

## PROPOSITION DE POST DOCTORAT (12 MOIS)

**Caractérisation mécanique de la paroi cellulaire du bois de tension en cours de maturation par microscopie à force atomique**

Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC)  
Equipe Bois  
Université Montpellier 2  
CNRS UMR 5508  
(<http://www.lmgc.univ-montp2.fr>)

**Contact**

Olivier ARNOULD  
[olivier.arnould@univ-montp2.fr](mailto:olivier.arnould@univ-montp2.fr)  
04 67 14 96 50

## CONTEXTE GENERAL

Les arbres maintiennent leur orientation (vertical pour le tronc ou avec un certain angle pour les branches) en générant dans leurs tiges une contrainte périphérique asymétrique. La génération de cette contrainte se fait pendant la maturation cellulaire, phase qui commence après la différenciation des jeunes cellules filles au niveau du cambium et qui se poursuit par l'épaississement de la paroi jusqu'à la mort cellulaire. Chez les feuillus, l'asymétrie est générée par la formation d'un bois en très forte contrainte de tension sur la face supérieure de la tige inclinée. Le bois ainsi formé est appelé *bois de tension* et présente des caractéristiques microstructurales fortement distinctes du bois dit *normal*. Une caractéristique remarquable chez la quasi-totalité des espèces tempérées est que les fibres mettent en place une couche pariétale appelée *couche gélatineuse* ou *couche G* qui est non lignifiée et fortement mesoporeuse (Chang et al. 2009). Il a été récemment montré, à l'échelle microscopique, que la mise en tension de la cellulose durant la maturation était synchrone à l'apparition de cette couche (Clair et al. 2011). De nombreuses espèces tropicales, telles que le simarouba, ne se conforment pas au modèle de paroi du bois de tension à couche G observé chez les plantes tempérées. Les mécanismes de génération de contraintes dans les fibres du bois de tension, avec et sans couche G, restent mal connus. Ils sont actuellement l'objet de recherches dans le cadre du projet ANR « Stress in Trees » dont le LMGC est partenaire. L'une des clés repose sur la connaissance de la cinétique spatiale et temporelle de rigidification des différentes couches de la paroi cellulaire au cours de la maturation parallèlement à la mise en tension des différentes couches.

Le LMGC développe et utilise depuis plusieurs années, en collaboration avec l'IES (R. Arinero, Université Montpellier 2, CNRS UMR 5214), une technique de caractérisation mécanique à l'échelle submicrométrique reposant sur la microscopie à force atomique à contact résonnant, dite RC-AFM (Arinero et al. 2007). Cette technique a été utilisée pour caractériser des cellules de bois matures (Clair et al. 2003, Bytebier et al. 2009, Bytebier 2009). Cette technique est en cours d'implantation au sein du service commun CTM « champ proche » (M. Ramonda, Université Montpellier 2) avec l'achat d'une nouvelle électronique permettant de réaliser des cartographies de modules et d'amortissement de contact par DART (Killgore et al. 2011). De plus, le L2C (S. Callas, Université Montpellier 2, CNRS UMR 5221) possède un ultra-nanoindenteur qui pourrait être utilisé pour calibrer les résultats obtenus par AFM (Eder et al. 2013).

## OBJECTIFS PRINCIPAUX DU POST-DOC

- Mise au point et test de la nouvelle instrumentation pour la mesure par RC-AFM sur bois mature et comparaison avec des essais de nano-indentation ;
- Mesure de l'évolution du module et de l'amortissement de contact suivant la direction axiale sur une séquence de cellules de bois en cours de maturation sur des échantillons de peuplier et de simarouba par RC-AFM, et recours éventuel à la nano-indentation pour la calibration ;
- Analyse des données avec mise en relation de la rigidification de la paroi en fonction de la distance au cambium et d'autres données issues des partenaires de l'ANR. Observation des gradients de rigidité éventuels au sein des parois, et de leur évolution au cours de la maturation.
- Rédaction des articles correspondant.

## OBJECTIFS SECONDAIRES DU POST-DOC

- Amélioration de la technique de préparation des échantillons ;
- Mise au point d'une technique permettant de mesurer l'anisotropie élastique transverse de la couche G mature, en particulier comparaison de  $G_{TL}$  et  $G_{RL}$  ;
- Mesure de l'état de tension de chacune des couches de la paroi cellulaire en cours de différenciation par mesure topographique AFM (Clair et al. 2001).

## PROFIL DU CANDIDAT

- Thèse en mécanique ou en physique des matériaux avec une forte sensibilité expérimentale ;
- Connaissances de base en mécanique des milieux continus et du contact. Idéalement connaissance de la mécanique du bois ;
- Connaissances élémentaires en programmation (idéalement Matlab), en acquisition et éventuellement en traitement du signal ;
- Connaissances en instrumentation physique et idéalement dans l'utilisation d'un AFM et/ou d'un nanoindenteur ;
- Aptitudes établies dans la rédaction de publications et de rapports.

Post-doc financé par l'ANR « Stress in Trees » qui porte sur l' « approche couplée physiologique et micro-mécanique de la génération des contraintes de maturation dans le bois de tension ».

**Décision définitive courant décembre 2013, début du post-doctorat à partir de janvier 2014.**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arinero R., Lévêque G., Girard P., Ferrandis J.Y. (2007) Image processing for resonance frequency mapping in atomic force microscopy. *Review of Scientific Instruments*, 78: 6p.
- Bytebier K., Arnould O., Arinero R., Clair B., Almeras T. (2009) Nanomechanical characterization of wood cell walls during maturation process. Dans *6th Plant Biomechanics Conference*, 16-21 nov. 2009, Cayenne (Guyane Française).
- Bytebier K. (2009) Etude du comportement mécanique de la paroi cellulaire du bois par Microscopie à Force Atomique. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
- Chang S.S., Clair B., Ruelle J., Beauchêne J., Di Renzo F., Quignard F., Zhao G.J., Yamamoto H., Gril J. (2009) Mesoporosity as a new parameter in understanding of tension stress generation in trees. *Journal of Experimental Botany*, 60: 3023-3030.
- Clair B., Thibaut B. (2001) Shrinkage of the Gelatinous Layer of Poplar and Beech Tension Wood. *IAWA Journal*, 22(2): 121-131.
- Clair B., Arinero R., Lévêque G., Ramonda M., Thibaut B. (2003) Imaging the mechanical properties of wood cell wall layers by atomic force modulation microscopy. *IAWA Journal*, 24(3): 223-230
- Clair B., Almeras T., Pilate G., Jullien D., Sugiyama J., Riekel C. (2011) Maturation Stress Generation in Poplar Tension Wood Studied by Synchrotron Radiation Microdiffraction. *Plant Physiology*, 155: 562-570.
- Eder M., Arnould O., Dunlop J. W. C., Hornatowska J., Salmén L. (2013) Experimental micromechanical characterisation of wood cell walls. *Wood Science and Technology* 45(3): 461-472.
- Killgore J.P., Yablon D.G., Tsou A.H., A. Gannepalli A., Yuya P.A., Turner J.A., Proksch R., Hurley D.C. (2011) Viscoelastic Property Mapping with Contact Resonance Force Microscopy. *Langmuir*, 27: 13983-13987.