité internes des éprouvettes (Tableau 1).

Le même constat est fait pour le module local d'élasticité ($E_{0l,}$) des deux essences. Dans l'ensemble et pour les deux essences sa valeur est assez proche du module globale d'élasticité. Pour le Douglas on obtient une valeur de 17,54 $\pm$ 3,78 GPa alors que pour le Sapin Blanc une valeur de 18,4 $\pm$ 2,12 GPa. Ces valeurs diffèrent largement de celles calculées par [MAN 12] qui a donné une valeur du module d'élasticité local du Douglas égal à 10,49 $\pm$ 1,22 GPa. Le constat fait ici entre le module d'élasticité global et local diffère de celui établit par [MAN 12]. En effet, le module d'élasticité globale déterminé chez les deux essences, dans notre étude, est inférieur au module d'élasticité local, un résultat différent de celui donné par [MAN 12].

Tableau 2 : *Valeurs des modules d'élasticités local et global des poutres de Douglas et Sapin Blanc*

Poutres	$E_{0,g}(1)$ GPa	$E_{0,l}$ GPa	$\frac{\Delta F}{\Delta u}$ (Nmm^{-1})
D1	14,19	14,8	500
D2	14,15	13,68	498,5
D3	22,24	24,42	783,3
D4	12,60	12,58	443,75
D5	15,97	14,80	562,5
D6	18,80	17,39	662,5
D7	20,94	22,20	737,5
D8	20,94	19,42	737 ,5
D9	22,71	25,90	800
D10	18,10	20,35	637,5
D11	12,06	12,82	425
D12	15,08	15,42	531,25
D13	16,68	14,30	587,5

Poutres	$E_{0,g}(1)$GPa	$E_{0,l}GPa$	$\frac{\Delta F}{\Delta u}$(N$mm^{-1}$)
S1	17,74	21.83	625
S2	18,45	21.76	650
S3	16,97	19.61	597.75
S4	18 ,59	19.65	655
S5	17,04	19.72	600
S6	22,29	19.98	785
S7	19,30	18.87	680
S8	16,61	17.39	585
S9	15,08	14.30	531.25
S10	15,08	15.66	531.25
S11	14,90	15.6	525
S12	15,33	16.28	540

5. Le bâti extérieur et son instrumentation

Les poutres à double entaille seront testées en extérieur sur un bâti intégrant le système d'appuis, le système de chargement et également le système de mesure. Le bâti est monté et testé actuellement en intérieur pour réaliser des essais de chargement de "réception". La figure 6 présente la maquette numérique du bâti avec les six poutres, les blocs de chargement et le système de capteurs LVDT fixés sur une poutre intégrée au bâti et conçu pour minimiser les effets thermiques sur ces mesures.

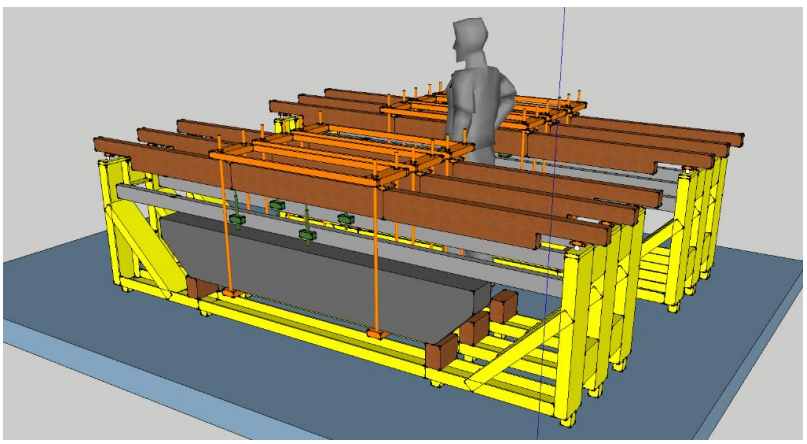

Figure 6. *Configuration du bâti extérieur avec son système de chargement et son système de mesure.*

Les capteurs du bâti extérieur seront posés à demeure pour la durer de la campagne expérimentale. L'enregistrement des données fournies par ces capteurs sera automatisé. Le choix a été fait d'assurer le transfert des données par câbles Ethernet plutôt que par un réseau Wifi pour des raisons de fiabilité. Les centrales de mesures spécifiques seront installées dans un boîtier étanche à proximité du bâti. Ces centrales assureront également les mesures de température et d'humidité de l'air à proximité immédiate du bâti. Les autres données environnementales (pluviométrie, vitesse du vent, ensoleillement...) seront fournies par la station météorologique située sur le Campus des Cézeaux, à moins de 200 mètres de l'implantation de la zone d'essais en extérieur.

6. Conclusions et perspectives

La campagne expérimentale du projet ANR CLIMBOIS est vaste, allant des éprouvettes MMCG à des essais de flexion sur des poutres entaillées en dimensions d'emploi en passant par des éprouvettes de tailles différentes. Ces essais se déclinent en essais statiques et en essais de fluage, avec pour certains des mesures t acoustiques et par analyse d'images. Les essais rapportés ici sont uniquement ceux de type flexion et les seuls résultats présentés sont inhérents à la caractérisation des deux lots de matériaux constituant la base matériaux utilisée. Les résultats obtenus suite au calcul des modules de flexions globales et locales montrent des résultats proches de ceux couramment obtenus pour ces essences. Par contre, l'accent est mis sur la logique de complémentarité de ces différents essais, leur faisabilité et leur intérêt pour alimenter les paramètres des modèles théoriques et numériques.

Les mesures physiques et mécaniques menées sur les deux lots de résineux ont montré une bonne homogénéité des poutres en termes de densités et humidités. Les orientations de cernes couvrent un plus large spectre des configurations possibles, les raideurs globales de flexion des poutres varient du simple au double ; ces deux paramètres ont permis de constituer le jumelage des poutres destinées aux essais statiques et aux essais de fluage en extérieur. La nodosité n'a pas été retenue comme paramètre de jumelage, mais constituera un paramètre de description des corps d'épreuve. Outre ces essais préliminaires, le début des essais statiques et de fluage a été différé afin de tester le bon fonctionnement des différents équipements et d'attendre l'arrivée d'un nouveau doctorant qui assurera le suivi de l'ensemble de cette campagne d'essais.

Remerciements. Les auteurs remercient l'ANR pour le financement du projet ANR JCJC CLIMBOIS, le pôle ViaMeca pour la labellisation du projet et l'association interprofessionnel Auvergne Promobois pour la fourniture des poutres bois.

7. Bibliographie

[ANG 16] ANGELLIER N., MOUTOU PITTI R., DUBOIS F. « Crack Analysis of Wood Under Climate Variations ». *Springer, 8 :235-242, 2016*. Doi : 10.1007/978-3-319-21611-9_29

[ANG 15] Angellier N., Moutou Pitti R., Dubois F. « Fracture Analysis of wood under Variable environment ». 1st International Conference on Bio-based Building Materials ICBBM 2015. Clermont Ferrand, France, 21-24 June2015.

[BAS 15] Bastidas-Arteaga E., Aoues Y., Chateauneuf A. « Optimal design of new deteriorating timber components under climate variations ». 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP12.Vancouver, Canada, 12-15 July,2015.

[DIA 16] Diakhate M., Bastidas-Arteaga E., Moutou Pitti R., Schoefs F. « Probabilistic Improvement of Crack Propagation Monitoring by using Acoustic Emission ». SEM XIII International Congress and Exposition on Experimental and Applied Mechanics, Orlando, Florida, June 6-9, 2016.

[MOU 14] Moutou Pitti R., Diakhaté M., Bastidas-Arteaga E., Aoues Y., Angellier N., RiahiH., Chateauneuf A., Dubois F. ANR JCJC-2013 Project CLIMBOIS: effects of climatic and mechanical variations on the durability of timber structures: use of acoustic emission tool to evaluate wood mechanical behavior. COST Action FP1302 Wood Music, Opening Conference. Paris, France, 26-28 February, 2014

[MOU 15] Moutou Pitti R., Fargeix P., Godi G., Hamdi S.E, Angellier N., Fournely E., Dubois F., Garmy J. « Essais de fissuration de poutres bois en environnements extérieurs variables sous charges de longue durée : objectifs et conception ». 4èmes journées du GDR 3544 « Sciences du bois », Clermont-Fd, 4-6 novembre 2015.

[MOU 16] Moutou Pitti R., Hamdi S.E, Dubois F., Fournely E., Kuzman M.K. « Thermo-hydro fracture and viscoelastic behavior of timber based materials: numerical analysis ». WCTE 2016, Vienna, Austria; 24-25, August 2016.

[NOU 14] Nouali A., Moutou Pitti R., Delaunay T., Riahi H., Fournely E., Le Clezio E. « An identification technique for mechanical characteristics of wood in room temperature ». COST Action FP1302 Wood Music, Multidisciplinary Approach to Wooden Musical Instruments Identification, September 30-01, 2014, Cremona, Italy.

[TOU 16] Toussaint E., Fournely, E., Moutou Pitti, R., Grédiac M. « Studying the mechanical behavior of notched wood beams using full-field measurements ». Engineering Structures. Vol 113, 277-286, 2016. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.01.052

[MAN 12] Manfoumbi Boussougou N. « Contribution à l'adaptation de l'eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement ». Thèse de l'université de limoges.N° 15-2012. Juin 2012