

Neutralisation du mouillage par l'adsorption de l'eau liée dans les parois du bois (feuillus) observée par microtomographie aux rayons X

ZHOU Meng¹, CARE Sabine¹, AIMEDIEU Patrick¹, BONNET Marie¹,
BORNERT Michel¹, KING Andrew², COUSSOT Philippe¹

¹ Université Paris-Est, Laboratoire Navier, ENPC-IFSTTAR-CNRS,
Champs-sur-Marne, France

² Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers Saint-Aubin, Gif-sur-Yvette, France
meng.zhou@ifsttar.fr

Mots clefs : Mouillage, Imbibition, Eau liée, Feuillu, Tomographie aux rayons X

Contexte et objectifs

La compréhension des mécanismes de transferts d'eau dans le bois est essentielle pour étudier les comportements de ce matériau de construction sous différentes conditions, par exemple, en imbibition ou en séchage. Nous nous intéressons ici à l'imbibition d'eau dans un feuillu, dont la structure est considérée comme un milieu poreux composé principalement de longs tubes parallèles (vaisseaux), dans une matrice de petites cellules allongées (fibres) avec des longueurs limitées. Malgré la structure relativement simple, nos résultats récents montrent que, contrairement à une imbibition capillaire dans un milieu poreux homogène, la pénétration d'eau dans le bois est de 3 ordres de grandeur plus lente par rapport à ce qui est prédit par la loi de Washburn. Ce décalage significatif ne semble pas être dû à un « mauvais » mouillage (angle de contact supérieur à 90°), puisque nous avons observé qu'à long terme, l'eau est capable d'atteindre des hauteurs importantes. Les mesures par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) permettant de distinguer l'eau libre dans le lumen et l'eau liée absorbée dans la paroi, suggèrent que la pénétration d'eau est contrôlée par la diffusion de l'eau liée dans la paroi (Zhou et al 2017).

Pour comprendre l'origine de ces phénomènes, nous avons réalisé des observations directes au sein des cellules de bois à l'échelle du μm à l'aide de la microtomographie aux rayons X. Par l'atténuation du signal à travers des régions avec différente densité locale, nous sommes capables, via les niveaux de gris sur les images obtenues, de différencier l'eau, l'air et la matière du bois. Les évolutions de la structure interne du bois, de l'angle de contact de l'interface eau/air, et de la forme des ménisques sont directement mesurables par analyse d'images.

Matériel et méthodes

Des éprouvettes de charme de section transversale d'environ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ pour 4 mm de longueur sont préparées. L'échantillon est tenu verticalement dans un récipient d'environ 2 cm de diamètre, puis de l'eau est injectée dans le récipient de façon à immerger l'échantillon de quelques mm (Fig. 1). 4 images successives avec une résolution de $1,3 \mu\text{m}$ pendant les 30 premières minutes après le début de l'imbibition sont réalisées sur la ligne Psiché du centre de rayonnement synchrotron SOLEIL. Une image de référence avec l'échantillon sec a été prise avant l'imbibition. Pour comparer avec l'eau qui est un liquide polaire, nous avons aussi réalisé des essais avec de l'huile de silicone 47V350 (viscosité : 350 mPa.s), qui est un liquide non-polaire. Nos résultats précédents (Zhou et al 2017) ont montré que contrairement à l'eau, l'imbibition d'huile de silicone suit bien la loi de Washburn en utilisant une perméabilité estimée à partir de la structure du milieu. Pour ces essais avec de l'huile, l'échantillon est d'abord immergé de quelques mm dans du liquide pendant 2 min, puis il en est sorti pour

réaliser des observations. Cette fois-ci les observations sont réalisées avec le tomographe aux rayons X disponible au Laboratoire Navier, avec une taille de voxel de $1,7 \mu\text{m}$ et une durée de scan d'environ 18h.

Résultats

L'analyse des images dans différents plans nous permet de mettre en évidence la distribution du liquide dans le bois. La Fig. 2 nous montre une coupe transversale après quelques minutes d'imbibition d'eau. Sur cette coupe nous observons que, d'une part la majorité de l'eau se trouve au sein des vaisseaux et d'autre part, seule une fraction de fibres autour de vaisseaux est remplie d'eau. Cette observation met en évidence que les vaisseaux sont bien des voies importantes pour le transport de l'eau.

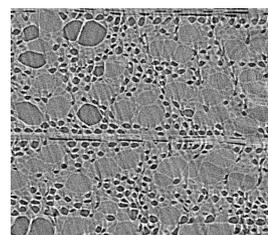


Fig. 1 : Eprouvette pour tests d'imbibition d'eau Fig. 2 : Coupe RT pendant l'imbibition

La haute résolution des images nous permet d'observer directement la forme des interfaces eau/air au sein des cellules sur les coupes TL (Fig. 3). Des interfaces planes et droites, parfois penchées, sont observées. Ceci montre notamment que la pression de Laplace à l'interface, qui est inversement proportionnelle au rayon de courbure, est très faible, voire nulle. Les effets capillaires sont donc, au moins momentanément, négligeables. Cette observation suggère qu'un autre effet, probablement l'adsorption de l'eau liée dans la paroi, est responsable des transferts d'eau dans les vaisseaux. Au contraire, l'huile de silicone montre un bon mouillage (angle de contact : 20°) sur la paroi de vaisseaux (Fig. 4), ce qui explique son comportement bien décrit par la loi de Washburn.

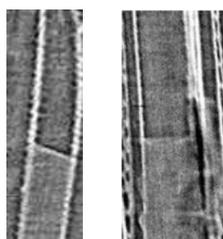


Fig. 3 : Interfaces eau/air planes observées dans des vaisseaux Fig. 4 : Interface eau/huile avec un angle de contact environ 20°

Remerciements

Ces travaux ont été rendus possibles grâce au financement du Labex MMCD, et aux accès au synchrotron Soleil (20141433 proposal) et au microtomographe aux rayons X de Navier.

Référence

Zhou M., Caré S., Courtier-Murias D., Faure P., Rodts S., Coussot P. (2017). How bound and free water dynamics coupling slow down wood imbibition, Submitted to Wood Science and Technology, en révision.