

# **Suivi de la santé structurale des infrastructures en bois par intégration de capteurs**

Début de la thèse : 1 octobre 2017

Contacts : Marianne PERRIN, [marianne.perrin@iut-tarbes.fr](mailto:marianne.perrin@iut-tarbes.fr), 05 62 44 42 16

Florent EYMA, [florent.eyma@iut-tarbes.fr](mailto:florent.eyma@iut-tarbes.fr), 05 62 44 42 16

## 1. Descriptif du projet

Le matériau bois, après avoir été un des premiers matériaux utilisé par l'homme, fut supplanté pendant de nombreuses années par d'autres matériaux dits plus « performants », « modernes »,... On peut cependant constater que face aux nouveaux challenges imposés par les problèmes de développement durable, ce matériau ancestral peut répondre à de nouvelles problématiques. En effet, son caractère renouvelable, naturel et écologique lui permet d'être intégré de plus en plus souvent dans les constructions comme le montre les différents projets de bâtiments de grande hauteur qui fleurissent sur le territoire. Si l'on ajoute à cela, le développement de produits innovants et de haute technologie comme les éléments en lamellé-collés, on observe aujourd'hui une forte expansion d'ouvrages en bois [1] qui va de pair avec le plan de Recherche Innovation 2025 de la filière forêt-bois.

En outre, les politiques publiques incitent de plus en plus les maîtres d'ouvrage à concevoir en intégrant les critères de développement durable. Le bois devient donc un matériau de construction privilégié car son bilan carbone reste relativement faible contrairement au béton en particulier. C'est ainsi que ces dix dernières années, de nombreux ouvrages en bois ont vu le jour sur le territoire français [2]. Il s'agit de structures diverses comme des passerelles piétonnes, des ponts routiers ou encore des charpentes. L'évolution des technologies de construction permet aujourd'hui d'allier les avantages du matériau bois (légèreté, facilité de construction et de mise en place) aux avantages d'autres matériaux plus classiques comme le béton et/ou l'acier. Ces ouvrages mixtes font l'objet de nombreuses études afin de mettre en évidence l'influence réciproque de chaque entité [3]. Néanmoins, aucune d'entre elles ne fait référence aux techniques potentiellement capables d'identifier les pathologies associées à ces structures. Ce point est pourtant central et déterminant dans le développement de ces ouvrages car il permettra de leur garantir une durabilité comparable à celle des structures en béton ou en acier.

Dans les années à venir, si l'on veut que cette filière d'éco-construction se développe, et pouvoir argumenter sur l'aspect « ouvrage durable », il faut dès à présent être capable d'associer aux structures une démarche de maintenance et de surveillance en adéquation afin de pouvoir intervenir au plus vite sur la structure dès que le risque de pathologie survient. En mettant en évidence de manière précoce le ou les potentiels endommagements, on permet aux gestionnaires d'ouvrages de garantir l'intégrité structurelle de leurs infrastructures par l'intermédiaire d'interventions de maintenance minimales. En effet, sur de tels ouvrages, seule une maintenance préventive est réellement viable car le coût engendré par les réparations des dégradations les plus avancées est bien souvent rédhibitoire.

Les études menées aujourd'hui, notamment dans le cadre de l'action européenne COST FP 1101[4], tentent de répondre aux besoins des gestionnaires d'ouvrages en matière de méthodes de contrôles non destructifs (CND). Les travaux menés récemment sur le contrôle non destructif du bois mettent clairement en évidence la sensibilité de certaines techniques de

CND vis-à-vis de la détection des pourritures du bois [5-6] et de la teneur en humidité du matériau [7-8]. Dans ce cadre, le travail de recherche développé sur le site de l'IUT de Tarbes depuis plusieurs années a pour but de développer des outils de diagnostic à destination des gestionnaires d'ouvrages d'arts en bois. Deux stages de master ont été réalisés au sein de l'ICA (Institut Clément Ader), sur le site de l'IUT de Tarbes : le premier concernant l'applicabilité de la technique RADAR [9] aux structures bois, le second [10] abordant les méthodes ultrasonores. Les conclusions obtenues lors de ces travaux mettent clairement en évidence les potentiels de chaque technique. Toutefois, seules des mesures de caractéristiques globales (caractéristiques mécaniques, mesures d'humidité...) ont pu être réalisées. Face aux nouveaux défis engendrés par de nouveaux modes de construction, des mesures périodiques et globales ne peuvent pas suffire. En effet, les contraintes imposées au matériau bois sont de plus en plus importantes : les portées s'agrandissent grâce à l'utilisation de bois massifs reconstitués et de poutres en bois lamellé-collés (LC). Qui plus est, on associe de plus en plus souvent les poutres en bois à d'autres matériaux de construction plus classiques comme dans le cas des ouvrages mixtes bois-béton-acier-composite [3]. Il est donc nécessaire de s'adapter à ces nouvelles configurations, d'être capable de faire des mesures locales à l'échelle des lamelles, de transformer le matériau bois en matériau « intelligent ».

Suite à ce constat, un premier travail de thèse mené par Hang LI [11] au sein de l'IUT de Tarbes a permis de développer des outils de diagnostics non-destructifs intégrés. Ce travail a consisté à mettre en place une instrumentation embarquée pour contrôler l'humidité des bois (mesures locales au niveau des lamelles). La principale contrainte inhérente à cette intégration concerne l'adaptabilité au processus de fabrication des poutres en bois lamellé-collés. Deux types de technologies peu coûteuses et permettant une intégration pendant le processus de fabrication des poutres Lamellé-collées ont été identifiés. Il s'agit de mesures électriques et de mesures ultrasonores. Plusieurs configurations de mesures ont été testées. Elles ont montré que les mesures d'humidité étaient possibles, que les contraintes de fabrication des poutres LC ne posaient pas de contre-indications vis-à-vis de la présence des capteurs. Aujourd'hui, le matériau bois peut se transformer en matériau intelligent, ce qui laisse présager une ouverture du marché à de nouveaux défis structuraux via la commercialisation de produits plus fiables et plus sécurisants.

Néanmoins, d'autres plus-values doivent encore être apportées à ces produits. Aujourd'hui les gestionnaires d'ouvrages souhaitent connaître au plus près l'état de santé de leurs structures. Pour cela, l'instrumentation embarquée du contrôle de l'humidité doit pouvoir servir d'indicateur permettant d'alermer les gestionnaires au plus vite des risques potentiels. Le travail de recherche que nous proposons concerne donc le suivi de la durabilité des ouvrages en bois. Il s'agira plus particulièrement d'appréhender l'étude de l'influence de l'humidité sur la tenue mécanique de ces nouveaux matériaux « bois intelligents » du génie civil. L'objectif sera alors de connaître l'influence de l'exposition du matériau à l'humidité, mais aussi aux cycles d'humidification/séchage sur la durabilité et la durée de vie résiduelle des structures. Les étapes nécessaires à la mise en œuvre de ces essais, permettant l'élaboration d'abaques corrélant la durée d'exposition à la durée de vie résiduelle, seront les suivantes :

- Recherche bibliographique permettant d'identifier les différentes phases d'exposition à l'humidité présentes sur ouvrages ainsi que d'identifier les essais de durabilité normalisés. Cette étape pourra déboucher sur l'élaboration d'essais de durabilité originaux.
- Fabrication, instrumentation des poutres LC et développement des systèmes d'enregistrement en continu associés;

- Exposition des poutres LC à des cycles d'humidification/séchage avec contrôle de l'humidité globale, mais aussi locale dans chaque strate. Mise en place des essais de durabilité avec mesures en continu;
- Essais de caractérisation mécanique (tenue des joints, résistance à la rupture) des poutres au cours du temps de manière à évaluer l'influence de l'humidité et des cycles d'humidification/séchage, avec pour objectif de mettre en évidence un coefficient d'abattement associé;
- Recherche de modèles prédictifs permettant à l'avenir d'anticiper les pathologies relatives à la présence d'humidité dans le bois, et plus particulièrement dans les poutres LC.

L'objectif sous-jacent est de fournir aux gestionnaires d'ouvrages un système simple et robuste permettant d'activer et d'optimiser des actions de maintenance préventive basées sur des critères d'alarme.

## 2. Description des équipes proposant

Ce projet de recherche est porté par Marianne PERRIN, Maître de conférences au département Génie Mécanique et Productique (GMP) de l'Institut Universitaire de Technologie de Tarbes (IUT), et chercheuse à l'institut Clément Ader (ICA) depuis 2010. L'ICA est un laboratoire de recherche qui s'attache à l'étude des structures, des systèmes et des procédés mécaniques. Les travaux du laboratoire portent généralement sur la modélisation du comportement, l'instrumentation et l'étude de la durabilité des structures. Une part importante des recherches porte sur les matériaux composites. Une équipe de huit chercheurs située sur le site de l'IUT de Tarbes travaille notamment sur un matériau composite naturel : le bois. Marianne PERRIN participe également depuis 2012 au GDR 3544 Sciences du bois où elle anime le groupe de travail Contrôle et Evaluation Non Destructive du bois (CEND). Elle co-encadre également plusieurs thèses sur le développement et l'utilisation des méthodes de contrôle et de surveillance [12-13].

Dans ce cadre là, Florent EYMA [14], Maître de conférences HDR au département GMP de l'IUT de Tarbes et chercheur à l'ICA, s'intégrera à la thématique concernant la gestion durable des infrastructures bois. Florent EYMA est président du Groupe Usinage Bois (GUB) qui regroupe les principaux chercheurs qui travaillent sur l'usinage du bois en France mais aussi dans toute la communauté francophone internationale. A ce titre il anime également un groupe de travail lors des rencontres annuelles du GDR 3544 Sciences du bois. Bien que spécialiste de l'usinage et de la caractérisation du matériau bois [15], il participe et dirige également plusieurs thèses concernant l'utilisation du bois en structure [11, 16], et travaille notamment sur le développement et la caractérisation mécanique de nouvelles éco-structures base bois capables d'amortir des chocs (résistance au crash), mais aussi des impacts à basse vitesse (développement de structures sandwich).

Depuis octobre 2014, Marianne PERRIN et Florent EYMA encadrent la thèse de Hang LI [11] intitulée « Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures », travail préliminaire aux développements proposés dans ce projet. Cette thèse est co-financée par la région Midi-Pyrénées et le Fond Innovation Recherche du Conseil Général des Hautes-Pyrénées. Cette thèse a également obtenu le soutien financier du Grand Tarbes.

Ce projet est réalisé en collaboration avec l'entreprise Charles et Mouysset (Rodez, 12) qui apportera son expertise dans la fabrication des poutres lamellé-collées instrumentées. Qui plus

est, l'entreprise Pyrénées Charpentes (Agos-Vidalos, 65) sera partie prenante de ce projet en apportant son expertise en tant que maître d'œuvre.

Afin de répondre aux critères des différents financements, le doctorant sera basé sur le site de l'IUT de Tarbes et inscrit à l'école doctorale MEGEP.

### Références:

- [1] SETRA Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, les ponts en bois-Comment assurer leur durabilité, Guide technique, novembre 2006.
- [2] V. Barbier, JY. Joineau, Panorama de 15 ouvrages d'art en bois français, guide du CETE de l'Est, mars 2007.
- [3] HS. Pham, R. Le Roy, JF. Caron, G. Foret, Nouveaux tabliers bois-BHP-carbone pour les ouvrages d'art, GC'2007, 21-22 mars 2007, Paris.
- [4] B. Kasal, Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures-COST FP 1101, SHATIS'13, 2<sup>nd</sup> International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 4-6 september 2013, Trento (Italy).
- [5] A. Senalik, Detection and assessment of wood decay in glulam beams using a through-transmission ultrasonic approach, Proc. SPIE 6932, sensors and smart structures technologies for civil, mechanical and aerospace systems, 2008, doi : 10.1117/12.768001.
- [6] L. Reinprecht, Detection of rot in wood beams by ultrasonic method-models studies, Faculty of wood sciences and technology, Technical University of Zvolen, Slovakia.
- [7] FGR. De Oliveria, A technical note on the relationship between ultrasonic velocity and moisture content of Brazilian hardwood (Goupia Glabra), Building and Environment 40, p. 297-300, 2005.
- [8] MP. Norton, Estimation of moisture content in timber using ultrasonics, Applied energy 35, p. 267-297, 1990.
- [9] M. Berna, Auscultation par la méthode RADAR des ouvrages du génie civil, stage de master, janvier-juin 2012.
- [10] D. Correa, Auscultation par méthodes ultrasonores des ouvrages du génie civil, stage de master, janvier-juin 2013.
- [11] H. LI, Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures, thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, en cours
- [12] V. Munoz, Identification de mécanismes d'endommagement de stratifiés carbone-époxyde par couplage de l'émission acoustique et de la thermographie infrarouge, thèse de l'INP, 2015
- [13] I. Yahyaoui, Etude par émission acoustique de l'endommagement des structures multi-matériaux à base de bois, thèse en cours
- [14] F. Eyma, D. Marlot, L.E Denaud, JN. Felices, Utilisation d'une méthode ultrasonore sans contacts pour la recherche de défauts dans le contreplaqué de peuplier : manque de matières / défauts de collage, Journées COFREND, Mont de Marsan, France, 2009.
- [15] M. Ramanakoto, Optimisation et qualification des surfaces usinées – application au matériau bois, thèse en cours
- [16] J. Susainathan, Etude et développement de nouvelles éco-structures base bois, thèse en cours