



HAL
open science

Etude de la durabilité des assemblages collés bois-béton soumis à des chargements hydriques

Louisa Loulou, Sabine Care, Robert Leroy, Michel Bornert, François Bertrand,
S. Chataigner, B. Nedjar

► To cite this version:

Louisa Loulou, Sabine Care, Robert Leroy, Michel Bornert, François Bertrand, et al.. Etude de la durabilité des assemblages collés bois-béton soumis à des chargements hydriques. CFM 2011 - 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. hal-03422613

HAL Id: hal-03422613

<https://hal.science/hal-03422613v1>

Submitted on 9 Nov 2021

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.

Etude de la durabilité des assemblages collés bois-béton soumis à des chargements hydriques

L.LOULOU^a, S.CARE^a, R.LEROY^a, M.BORNERT^a, F.BERTRAND^a, S.CHATAIGNER^b, B.NEDJAR^a

a. Université Paris-Est, Laboratoire Navier, IFSTTAR/Ecole des ponts Paris Tech/CNRS, 77420 Champs-sur-Marne (France)

b. Laboratoire Régional d'Autun, Bd de l'Industrie, 71 400 AUTUN

Résumé :

L'étude a pour objectif de déterminer les paramètres qui gouvernent les mécanismes d'endommagement d'un assemblage collé bois/béton soumis à des chargements hydriques. Des mesures des déformations globales par palmer et de déformations locales par la technique de corrélation d'image ont été réalisées lors du chargement hydrique. On analyse le comportement global de la structure en liaison (i) avec des aspects plus locaux notamment les déformations du bois liées à sa teneur en eau (via des mesures par IRM et de gammadensimétrie) et (ii) avec les propriétés de la colle pour comprendre les couplages hygro-mécaniques.

Abstract :

This study aims at determining the relevant parameters which induce damage on glued wood-concrete composite assemblages subjected to variable hygrometric conditions. Global strains of a glued wood-concrete sample during a water imbibition test are measured using a micrometer palmer while local strains are measured by the digital image correlation technique. The global behaviour is analyzed through (i) local aspects including the wood deformations related to the water content which is measured by MRI and gammadensimetry techniques, and (ii) the adhesive behaviour to understand hydro-mechanical couplings.

Mots clefs : assemblage collé, béton, bois, comportement hygro-mécanique, endommagement

1 Introduction

Dans un contexte visant à mettre en oeuvre de nouvelles typologies de structures plus performantes, plus écologiques et économiques, le laboratoire Navier travaille depuis plusieurs années au développement de structures mixtes bois-béton. Les travaux réalisés ont ainsi permis de développer un système d'assemblage par collage plus performant en termes de rigidité que les techniques d'assemblage usuelles (connecteurs métalliques locaux ou discontinus). Ce type de connexion a d'abord fait l'objet d'une validation en fatigue pour des conditions hygrométriques et thermiques constantes [1, 2, 3].

L'étude est aujourd'hui approfondie pour répondre à la question de la durabilité de ces assemblages lorsqu'ils sont soumis à des chargements hydriques variables [4, 5]. En effet, la variation de teneur en eau peut induire des dommages sur les différents matériaux constituant la structure (l'adhésif, le bois et le béton). Les adhésifs sont très sensibles aux conditions environnementales. Leurs propriétés sont altérées lorsqu'ils sont soumis à des chargements hydriques et ce mécanisme est irréversible. Dans le cas d'assemblages collés bois-bois [6], il a été montré que l'eau pouvait induire l'endommagement de la colle par hydrolyse et/ou fissuration conduisant à une perte des propriétés d'adhérence. Pareillement, le bois et le béton peuvent être endommagés par des effets de retrait-gonflement du bois qui peuvent être empêchés par l'interface collée [7,8,9].

Ce travail a pour objectif d'évaluer les effets potentiels des déformations empêchées sur la durabilité de l'assemblage collé bois-béton. Nous présentons la mise en place d'un essai de dégradation qui permet de caractériser les déformations empêchées au niveau de l'interface collée.

2 Méthodes expérimentales

Une première étape de cette étude consiste à évaluer les facteurs qui influent sur la durabilité des assemblages collés bois-béton. En effet sous l'action de l'hygrométrie ambiante, le bois voit son volume

varier, et cette variation de volume dépend de la teneur en eau du bois. Ceci peut entraîner des contraintes à l'interface, liées aux retraits-gonflements non négligeables du bois qui sont empêchés par l'interface collée. Un test de dégradation accéléré a été mis en place afin de caractériser les phénomènes de retrait-gonflement empêchés.

2.1 Echantillons et chargements hydriques

De petits corps d'épreuves de dimension L 80mm * l 80mm* h 60mm sont constitués de bois massif d'épicéa et de matériau cimentaire (un mortier normalisé ou une pâte de ciment à E/C=0,4 d'épaisseur environ 20 mm) assemblés grâce à 2 mm environ de colle structurale de type époxy. Ces échantillons sont soumis à des tests d'imbibition comme représentés sur la figure 1. Le bois étant un matériau hétérogène, les échantillons ont été choisis de façon à minimiser les divergences expérimentales liées à la structure du bois. Les cernes du bois étant un facteur important dans l'étude du comportement hygro-mécanique du bois, nous avons veillé à ce que leur géométrie (épaisseur et forme des cernes) soient très proches d'un échantillon à un autre. De plus, dans nos essais nous avons fait varier le sens des cernes par rapport au plan de collage de manière à étudier l'effet de l'anisotropie et de l'hétérogénéité du bois sur l'endommagement de l'assemblage.

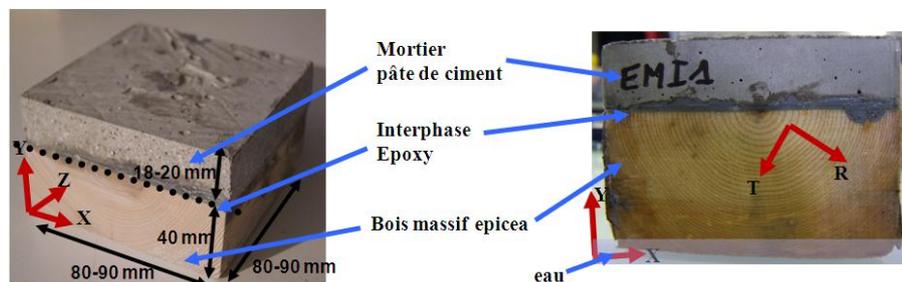


Figure 1 : Test d'imbibition sur échantillon de bois massif/matériau cimentaire collé

Les corps d'épreuves sont placés dans les mêmes conditions, et toutes les surfaces latérales, exceptée la face inférieure qui est imbibée, sont protégées par de la peinture. On vérifiera si le processus peut alors être considéré comme unidirectionnel.

2.2 Démarche expérimentale

Suivi dimensionnel : mesures globales et locales

Un suivi des déformations a été effectué au cours du test d'imbibition. Les déformations locales des échantillons dans le plan XY ont été obtenues par la technique de corrélation d'image [10] afin de caractériser précisément les incompatibilités mécaniques à l'interface. Il a été question dans un premier temps de valider l'utilisation de la technique de corrélation d'image sur un test de type imbibition d'un échantillon de bois. Pour vérifier que les déformations mesurées en surface sont bien représentatives des déformations existantes au cœur de l'échantillon, les déformations globales selon l'axe X ont été mesurées à l'aide d'un palmer, dans un échantillon de bois seul pour différentes positions suivant Y et Z (figure 2) et comparées aux cartes de déformations locales données en surface.

Corrélation avec la teneur en eau

Parallèlement la diffusion de l'eau dans le bois a été étudiée par les techniques de gammadensimétrie et d'Imagerie par Résonance Magnétique pour corréler qualitativement les déformations observées à la teneur en eau dans le bois.

Nous avons effectué un suivi par IRM et par gammadensimétrie de deux échantillons de bois seul soumis à un test d'imbibition. D'abord l'IRM a permis d'obtenir des images bidimensionnelles moyennées sur l'ensemble de l'échantillon, dont le niveau de gris représente la teneur en eau dans le bois. L'analyse a été faite dans les deux plans XY et YZ pour vérifier les effets de bords. Nous avons ensuite utilisé la technique de gammadensimétrie pour confirmer les résultats obtenus par IRM. Via la technique de gammadensimétrie nous avons obtenu des profils de teneur en eau dans l'échantillon de bois proche de la surface libre et au cœur de l'échantillon (figure 2).

Ainsi, pour étudier la validité du test de corrélation d'image, chaque échantillon a été choisi et découpé de façon à ce que leurs cernes soient semblables (de même épaisseur et le cœur toujours centré). L'imbibition se

fait toujours dans les mêmes conditions, le cœur du bois se trouve toujours en haut (face opposée à la face imbibée).

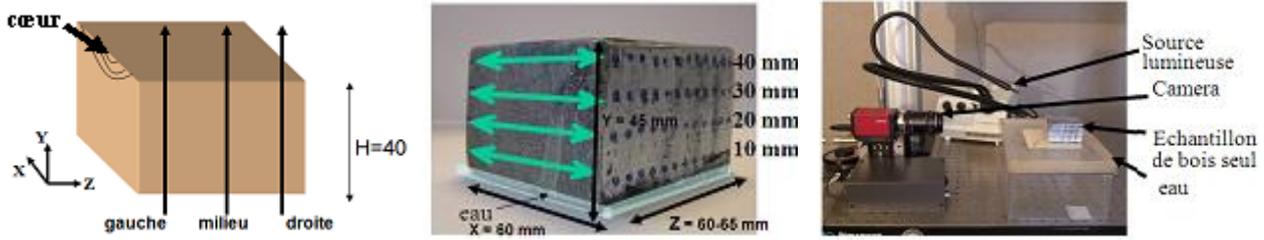


Figure 2 : Protocole expérimental (respectivement : profils de teneur en eau des essais de gammadensimétrie ; mesures au palmer des déformations X globales ; dispositif expérimental des mesures de déformations locales en surface par la technique de corrélation d'image)

3 Résultats expérimentaux

3.1 Validité du test de corrélation d'image sur un échantillon de bois seul

Nous avons montré par des mesures de déformations globales qu'il existe des effets de surface. Les déformations mesurées dans la direction X proches de la face imbibée sont supérieures aux bords par rapport à celles mesurées au milieu de l'échantillon. En revanche, il n'y a pas d'effet de surface sur la déformation en haut de l'échantillon (mesures prises au dessus de 20 mm : voir figure 3). Ces résultats sont confirmés par les images IRM dans le plan YZ et par les 3 profils de teneur en eau obtenus par gammadensimétrie qui ont montré la présence d'eau plus importante aux bords en bas de l'échantillon : l'eau pénètre dans le bois par capillarité et diffuse le long de l'axe Z, parallèlement aux fibres du bois (figure 4).

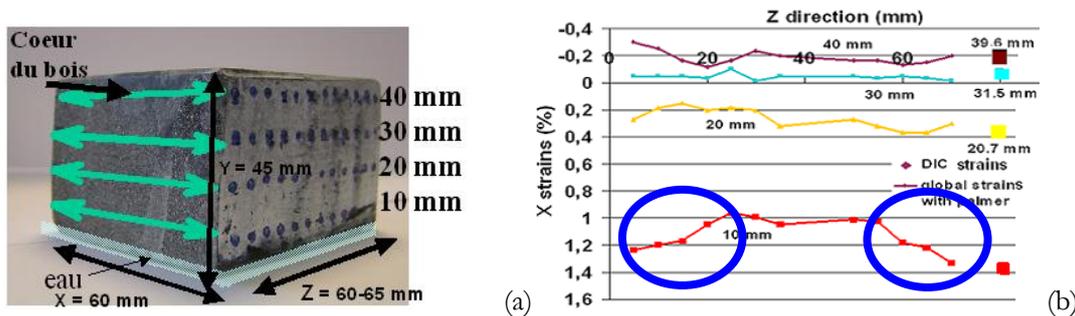


Figure 3 : (b) Comparaison des déformations globales mesurées 2 jours après imbibition le long de l'axe Z de l'échantillon sur 4 hauteurs Y (photo a), et déformations moyennes mesurées en surface via la technique de corrélation d'image à 2 jours.

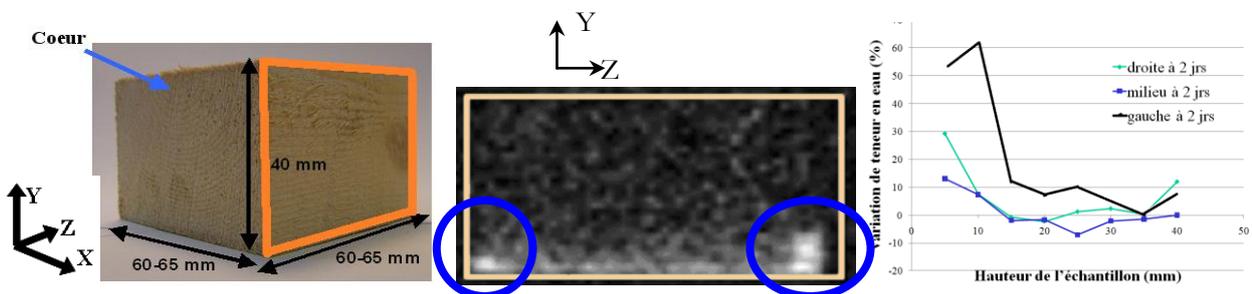


Figure 4 : Image IRM d'un échantillon de bois seul testé en imbibition dans le plan YZ deux jours après le début de l'imbibition et profils de teneur en eau obtenus par gammadensimétrie à droite

On s'intéresse au comportement à l'interface de la structure, et ces essais montrent qu'au niveau de l'interface, ce qui se passe aux bords (en surface) dans les échantillons est bien représentatif de ce qui se passe en volume dans le cas de tests d'imbibition.

3.2 Comportement du bois

On peut corrélérer les 3 techniques (IRM, gammadensimétrie, corrélation d'image), et relier la teneur en eau dans le bois aux déformations (figure 6). La présence d'eau induit du gonflement dans le bois. On observe un front de diffusion après deux jours d'imbibition à environ $y=15$ mm. Au dessus de ce front, on n'observe pas de fortes variations de teneur en eau mais les déformations observées dans le bois sont dues à un effet de structure du bois qui est un matériau rigide. Dans le cas où le cœur est en haut, on observe alors un effet de flexion expliqué (1) par la rigidité du matériau bois, (2) par ses propriétés hydro-mécaniques (le coefficient de dilatation tangentiel (environ 7%) est supérieur au coefficient de dilatation radial (environ 4%) et (3) l'hétérogénéité de teneur en eau, qui induisent les fortes déformations observées en bas de l'échantillon). La face supérieure du bois (face sur laquelle est collé le béton) est alors comprimée et fléchie.

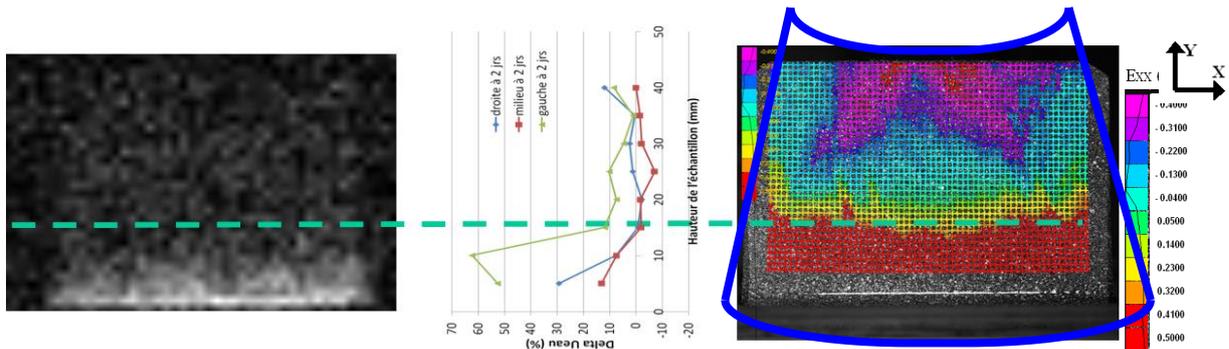


Figure 5 : corrélation entre les 3 techniques (IRM plan XY, Gammadensimétrie, corrélation d'image) après deux jours d'imbibition. La base de mesure des déformations locales est d'environ 2mm.

3.3 Comportement de l'assemblage collé bois-béton

Pour étudier l'effet du comportement du bois sur l'endommagement de l'assemblage collé, nous avons étudié deux cas en faisant varier le sens des cernes. Dans un cas le cœur du bois se trouve près de l'interface collée (figure 6), dans l'autre le cœur est près de la face imbibée (figure 9).

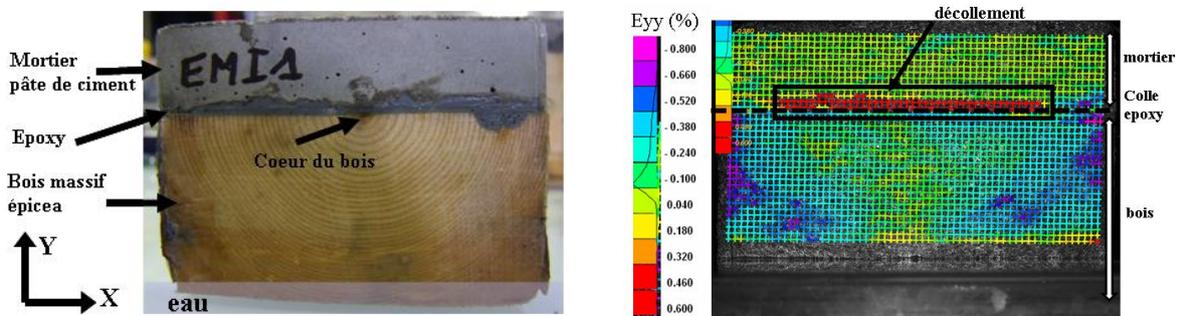


Figure 6 : composante YY des déformations locales (corrélation d'image) après 2 jours d'imbibition.

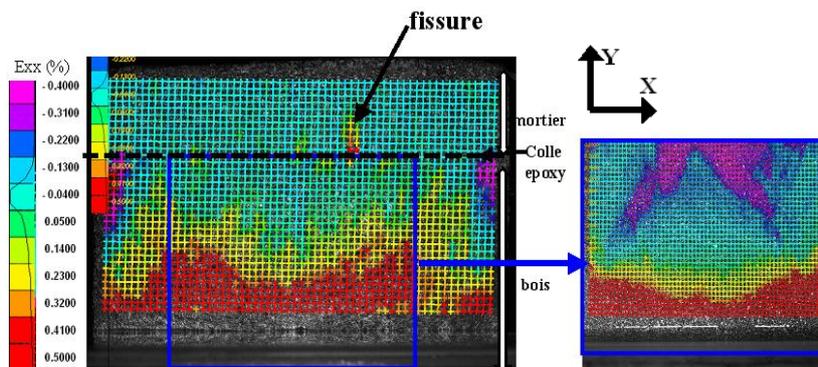


Figure 7 : composante XX des déformations locales (corrélation d'image) après 2 jours d'imbibition d'un échantillon de bois-mortier collé et comparaison avec les déformations d'un échantillon de bois seul

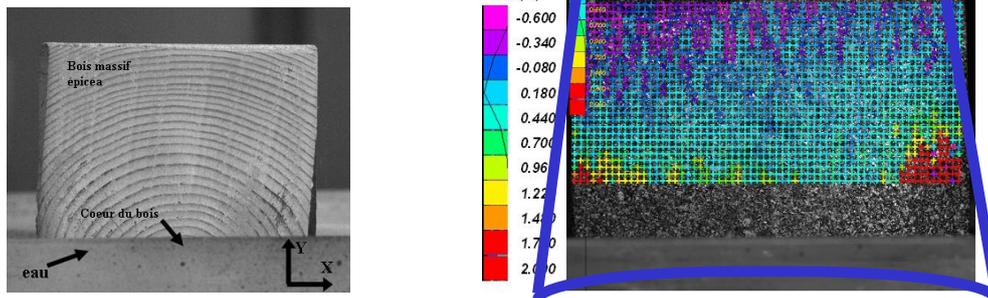


Figure 8 : déformations locales libres dans la direction X d'un échantillon de bois dont le cœur se trouve en bas de l'échantillon

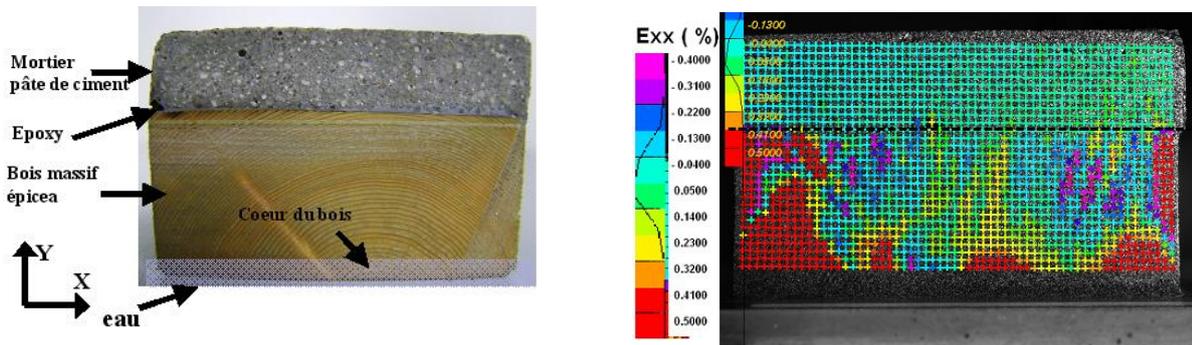


Figure 9 : photo de l'échantillon testé, déformations locales dans la direction X de l'échantillon après 2 jours d'imbibition (le mortier n'a pas fissuré).

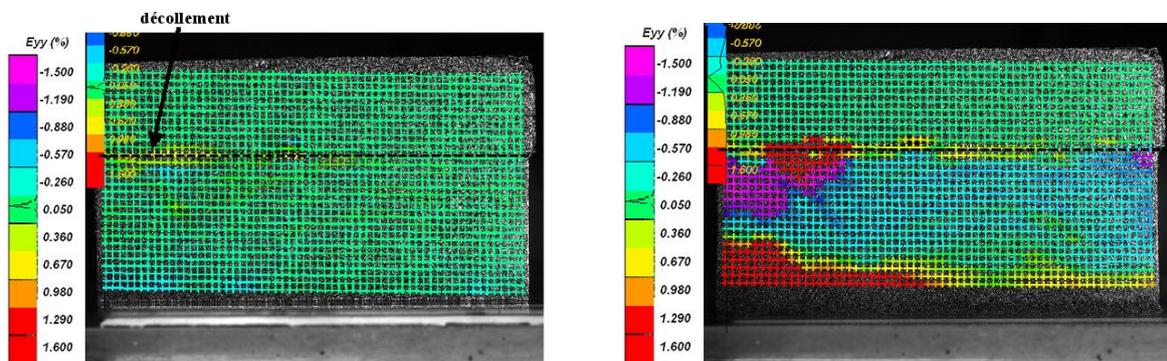


Figure 10 : composante YY des déformations locales après 1h et 2 jours d'imbibition

Dans le cas où le cœur du bois se trouve près de l'interface collée, le suivi des déformations des échantillons de bois-mortier collés ont montré 2 types de mécanismes d'endommagement.

La flexion du bois, même si elle est empêchée par le collage induit très rapidement (après 1h d'imbibition) un léger décollement du mortier. L'initiation de ce décollement se fait au niveau du cœur du bois et se propage le long de l'interface vers l'extérieur (figure 6). Le décollement n'est pas complet, le collage est encore suffisamment résistant pour que le mortier suive les déformations du bois jusqu'à fissurer après 18h d'imbibition (figure 7). La figure 7 compare les déformations dans la direction X du bois libre aux déformations empêchées. Les déformations empêchées du bois sont dues à la rigidité du mortier et aux propriétés adhésives de l'interface collée.

Dans le cas où le cœur du bois est au niveau de la face inférieure (figure 8), les déformations observées dans le bois sont différentes de celles décrites précédemment. Dans ce cas le gonflement du bois en bas de l'échantillon induit aussi de la compression à l'interface, d'intensité comparable mais de distribution plus homogène, probablement du fait d'une plus grande homogénéité des propriétés du bois près de l'interface.

On s'attend donc au même effet de flexion liée à la rigidité du bois que dans le premier cas. Cependant les effets mécaniques sont différents au niveau de l'interface du fait de dilatations différentes selon les directions d'anisotropie du bois. Dans cette configuration, nous n'observons pas de fissure dans le mortier mais la corrélation d'image montre un léger décollement de l'interface, qui s'initie au bord gauche de l'échantillon comme le montre la figure 10 et progresse vers l'intérieur de l'éprouvette.

4 Conclusion et perspectives

Nous avons montré que le retrait-gonflement empêché du bois au niveau de l'interface collée engendre des contraintes dans l'assemblage, et peut provoquer des dégradations à l'interface dans les matériaux constitutifs. Nous avons observé deux mécanismes d'endommagement couplés : le décollement et la fissuration du mortier qui sont dus aux déformations du bois. Nous avons aussi montré que les déformations observées dans le bois sont liées à sa teneur en eau et à un effet de structure dépendant de ses propriétés hygro-mécaniques et de sa microstructure (notamment de ses directions d'anisotropie qui varient spatialement). Une étude menée parallèlement aborde l'effet des propriétés de la colle notamment de la rigidité de la colle sur le comportement de l'assemblage collé bois-mortier soumis à des chargements hydriques. Des tests de cisaillement ont aussi été mis en place pour ce type d'assemblage afin d'étudier les propriétés d'adhérence de la colle sur les deux matériaux bois et béton [11]

Ces différentes investigations menées doivent permettre de comprendre le comportement hygro-mécanique de l'ensemble de la structure bois-béton afin de développer et de valider un modèle numérique par éléments finis (basé sur une analogie thermo-mécanique) qui va permettre d'optimiser ce type de connexion et de définir des conditions de mise en œuvre et d'utilisation de ces assemblages.

Références

- [1] Pham H.S., *Optimisation et comportement en fatigue de la connexion bois-BFUP pour de nouveaux ponts mixtes*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2007.
- [2] R. Le Roy, H.S. Pham, G. Foret, (2009) new wood composite bridges, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol.13, n°9, pp. 1125-1139
- [3] J.M. Tanis, R. Delfino, R. Le Roy, J.F. Caron, G. Foret, H.S. Pham, M. Cardin, S. Bouteille, J. Resplendino, European project available at http://nr2c.fehrl.org/?m=23&id_directory=948 (2008)
- [4] L. Loulou, "Durabilité des assemblages bois béton sous chargements environnementaux, Thèse de doctorat, université Paris-Est, 2009-2012.
- [5] L. Loulou, S. Caré, R. Le Roy and M. Bornert, Damage of Wood-Concrete Composite subjected to variable hygrometric conditions, 14th International Conference on Experimental Mechanics, ICEM14, Poitiers, France, 4-9 July 2010. DOI: 10.1051/epjconf/20100628002.
- [6] J. Custodio, J. Broughton, H. Cruz, A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints, *International journal of Adhesion & Adhesives* 29 173-185 (2009)
- [7] H. Sakagami, J. Matsumura, K. Oda, In situ visualization of hardwood microcracks occurring during drying, *Journal of Wood Science*, 55 (5), 323-328 (2009).
- [8] C.-L. Hwang, J.F. Young, Drying shrinkage of Portland cement pastes. *Cement and Concrete Research* 14 (4) 585-594 (1984).
- [9] Bisschop J, Drying shrinkage microcracking in cement-based materials, *Materials and Structures* 2002; 35:453-461
- [10] M. Bornert, F. Vales, H. Gharbi and D. Nguyen Minh, Multiscale Full-Field Strain Measurements for Micromechanical Investigations of the hydromechanical Behaviour of Clayey Rocks, *Strain*, 46, 33-46 (2010)
- [11] S. Chataigner, A. Flety, C. Aubagnac, L. Loulou, S. Caré, R. Leroy, Transfert des efforts par collage structural entre bois et beton : Utilisation d'un essai push-out pour le choix de l'adhésif, GC2011, Cachan, France, 22-24 mars 2011