



Dynamique des transferts couplés d'eau et d'éthanol dans les douelles de barriques en chêne

Offre de thèse CIFRE

Champs disciplinaires : Sciences du bois, Caractérisation physique, Imagerie, Modélisation & calcul numérique

Mots clés : Maturation des eaux de vie, Cognac, Milieux poreux et hygroscopiques, Structure anatomique du chêne, Sorption, Équilibres, Transferts couplés, Coefficient de diffusion, Régime transitoire, Nano-tomographie



CONTEXTE ET OBJECTIFS

Chêne et Cie et CentraleSupélec collaborent sur la problématique de transferts dans les barriques de chêne depuis 5 ans. Une thèse CIFRE, soutenue en 2020 (thèse de Claire Roussey), a permis des avancées significatives sur la compréhension et la maîtrise des transferts de liquide et d'oxygène au sein de la barrique.

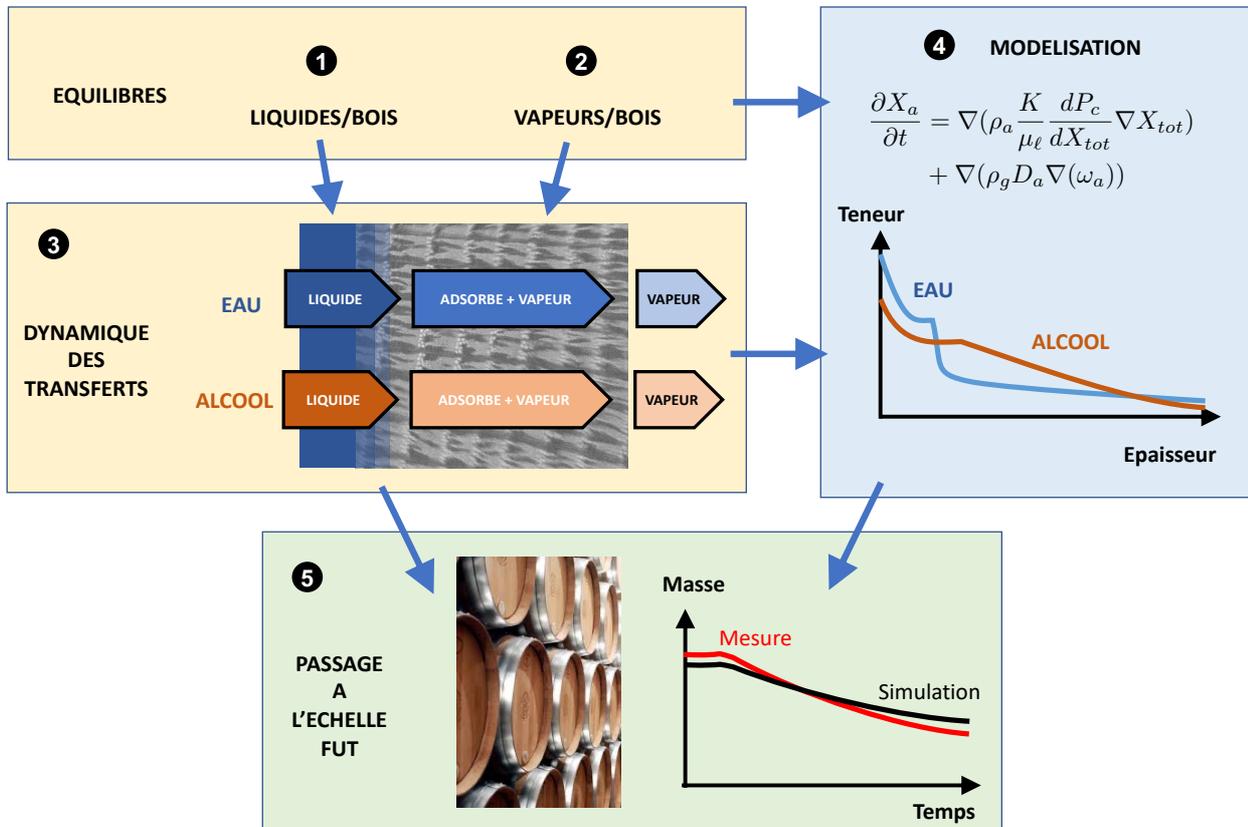
Le sujet proposé s'inscrit dans la continuité de ces travaux collaboratifs, en se focalisant maintenant sur les transferts de liquides binaire (eau-éthanol) dans le bois de chêne. La migration d'alcool dans le bois et son évaporation est communément connue sous le nom de « part des anges ». Cette perte peut représenter entre 1 et 9 % de la quantité totale de breuvage initiale. Les étapes de vieillissement du Cognac étant réalisées à un taux d'alcool compris entre 40 % v/v et 70 % v/v, l'éthanol et l'eau ont tous deux un fort impact dans les échanges entre la barrique et l'eau-de-vie.

Ce projet de thèse a pour ambition une meilleure compréhension de la dynamique des transferts couplés d'eau et d'éthanol dans le chêne, dans les conditions similaires à celles subies sur les faces interne et externe de la barrique placée en chai¹. L'étude des phénomènes en laboratoire doit permettre d'expliquer les phénomènes et tendances observés en premier lieu à l'échelle de la barrique puis à l'échelle du chai. *In fine*, la compréhension des transferts couplés d'eau et d'éthanol sera un levier pour ajuster au mieux le parcours de vieillissement des eaux-de-vie.

¹ Le chai est le lieu où les eaux de vie sont stockées en barrique pour y subir l'étape de vieillissement.

Les questions scientifiques associées à ce sujet sont complexes car la coexistence de ces deux fluides est susceptible de produire des synergies ou compétitions est encore très mal connues. Cela concerne autant les équilibres que les transferts en phase liquide, adsorbée ou vapeur. Des modifications ultra-structurelles du bois sont également probables.

DÉROULEMENT DU DOCTORAT



Dans un premier temps, chaque mécanisme sera traité de façon découplée : équilibre bois-vapeurs, équilibre bois-liquides, puis transferts. Les transferts seront mesurés avec une configuration dite "face arrière", méthode de caractérisation en régime transitoire développée au LGPM. Une bonne compréhension des mécanismes obligera à définir des protocoles capables de maîtriser l'historique du bois et ses effets. Dans un second temps, ces protocoles seront reproduits avec des mélanges eau/alcool pour mettre en évidence et quantifier les effets synergiques ou compétitifs des transferts couplés. La gamme de mélange s'étendra de 40 % v/v à 70 % v/v, reflet de la diversité de composition eau/alcool observée lors du vieillissement des eaux de vie. Cette démarche est indispensable mais aura comme conséquence directe de multiplier les mesures. Pour appréhender des modifications structurelles du bois qui peuvent nécessiter des temps très longs, une partie de ces mesures sera effectuée sur des échantillons de bois issus de barriques très vieilles. Pour un diagnostic qualitatif des altérations structurelles, une sélection d'échantillons contrastés sera observée par nano-tomographie à rayons X.

Une approche de modélisation est proposée en parallèle de ces travaux expérimentaux pour synthétiser et capitaliser l'ensemble des données expérimentales. Elle comprendra une réflexion sur la formulation pertinente des mécanismes, une identification des paramètres de cette formulation à partir des données expérimentales et une résolution numérique 1-D des équations obtenues. Intégrer le vieillissement dans cette formulation ne se fera, dans le cadre de cette thèse, que sous la forme de paramètres phénoménologiques évolutifs. La résolution numérique 1D sera rapide et fournira un outil de simulation permettant de relier l'échelle "douelle"² à l'échelle "barrique dans son environnement".

² Les Douelles sont les pièces de bois de chêne qui, assemblées entre elles, forment la paroi de la barrique

En réponse aux besoins de l'entreprise et en adéquation avec les compétences du laboratoire, cette thèse se propose donc de traiter la dynamique des transferts couplés d'eau et d'alcool dans la douelle en 4 tâches complémentaires :

- 1) *Caractériser les équilibres bois/liquides et bois-vapeurs ;*
- 2) *Mesurer les transferts couplés d'eau et d'alcool ;*
- 3) *Utiliser la simulation numérique comme outil structurant (identification des paramètres à partir des mesures et simulation des configurations rencontrées en chai) ;*
- 4) *Convergence des résultats pour passage à l'échelle de la barrique placée en chai.*

PARTENAIRES DU PROJET

Le laboratoire d'accueil (LGPM, CentraleSupélec) a des compétences scientifiques internationalement reconnues en transferts couplés de chaleur et de masse, tant du point de vue de la mesure expérimentale que du point de vue de la formulation physique et simulation numérique. Ce laboratoire a aussi une excellente connaissance du matériau bois, de son anatomie, de ses propriétés, reflets des fonctions du bois dans l'arbre et des relations entre structure anatomique et propriétés. Le laboratoire dispose également d'une plateforme d'imagerie très complète (microscopie confocale laser, micro-spectroscopie Raman, microscope optique à lumière structurée, microscopie électronique à balayage environnementale, nano-tomographie et imagerie 2D à rayons X).

Chêne & Cie est une société familiale regroupant plusieurs acteurs majeurs de la tonnellerie au niveau international. Sa principale filiale, la tonnellerie Taransaud basée en Charente et en Bourgogne, fabrique et commercialise des barriques et des cuves en chêne français. Leader qualitatif pour les vins et spiritueux haut de gamme, Chêne & Cie investit depuis plus de 20 ans dans la recherche et développement. Le département R&D est au service des tonnellerie et de leurs clients. Ses travaux visent d'une part à qualifier et maîtriser l'impact des processus de tonnellerie sur le vieillissement et d'autre part à mieux appréhender et comprendre les mécanismes en jeu lors du vieillissement en barrique. Cela passe par l'analyse des phénomènes complexes (chimiques, physicochimiques et mécaniques) qui ont lieu au cœur du vin et du bois et à leur interface, lors de la vinification des vins, lors leur élevage sous bois et lors du vieillissement des eaux de vies.

Hennessy est une société spécialisée dans l'élaboration et le négoce d'eaux-de-vie de vins. Elle fait partie de la division vins et spiritueux du groupe LVMH-MOET HENNESSY LOUIS VUITTON qui élabore et commercialise mondialement, au travers de ses Maisons, de nombreux vins et spiritueux de très haute qualité et de renommée internationale. Hennessy mène depuis une dizaine d'années des travaux de R&D sur toutes les étapes du process de fabrication des cognacs et notamment sur l'étape de vieillissement des eaux-de-vie afin de mieux comprendre les échanges entre l'eau-de-vie, le bois et le chai.

MODALITÉS PRATIQUES

D'une durée de 36 mois, le doctorat aura lieu sur le campus de Gif-sur-Yvette (91) au sein du LGPM (80 % du temps). Le ou la doctorant(e) sera également amené(e) à effectuer une partie de ses expérimentations (20 % du temps) chez les partenaires industriels du projet (Cognac, 16).

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

PROFIL RECHERCHÉ

Ce projet de thèse s'adresse aux diplômé(e)s d'École d'ingénieur et de Master 2 dans l'un des domaines suivants : Génie des Procédés, Sciences des Matériaux, Mécanique ou Formation scientifique généraliste. Des connaissances en sciences du bois seraient un plus.

La rigueur expérimentale est une qualité nécessaire au bon accomplissement de ces travaux. Il est également attendu que l'étudiant(e) soit dynamique et fasse preuve de curiosité, d'initiative, d'analyse critique et d'autonomie. Le ou la candidat(e) doit démontrer un intérêt pour les sciences numériques (analyse d'images, simulation).

De bonnes capacités relationnelles sont aussi demandées permettant une intégration rapide au laboratoire.

ENCADREMENT

Directeur de thèse : Patrick PERRÉ, Professeur (CentraleSupélec) : 06 42 61 24 18

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

Suivi en entreprise :

- François LITOUX-DESRUES, Directeur R&D (Chêne et Cie) : 06 82 61 79 07
- Rémi TEISSIER DU CROS, Chef de projet R&D / Responsable Bureau d'Étude (Chêne et Cie / Taransaud) : 06 81 53 32 72
- Charlotte ABADIE, Chargée d'Études du Vieillissement des Eaux-de-vie (Hennessy) : 07 86 91 52 50

CONTACTS

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

patrick.perre@centralesupelec.fr

julien.colin@centralesupelec.fr

rteissierducros@taransaud.com

cabadie@moethennessy.com

BIBLIOGRAPHIE

1. Perré P. and Turner I., 1999 – A 3D version of *TransPore*: a comprehensive heat and mass transfer computational model for simulating the drying of porous media, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **42**: 4501-4521.
2. Perré P., 2007 – An experimental device for the accurate determination of wood-water relations on micro-samples, *Holzforschung*, **61**: 419-429.
3. Perré P., Pierre F., Casalinho J., 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*, **33**: 1068-1075.
4. Perré P., 2015 – The proper use of mass diffusion equations in drying modeling: introducing the drying intensity number, *Drying Technology*, **33**: 1949-1962.
5. Olek W., Rémond R., Weres J., Perré P., 2016 – Non-Fickian moisture diffusion in thermally modified beech wood analyzed by the inverse method. *International Journal of Thermal Sciences*, **109**:291-298.
6. Almeida G., Parlatore Lancha J., Pierre P., Casalinho J., Perré P., 2017 – Physical behavior of highly deformable products during convective drying assessed by a new experimental device, *Drying Technology*, **35**: 906-917.
7. Ai W., Duval H., Pierre F., Perré P., 2017 – Characterization of wood micromorphology from gas permeability measurements, *Microfluid Nanofluid*, **21**: 101.
8. Almeida G., Rémond R., Perré P., 2018 – Hygroscopic behaviour of lignocellulosic materials: Dataset at oscillating relative humidity variations, *Journal of Building Engineering*, **19**: 320-333.
9. Challanonnex A., Pierre F., Casalinho J., Lv P., Perré P., 2018 – Mass diffusivity determination of various building materials based on inverse analysis of relative humidity evolution at the back face of a sample, *Construction & Building Materials*, **193**: 539-546.
10. Perré P., 2019 – Coupled heat and mass transfer in biosourced porous media without local equilibrium: a macroscopic formulation tailored to computational simulation, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **140**: 717-730.
11. Almeida G., Domenek S., Perré P. 2020 – *TransPoly*: A theoretical model to quantify the dynamics of water transfer through polymer films, *Polymer*, **191**: 122256.
12. Roussey, C., Colin, J., du Cros, R. T., Casalinho, J., 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**: 110233.