

LORRAINE

Recherche en séchage du bois : perspectives via la modélisation

Au sein du Laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois (Lermab), deux enseignants chercheurs de l'École nationale supérieure des technologies et industries du bois (Enstib) d'Épinal travaillent sur la thématique du séchage du bois. En effet, si le séchage est mis en œuvre dans les entreprises, de nouvelles pistes n'en sont pas moins explorées pour optimiser conduites et procédés, notamment via la modélisation. Découverte avec Eric Mougel et Romain Rémond.



Éric Mougel et Romain Rémond, enseignants-chercheurs en séchage du bois à l'École nationale supérieure des industries et technologies du bois d'Épinal.

Ils font partie des 300 chercheurs (environ) au niveau mondial à se pencher sur le séchage du bois. Une petite communauté donc, pour un sujet qui, lui, est vaste. "Le concept du séchage est très simple : retirer une partie de l'eau que contient le matériau", note Romain Rémond. "Mais pour le bois, issu du végétal, pleins de défauts sont associés au processus de séchage : fentes, déformations, discolorations, collapse, etc. Et puis il y a le problème

du temps – on aimerait sécher très vite, mais le bois présente une résistance interne importante au transfert hydrique en conséquence le processus est lent – et celui du coût – dans le coût vont intervenir l'énergie, les fluides, la manutention, la maintenance, et aussi la qualité finale, car si il y a beaucoup de rebuts, ce sont des pertes. Quand un industriel veut un séchage de qualité, il demande un séchage rapide, avec une bonne qualité de produits et à moindre

coût. L'objectif pour nous, c'est de trouver un équilibre entre ces trois contraintes, un optimum. Ce n'est pas simple car interviennent à la fois des phénomènes physiques de transfert d'humidité et de chaleur – dans un milieu poreux tel que le bois c'est complexe –, de la mécanique – à température élevée sur matériau humide, c'est aussi très complexe, car le comportement est viscoélastique –, et de la chimie. Pour aborder le séchage, il faut avoir des compétences en transfert de chaleur et d'humidité, en mécanique et en chimie."

Romain Rémond a rejoint en 2011 Éric Mougel, qui a développé la recherche en séchage à l'Enstib à partir de 1993. "On a beaucoup travaillé à l'optimisation de procédés, sur la thématique de la discoloration des bois, en particulier du hêtre, à une période notamment où la mode en matière d'ameublement contemporain était aux bois clairs ; on a travaillé pour l'industrie du parquet, pour trouver l'origine des discolorations dans les traces de baguettes";

✓ ZOOM

Le laboratoire étude et recherche du matériau bois

L'Enstib accueille des chercheurs de trois laboratoires – dont les effectifs sont répartis entre l'école du bois et la faculté des sciences de Nancy – : le Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran), l'Institut Jean Lamour, et le Laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois (Lermab). Le Lermab est le laboratoire historique de l'Enstib, qui coopère avec l'Inra Champenoux (Labex arbre). Il compte 35 chercheurs, dont une quinzaine à Épinal. Les grands domaines de recherche couverts par le laboratoire sont la biologie (anatomie du matériau, biodégradation, etc.), la chimie (valorisation chimique de la biomasse, adhésifs, composites, etc.), la mécanique énergétique (séchage, valorisation énergétique ou chimique sous l'aspect procédé, biocombustibles, gazéification, efficacité énergétique du bâtiment, etc.), la mécanique, avec deux axes, fabrication-génie mécanique et génie civil-structure-assemblage.

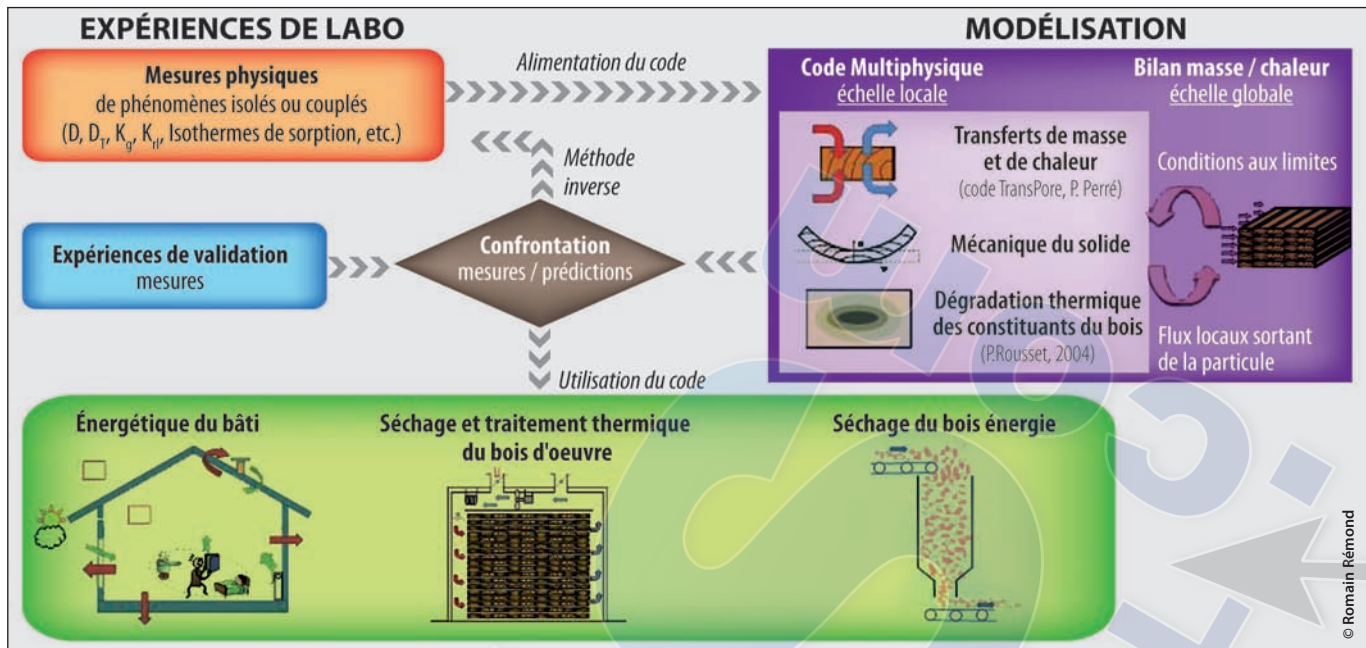


Schéma de la structuration des travaux du Lermab menés en collaboration avec le LGPM (école Centrale).

explique le chercheur. *“Par la suite, nous nous sommes davantage intéressés au matériau qu’aux procédés, afin de comprendre son comportement. Nous nous sommes rapprochés de Patrick Perré, enseignant chercheur à cette époque à AgroParisTech, et qui vient d’intégrer l’École centrale, grand spécialiste français du séchage avec qui nous collaborons. Romain Rémond a été le premier thésard à travailler dans cet esprit.”* La thèse de Romain Rémond — co-encadrée par Eric Mougel et Patrick Perré et réalisée en collaboration avec l’institut technologique FCBA — a porté sur le séchage des fortes sections de résineux. Devenu ingénieur de recherche puis enseignant chercheur, Romain Rémond travaille depuis dix ans sur le séchage *“en recherche fondamentale essentiellement, mais aussi appliquée à plusieurs occasions, avec le FCBA”*.

L'ère de la modélisation

“Les scientifiques ont deux types d’approche”, explique Romain Rémond. *“Une approche expérimentale, qui essaie de répondre aux problèmes industriels par le biais d’un grand nombre d’expériences sur un séchoir de laboratoire, en changeant les conditions, le procédé, etc. pour pouvoir observer et mesurer le résultat. Avant de transposer des résultats au procédé industriel, il faut généralement passer par un prototype semi-industriel – on travaille avec FCBA qui a un séchoir plus gros que le nôtre. L’autre*

démarche consiste à rentrer toutes les connaissances actuelles d’ordre physique, mécanique, voire chimique dans un modèle, qui va permettre, grâce à un ordinateur, de simuler le séchage de la pièce de bois sans réaliser l’expérience sur l’élément réel. On récupère ainsi pour une conduite de séchage donnée l’évolution de la température, l’humidité, les contraintes de séchages, les déformations ou les modifications chimiques dans la planche.” De plus en plus de scientifiques se sont tournés vers la modélisation pour apporter des solutions pour les problématiques liées au séchage. Patrick Perré, scientifique reconnu au niveau international pour ses travaux de modélisation du séchage du bois, a mis au point le code Transpore, d’ores et déjà prédictif, qui reproduit virtuellement le séchage d’une planche en intégrant toute la complexité du bois, et avec lequel travaillent ces deux chercheurs de l’Enstib. L’utilisation d’un modèle requiert que les essences aient été caractérisées, c’est à dire que leurs paramètres physiques, mécaniques et chimiques aient été mesurés – un travail important a déjà été fait sur l’épicéa, mais la caractérisation des autres essences reste à effectuer – La modélisation numérique du séchage permet de démultiplier les expériences. *“Une fois que le modèle est prédictif, on peut l’utiliser comme outil d’aide à la compréhension, à la décision ou à l’optimisation pour résoudre la problématique : sécher vite, bien, à moindre coût”,* souligne Romain Rémond.

En couplant l’approche expérimentale avec la simulation numérique, Patrick Perré a déposé en 2001 un brevet sur le séchage à transition vitreuse adapté des essences tropicales du Brésil telles que l’eucalyptus. *“Cette essence est difficile à sécher, mais grâce à une innovation dans la conduite trouvée grâce au code, on peut le faire vite et bien”,* souligne Romain Rémond. L’idée a été de sécher dès le début à haute température, et avec la plus grande humidité possible, ce qui ne se fait pas habituellement. En se plaçant si haut en température, le matériau est un peu *“ramolli”*, ce qui limite les contraintes de séchage. L’idée de la dernière thèse à avoir été réalisée sur le thème du séchage du bois, soutenue par Mariella Lefevre le 22 octobre dernier, relève aussi de l’innovation dans les conduites. Cette thèse explore en effet l’utilisation de conduites de séchage oscillantes pour réduire les contraintes de séchage liées au retrait par l’activation du fluage mécanosorptif. Elle porte sur une essence très susceptible aux déformations, le hêtre. L’effet des conduites oscillantes sur les contraintes de séchage est étudié par une approche expérimentale et par une approche théorique, via le modèle Transpore. *“De bons résultats sont apparus”,* souligne Romain Rémond, *“mais pas aussi importants qu’espérés, et donc pas forcément transférables. On s’est rendu compte que les petites oscillations d’humidité relative parasites inhérentes à la production d’humidité dans le séchoir activent la mécanosorption, de sorte que dans les séchoirs en*

fonctionnement, on a des conduites oscillantes déjà involontairement appliquées dues à la régulation de médiocre qualité.”

Des voies de recherches diversifiées

Si la modélisation laisse présager la possibilité de découvrir de nouvelles conduites de séchage, plus optimales, au fur et à mesure que les essences seront finement caractérisées, elle offre des perspectives d'optimisation à d'autres niveaux. Celui de l'organisation par exemple. Le tri en amont des planches, de sorte qu'elles soient homogénéisées (teneur en eau, débit, propriétés...) par piles auxquelles des conduites de séchage dédiées seraient appliquées, est une solution qui pourrait permettre d'optimiser le processus de séchage. Mais cela est-il valable financièrement ? C'est ce qui peut être simulé par le code. A noter que le scanner pour trier les bois résineux et réduire la variabilité de la teneur en eau des piles avant séchage est d'ores et déjà utilisé dans les pays nordiques. “En se projetant dans le futur”, note Romain Rémond, “on peut imaginer que les propriétés mécaniques et physiques des bois seront prédites à leur arrivée grâce aux outils numériques de changement d'échelle et à l'utilisation de scanners toujours plus performants qui permettraient de voir l'organisation des cellules de bois. Ensuite la conduite de séchage optimale serait calculée à partir des propriétés ainsi identifiées.”

Une autre piste d'utilisation du code est celle du dimensionnement des installations nouvelles, le modèle pouvant permettre d'apprécier l'optimum de plusieurs configurations en termes de procédés et volumes de séchoirs.

✓ ZOOM

Nouvelle voie de recherche : l'enveloppe du bâtiment

Depuis cinq à six ans, les chercheurs en séchage de l'Enstib transposent leurs compétences aux enveloppes de bâtiment. “On parle beaucoup aujourd'hui de performance énergétique du bâtiment et il y a de grosses attentes en thermique du bâtiment et en pathologie de la construction, avec les problèmes d'humidité, etc. Ces demandes remontent et nous travaillons dessus car nous avons des compétences en transfert d'humidité et de chaleur, issues de la thématique du séchage du bois, qui s'appliquent à ce domaine”, explique Éric Mougel. Actuellement, davantage de contrats de recherche et de financements de thèses concernent la thermique du bâtiment que le séchage du bois pour les chercheurs spécialisés en transfert de chaleur et d'humidité de l'Enstib. L'autre domaine en développement pour ces spécialistes est celui du préconditionnement de la biomasse.



Le séchoir tunnel de laboratoire installé à l'Enstib.

“Au niveau de l'instrumentation, des recherches sont également en cours”, expliquent Éric Mougel et Romain Rémond. “Actuellement quand on conduit une table de séchage sur une pile de planche, on a un retour d'information qui est assez pauvre, on suit la température et l'humidité en quelques points de la pile avec des électrodes. Des scientifiques italiens notamment travaillent à l'élaboration de capteurs des contraintes mécaniques dans la planche, qui permettront de dire : “Attention, la contrainte est un peu trop forte dans ma pile de planches, il faut que j'augmente l'humidité relative !” Ces capteurs essaient d'améliorer le retour d'informations sur la pile de planches qui est en train de sécher dans le contexte des séchoirs existants. Certains chercheurs travaillent aussi sur des capteurs acoustiques pour suivre l'occurrence des fentes dans la charge de bois.”

Innovation dans les conduites, dans l'organisation, innovation dans les capteurs... innovation dans les procédés aussi. Au Lermab, de même qu'en Suède, a été d'ores et déjà par exemple conduite une étude sur le séchage en ligne des planches de bois, qui rendrait obsolète toute la maintenance qui requiert la mise en séchoir. “Les planches défilant sur le tapis, il faut que le séchage soit très très rapide, et l'idée est d'apporter la chaleur au cœur de la planche par haute fréquence. Il y a peut-être un avenir à ce type de traitement pour le résineux en faible sections, même si les générateurs haute-fréquence ont un rendement faible d'environ 50%.” Les pistes sont nombreuses pour améliorer le séchage du bois, même si celui-ci apparaît parfois comme étant, techniquement parlant, un problème résolu aux entrepreneurs... quand il n'est pas considéré comme le parent pauvre de l'activité, ce que souligne Éric Mougel. “Il m'arrive de faire des prestations d'explication sur le thème du séchage en entreprise, auprès des conducteurs de séchoirs, et je constate qu'ils se basent parfois sur des appréciations empiriques qui peuvent ou non être valables – et que de mon côté j'apprécie de connaître.” Des conduites inappropriées sont parfois découvertes... et corrigées. Quand acteurs du terrain et de la recherche se rencontrent, c'est pour le meilleur...