

Observation par IRM des mécanismes d'imbibition dans le bois

M.Zhou, D.Courtier-Murias, P.Faure, S.Rodts, S.Caré, P.Cousot

Université Paris-Est, Laboratoire Navier, ENPC-IFSTTAR-CNRS, 2 allée Kepler, 77420 Champs-sur-Marne, France

Mots clés : bois, imbibition, IRM

1 Introduction

Le bois est un matériau de construction très sensible à la présence d'eau, qui peut induire des déformations importantes et des désordres dans la structure. Les interactions du bois avec l'eau à l'échelle locale ont été largement étudiées, mais les connaissances concernant les transferts d'eau dans le bois au-dessus du point de saturation des fibres à une échelle macroscopique (entre 1 cm et 1m) sont encore incomplètes. Dans l'arbre vivant, l'eau monte vers les feuilles via le système vasculaire grâce à des effets capillaires. On suppose en général qu'en régime stationnaire cet écoulement longitudinal peut être décrit par la loi de Darcy [1]. Cependant l'origine physique de la perméabilité reste problématique car le bois possède une structure très inhomogène et anisotrope, l'eau existe au sein du matériau sous différentes formes, et les interactions entre le liquide et la matrice peuvent induire des déformations. De plus, plusieurs auteurs ont conclu que cette perméabilité dépendait de la longueur de l'échantillon [1], ce qui est incompatible avec une simple loi de Darcy et l'existence d'une perméabilité intrinsèque.

Compte tenu de cette complexité il paraît crucial de mesurer, au cours du temps, la distribution spatiale de l'eau dans ses différents états. Des méthodes non-destructives, telles que la tomodensitométrie [2], la neutronographie [3] ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM) [4] ont été ponctuellement utilisées pour étudier la distribution d'eau dans le bois. L'IRM a notamment permis de visualiser les voies d'écoulement dans un résineux [4]. Dans notre travail nous utilisons l'IRM disponible au Laboratoire Navier avec une bonne résolution spatiale et temporelle, ce qui nous permet de visualiser la dynamique des transferts et quantifier les évolutions de la teneur en eau dans un feuillu au cours de l'imbibition.

2 Matériaux et méthodes

Nous nous intéressons à l'imbibition dans un peuplier. Il s'agit d'un feuillu à pores-diffus, ses éléments structurels principaux sont des vaisseaux relativement uniformes en taille (de l'ordre de 50 μm de diamètre), entourés par des cellules trachéides à paroi épaisse [1]. Les échantillons sont prélevés dans le duramen (« heartwood ») sur 10 cm de longueur (dans la direction d'alignement des fibres, qui est également la direction d'imbibition), et 4 x 1.6 cm dans le plan transversal. La partie inférieure de l'échantillon est immergée dans l'eau sur une profondeur d'environ 1 cm. Tous les échantillons sont conditionnés dans un dessiccateur dont l'humidité est contrôlée à 55% avant l'imbibition. Les faces latérales de l'échantillon sont imperméabilisées pour éviter des effets de bord (montée capillaire externe plus rapide).

Pour les mesures nous utilisons un spectromètre imageur bas champ DBX 24/80 de Bruker opérant à 0,5 T avec une fréquence de 20 MHz pour le proton et une puissance de gradient de 50 mT/m. La bobine utilisée permet un champ de vision jusqu'à 20 cm. La distribution spatiale du liquide est mesurée avec une séquence d'écho de spin et une résolution d'environ 0,5 mm. La dynamique de l'imbibition est suivie pendant 3 jours.

3 Résultats

La figure 1(a) montre l'image d'une tranche de 2 mm située au sein de l'échantillon, à différents moments durant l'imbibition. La migration du fluide dans le bois est très hétérogène: le front de propagation correspond aux différentes zones générées par l'arbre à différentes saisons de croissance. L'eau envahit d'abord les vaisseaux les plus concentrés dans le bois initial («earlywood»), puis semble également atteindre les autres zones situées à proximité dans le plan transversal (horizontal sur la

figure). Des mesures de profils de teneur en eau le long de l'axe vertical permettent une autre approche plus quantitative du phénomène (voir figure 1(b)). Chaque point d'un profil donné correspond ici à la teneur en eau totale dans une fine tranche de bois horizontale située à une certaine hauteur. Nous voyons ici clairement que l'évolution de ces profils ne correspond pas à celle attendue pour une imbibition de type Washburn, qui se développerait sous la forme d'un front de saturation progressant dans le matériau. Ici l'eau monte dans le milieu non seulement verticalement, mais elle continue aussi de remplir inexorablement le matériau à des niveaux inférieurs à celui du front. Cette forme d'imbibition ne correspond pas non plus à celle que l'on peut observer pour un milieu poreux hétérogène [6] ni à celle suggérée pour le bois et décrite par un modèle stochastique [7-8], qui prédisent toutes deux la progression d'une zone saturée devancée par une zone partiellement saturée.

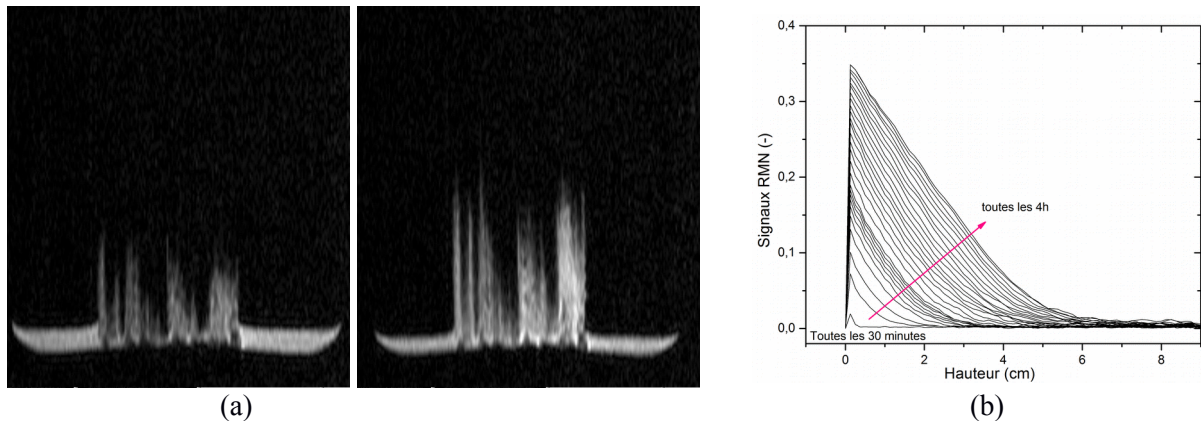


Figure 1: (a) Image par IRM de la distribution d'eau dans une tranche interne de l'échantillon en coupe longitudinale, à deux temps différents : 7h (à gauche) et 77h (à droite) après le début de l'imbibition ; (b) Distribution de teneur en eau au cours du temps le long de l'axe vertical du bois : au début profils toutes les 30 minutes, puis toutes les 4 h.

4 Conclusion

Ces observations par IRM fournissent une nouvelle approche, à la fois qualitative et quantitative, pour mieux comprendre les transferts d'eau dans le bois. On constate que le modèle de Washburn (s'appuyant sur la loi de Darcy) ne s'applique pas directement. Les modèles d'imbibition capillaire en milieu poreux complexe ne semblent pas non plus permettre de décrire les phénomènes observés. Des travaux en cours montrent qu'un modèle basé sur une distribution de tubes parallèles de différentes tailles permet de décrire correctement ces mécanismes. Nous cherchons actuellement à confronter plus complètement ce modèle à des expériences avec différents types de liquides, et à relier la structure anatomique du bois à ces comportements (détermination des paramètres du modèle à partir de la structure observée).

Références

- [1] J.F.Siau, *Transport Processes in Wood*, 74. Springer-Verlag, New York (1984).
- [2] K.Sandberg, J.G.Salin, Liquid water absorption in dried Norway spruce timber measured with CT scanning and viewed as a percolation process, *Wood Sci Technol*, 46, 207–219 (2012).
- [3] S-G.Marjan, P.Vontobel, E.Lehmann et al, Liquid uptake in Scots pine sapwood and hardwood visualized and quantified by neutron radiography, *Materials and Structures*, 47, 1083-1096 (2014).
- [4] G. Almeida, S. Leclerc, P. Perré, NMR imaging of fluid pathways during drainage of softwood in a pressure membrane chamber, *International Journal of Multiphase Flow*, 34, 312–321 (2008).
- [5] J.Johansson, J-G.Salin, CT-scanning and modelling of the capillary water uptake in aspen, oak and pine, *Eur. J. Wood Prod.* 68, 77–85 (2010).
- [6] S. Gruenera, Z. Sadjadib, H.E. Hermesc, et al, Anomalous front broadening during spontaneous imbibition in a matrix with elongated pores, *PNAS*, 109, 10245-10250 (2012)
- [7] P.Perré, A.Karimi, Fluid migration in two species of beech (*fagus sylvatica* and *fagus orientalis*): A percolation model able to account for macroscopic measurement and anatomical observations, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 4(1), 50-68, (2002).
- [8] J-G.Salin, Modelling water absorption in wood, *Wood Mater Sci Eng*, 3(3),102–108 (2008).