

**Comportement des barriques de chêne lors de l'élevage des vins**  
***Étude des transferts couplés d'eau et d'oxygène en milieu poreux et hygroscopique par imagerie à rayons X***

**OFFRE DE STAGE**

*Possibilité de poursuivre en thèse (CIFRE)*

CONTEXTE

Au cours de la maturation du vin ou des spiritueux en barrique de chêne, l'apport en oxygène est d'une importance capitale mais extrêmement délicat à évaluer. Plusieurs processus physiques affectent l'échange gazeux à travers le fût au cours de la maturation. En particulier, au contact du vin, le bois est progressivement imbibé et l'interface liquide-gaz se déplace de l'intérieur de la barrique vers l'extérieur. Cette imbibition du bois par le vin engendre une diminution des échanges gazeux.

La tonnellerie Taransaud (groupe CHÊNE & Cie) et le Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM, CentraleSupélec) collaborent actuellement pour mener une étude approfondie concernant les transferts couplés de liquide et d'oxygène dans le bois de chêne de tonnellerie.

De précédents travaux doctoraux ont permis de mettre au point une méthode inédite et non destructive de suivi de ces transferts couplés, en mobilisant des techniques complémentaires :

- Un dispositif inédit été développé pour suivre un échantillon de bois par imagerie-X tout en contrôlant les conditions imposées sur chacune de ses faces. L'échantillon et son support sont placés dans un système d'imagerie-X constitué d'une source micro-focus et d'un détecteur CCD (Fig. 1). Il permet une observation non-destructive de l'imbibition du liquide dans le bois. Les échantillons étudiés, dont une face est en contact avec du liquide (face avant), sont positionnés dans l'axe des rayons X tout au long de l'expérience. Par analyse d'image, il est ainsi possible de quantifier l'évolution de la teneur en eau au cours de l'imprégnation,
- Le volume de gaz en contact avec la face opposée (face arrière) de l'échantillon est instrumenté pour suivre le taux d'oxygène par mesure optique de fluorescence. En face avant, le taux d'oxygène est subitement modifié (par bullage d'azote pur ou d'air dans l'eau), et son évolution en face arrière est analysé par méthode numérique inverse (Fig. 2).

Cette méthode d'analyse originale permet donc de déterminer l'évolution de la diffusivité du bois de chêne en fonction de son état hydrique qui module l'apport d'oxygène dans le vin au cours de l'élevage.

Une campagne d'essais préliminaires a permis de confirmer la pertinence et la performance de la méthode développée. Dès lors, la simulation de l'apport d'oxygène dans le vin au cours de l'élevage par diffusion dans le bois peut être envisagée.

OBJECTIF

Le ou la stagiaire devra poursuivre le développement des outils expérimentaux et numériques précédemment décrits et les appliquer à l'étude rigoureuse des transferts couplés de liquide et d'oxygène dans le bois de chêne de tonnellerie. L'eau, composé majoritaire du vin, sera utilisée comme liquide modèle.

## DESCRIPTION DES TRAVAUX A EFFECTUER

Une étude bibliographique sera demandée en début de stage pour situer et orienter les travaux. Le travail proposé lors du stage intègre trois actions principales :

- Poursuivre les développements par (i) l'installation et la calibration d'une nouvelle source de rayons X, (ii) la qualification de l'étanchéité du support échantillon,
- Choisir les conditions expérimentales et conduire une campagne d'essais permettant d'obtenir les conditions en face arrière et les profils de teneur en eau au cours du temps,
- Analyser numériquement les résultats pour identifier les propriétés macroscopiques de transfert massique du bois par comparaison avec les données expérimentales,
- En déduire l'effet de la teneur en eau locale sur la diffusivité à l'oxygène : cela pourra se faire par exemple par une loi de mélange capable de prédire la diffusivité macroscopique en fonction de la proportion et des diffusivités à l'oxygène de chacune des trois phases présentes dans le milieu poreux : parois cellulaires, phase liquide et phase gazeuse.

Ce travail pourra éventuellement être poursuivi dans le cadre d'une thèse CIFRE en cours d'instruction.

## MODALITÉS PRATIQUES

D'une durée de 4 à 6 mois, le stage aura lieu sur le campus de Gif-sur-Yvette au sein du LGPM et peut commencer dès que possible.

Le ou la stagiaire disposera de tous les moyens, matériels et humains, nécessaires au bon déroulement de son stage. Il ou elle pourra s'appuyer sur les compétences du laboratoire, notamment en conception expérimentale en imagerie. Par ailleurs, il ou elle bénéficiera de moyens matériels et numériques acquis et développés dans le cadre du précédent doctorat.

Une gratification mensuelle de 600 euros par mois sera attribuée.

## PROFIL RECHERCHÉ

L'étudiant(e) devra être issu(e) d'une formation Bac+5 en *Sciences de l'Ingénieur* ou *Génie des procédés* disposant de compétences ou d'une appétence en *Sciences des Matériaux*.

La rigueur expérimentale est une qualité nécessaire au bon accomplissement de ces travaux. Il est également attendu que l'étudiant(e) fasse preuve de curiosité, d'initiative, d'analyse critique et d'autonomie au cours de ce stage. Le ou la candidat(e) doit démontrer un intérêt pour la recherche académique (dans la perspective de poursuivre en doctorat) et des compétences en sciences numériques (analyse d'images, simulation). Des connaissances en sciences du bois seraient un plus.

Une maîtrise de la langue anglaise est exigée.

## ENCADRANTS

Patrick PERRÉ, Professeur (CentraleSupélec)

Julien COLIN, Maître de conférences (CentraleSupélec) : 01 75 31 60 04

Joel CASALINHO, Ingénieur d'études (CentraleSupélec)

Rémi TEISSIER DU CROS, Chef de projet R&D / Responsable Bureau d'Étude (CHÊNE & Cie / Taransaud) : 06 81 53 32 72

François LITOUX-DESRUES, Directeur R&D (CHÊNE & Cie) : 06 82 61 79 07

## CONTACTS

Les candidatures, comprenant un CV détaillé, une lettre de motivation et les bulletins des deux dernières années, sont à adresser aux trois contacts suivants :

[joel.casalinho@centralesupelec.fr](mailto:joel.casalinho@centralesupelec.fr)

[julien.colin@centralesupelec.fr](mailto:julien.colin@centralesupelec.fr)

[rteissierducros@taransaud.com](mailto:rteissierducros@taransaud.com)

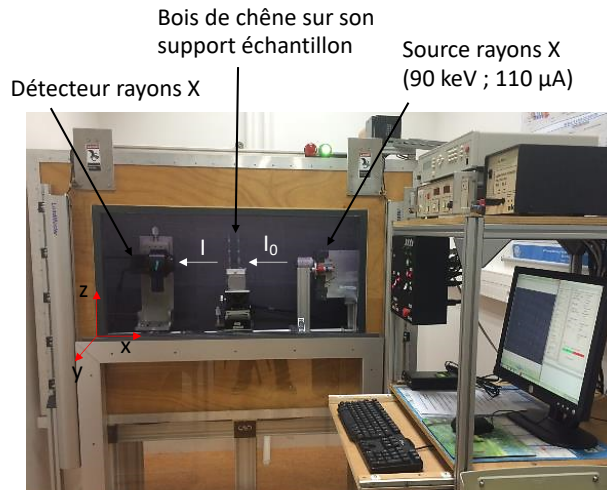


Figure 1 : Dispositif de mesure à rayons X

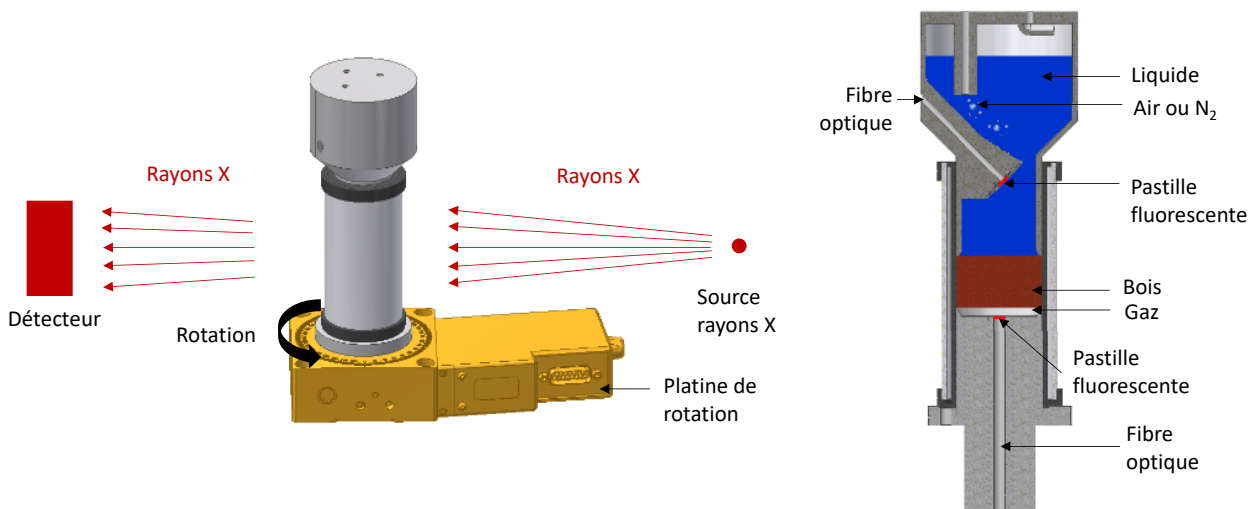


Figure 2 : Support échantillon instrumenté

## BIBLIOGRAPHIE

Roussey, C., Colin, J., Teissier du Cros, R., Casalinho, J. and Perré, P. (2021) *In-situ monitoring of wine volume, barrel mass, ullage pressure and dissolved oxygen for a better understanding of wine-barrel-cellar interactions*, Journal of Food Engineering, 291, 11 p.

del Alamo-Sanza, M., Miguel, L. and Nevaes, I. (2017) *Characterization of the Oxygen Transmission Rate of Oak Wood Species Used in Cooperage*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65, pp. 648–655.

Perré, P., Pierre, F., Casalinho, J. and Ayouz, M. (2015) *Determination of the Mass Diffusion Coefficient Based on the Relative Humidity Measured at the Back Face of the Sample during Unsteady Regimes*, Drying Technology, 9, pp. 1068–1075.

Siau, J. F. (1984) *Transport processes in wood*. Springer Science & Business Media.

Cussler, E. L. (2009) *Diffusion: mass transfer in fluid systems*. Cambridge university press.