

Mesure de la diffusivité massique d'un revêtement sur le bois

DUVEAU Adrien¹, STEPHAN Antoine¹, PERRÉ Patrick², RÉMOND Romain¹

¹Université de Lorraine, INRAE, LERMAB, 88000 Épinal, France

²Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, LGPM, 91190 Gif-sur-Yvette, France

²Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, LGPM, Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie (CEBB), 51110 Pomacle, France

romain.remond@univ-lorraine.fr

Mots clefs : migration d'humidité ; analyse inverse ; sorption ; HR face arrière ; peinture ; vernis ; colle ; finition

Contexte et objectifs

La caractérisation de revêtements et film appliqués sur le bois se fait habituellement par la méthode de la coupelle (méthode gravimétrique normalisée selon l'ISO-12572) en caractérisant la résistance à la diffusion du support bois seul, puis du bi-couche. Il est alors possible d'en déduire la résistance à la diffusion du revêtement seul. Mais cette expérience est longue et est bien adaptée à des produits « neufs », i.e. sur lesquels on vient appliquer la finition. Une autre approche pour déterminer le coefficient de diffusion d'un matériau consiste à utiliser une méthode en régime transitoire, telle que la méthode de sorption. Cette méthode, plus rapide et souvent plus représentative des conditions réelles que les approches gravimétriques traditionnelles, consiste à soumettre l'échantillon à un saut d'humidité relative, puis à enregistrer en continu l'évolution de sa masse, conformément à la norme ISO-24353. Depuis quelques années, cette dernière méthode a été revisitée par des collègues de Centrale-Supélec (Perré et al 2015), qui ont suivi l'évolution de l'humidité relative (HR) sur la face arrière de l'échantillon (HR_{bf}), tandis que la face avant subit une variation brutale de l'humidité relative. L'analyse inverse de la mesure de HR_{bf} , avec l'aide d'une simulation numérique, permet alors de déterminer le coefficient de diffusion du matériau. Cette méthode permet une mesure plus rapide que la méthode de sorption traditionnelle, qui consistait à suivre la masse de l'échantillon lors de sa reprise d'humidité jusqu'à atteindre sa masse à l'équilibre hygroscopique, qui pouvait être longue à atteindre.

L'objectif de ce travail est de développer une méthode de détermination directe du **coefficient de diffusion** en régime transitoire de revêtements fonctionnels appliqués sur le bois, tels que les joints de **colle** entre deux pièces de bois (poutres lamellés collés, panneaux CLT), ainsi que les **films** ou **couches de finition sur le bois** (vernis, peinture, etc.), sans avoir à caractériser le support bois de manière isolée. Le projet de mesure est désormais lancé et entre dans la phase de collecte des **premiers résultats**.

Matériel et méthode

Banc expérimental

Un dispositif original, inspiré de celui réalisé par Challansonnex (2019), a été développé dans le laboratoire. Il consiste à soumettre huit échantillons à un échelon de HR en face avant à température constante (typiquement ici entre 40% et 75% de HR à 35°C) et de mesurer l'HR en face arrière et l'évolution de la masse des échantillons. Ce dispositif est placé dans une enceinte climatique (HPP260, Memmert GmbH, Allemagne). Le carrousel passeur d'échantillons (Fig. 1a,b) permet d'utiliser une seule balance de précision pour suivre la masse

des échantillons. Pour chacun d'eux, une pesée est effectuée toutes les sept minutes, et une mesure de l'humidité relative sur la face arrière est réalisée toutes les quarante-cinq secondes.

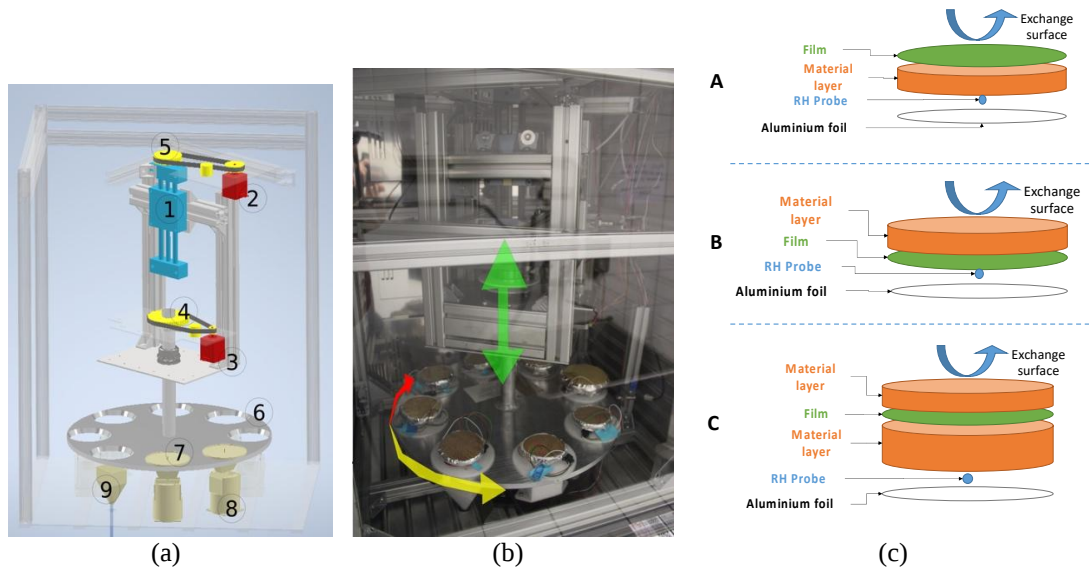


Fig. 1 : (a) représentation CAO du carrousel comprenant la table verticale (1), les moteurs pas à pas (2) et (3), les poulies et courroies synchrones (4) et (5), la couronne (6), un porte-échantillon (7), un support de lecture (8) et le panier de pesée, relié à la balance par une tige de verre (9), (b) photographie, avec représentation des mouvements de rotation et de translation ; (c) schémas des 3 typologies d'assemblage des différentes couches de l'échantillon.

Échantillons

Les échantillons testés comportent un matériau support en bois et un film de finition, ou une membrane ou un joint adhésif (Fig. 1c). Ils ont une surface d'échange d'environ 75 cm² et sont ici en forme de disque d'environ 10 mm d'épaisseur. Une couche de résine époxy a été appliquée sur la face latérale de l'échantillon afin de bloquer la porosité de la surface, la sonde d'humidité relative (SHT85, Sensirion) est placée sur la face arrière de l'échantillon et une feuille d'aluminium est appliquée pour empêcher les transferts d'humidité sur cette face (Fig. 1c). Celle-ci est appliquée avec précaution afin de garantir une étanchéité parfaite et de ne laisser que la face avant en contact avec l'extérieur. Deux types d'échantillons ont été utilisés dans le cadre de ce travail :

- **Premier type –assemblage** de matériaux dont les coefficients de diffusion sont connus. Le film est ici une membrane utilisée dans le secteur de la construction pour l'étanchéité à la vapeur ou à la pluie. Le support est du bois d'epicéa. Plusieurs configurations ont été testées, (A) membrane en face apparente, (B) membrane en face arrière, (C) membrane au centre. Ces échantillons ont pour objectif de vérifier si l'analyse inverse permet d'identifier les coefficients de diffusion du matériau support et celui du film (Fig. 1c). L'analyse inverse est développée sur différents types de mesure (masse et/ou HRbf) et de typologie d'assemblage des couches (Fig. 1c) afin de déterminer la stratégie d'identification la plus appropriée.
- **Deuxième type – échantillons réels.** Ces tests visent à appliquer la méthodologie développée à des échantillons réels intégrant un film de finition ou un joint adhésif. Dans ce travail, les échantillons testés sont du CLT (KLH) et du bois vernis.

Analyse inverse

En utilisant les conditions enregistrées dans la chambre climatique comme conditions limites, le code de calcul prédit l'humidité relative à l'arrière de l'échantillon et l'évolution de sa teneur en eau. La différence entre les valeurs prédites et expérimentales a été quantifiée par une fonction objectif, définie comme la somme des résidus au carré. Un algorithme d'optimisation (Simplex) a été utilisé pour minimiser cette fonction en modifiant les paramètres recherchés.

Premiers résultats

Nous présentons ici les premiers résultats de l'analyse inverse. L'analyse porte sur la stratégie à adopter pour pouvoir identifier à la fois les coefficients de diffusion du matériau support et du film. L'échantillon présenté ci-dessous est constitué d'un support en épicea débité sur dosse, associé à une membrane pare-vapeur comme film (DA Connect de chez ProClima, MOLL, Allemagne). Le facteur de résistance à la diffusion μ est estimé à 5100 pour la membrane (valeur fabricant) et à 120 pour l'épicéa (valeur issue de la littérature, Kouchade, 2004), en attendant d'effectuer une mesure complémentaire sur ce dernier. Le tableau 1 présente différentes analyses inverses menées sur les configurations A et/ou B (Fig 1c) et à partir des mesures HR_{bf} et/ou de la masse. Les Fig. 2 et 3 présentent un exemple de comparaison mesure-prédiction obtenue à l'issue de l'analyse inverse, correspondant aux lignes 4 et 5 du Tab. 1. La Fig. 2 présente l'analyse d'un bi-couche assemblé selon les configurations A et B, réalisée à partir des données d' HR_{bf} uniquement. La Fig. 3 illustre l'analyse des mêmes échantillons, cette fois-ci en exploitant exclusivement l'évolution de leur masse au cours de la sorption (soit la variation d'humidité moyenne recalculée à partir de la masse).

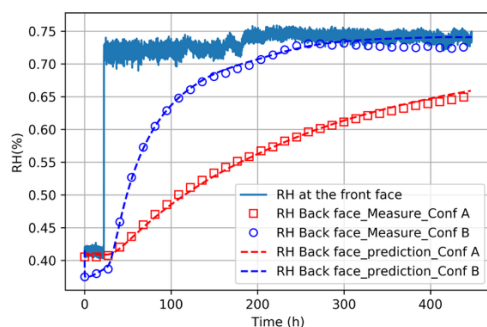


Fig. 2 : Evolution de l'HR en face avant de l'échantillon et celles en face arrière HR_{bf} pour les assemblages A et B

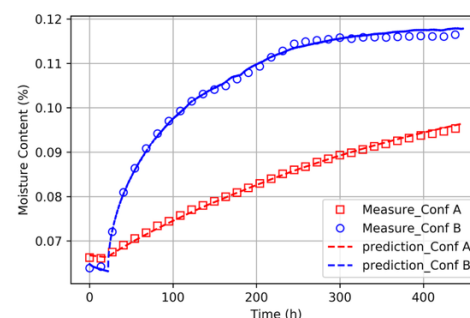


Fig. 3 : Evolution de la teneur en eau moyenne des échantillons, calculée à partir de leur masse, pour les assemblages A et B

Le Tab. 1 met en évidence que l'étude d'une seule configuration (A ou B) ne permet pas de déterminer correctement la résistance à la diffusion du support et du film. Pour obtenir des résultats fiables, il est nécessaire de réaliser une analyse inverse conjointe des deux configurations. Dans ce cas, l'erreur tombe sous la barre des 30 %, avec une meilleure précision lorsque l'on combine l'évolution de la masse de la configuration A et l' HR_{bf} de la configuration B.

Tab. 1 : Facteur de résistance à la diffusion μ identifié par analyse inverse sur différentes configurations A ou B (Fig. 1c) et différents types de mesure (masse et/ou HR_{bf}) ainsi que l'erreur relative par rapport à la valeur de la littérature (i.e. 5100, 120)

Analyse inverse menée sur :				Erreur / valeur littérature	
	Config A	Config B	μ Film	μ Support	
1	HR _{bf} & MASSE	(-)	5000	4	-2%
2	(-)	HR _{bf} & MASSE	0,0225	113	-100%
3	HR _{bf} & MASSE	HR _{bf} & MASSE	4540	124	-11%
4	MASSE	MASSE	4971	154	-3%
5	HR _{bf}	HR _{bf}	3534	108	-31%
6	MASSE	HR _{bf}	5083	117	-1%

Conclusion et perspectives

Des premiers essais de sorption ont été réalisés sur un matériau bi-couche aux caractéristiques maîtrisées afin d'évaluer la robustesse de l'analyse inverse et de définir une stratégie permettant de mesurer le facteur de résistance à la diffusion du support et du film. Trois configurations ont été étudiées : (a) membrane en face apparente, (b) membrane en face arrière et (c) membrane au centre. Les résultats confirment la viabilité de l'approche, à condition d'exploiter au moins deux typologies d'assemblage. L'analyse inverse peut ainsi être développée à partir de la cinétique de sorption mesurée par HR_{bf} et/ou de l'évolution de la masse.

À terme, cette approche sera appliquée à des revêtements fonctionnels du commerce et testée sur des échantillons réels, tels que des joints de colle de CLT ou LC, ou encore des matériaux anciens avec couche de finition, dans une perspective de réemploi ou de rénovation thermique des bâtiments.

Références

Challansonnex A (2019) Transferts couplés chaleur/masse dans les matériaux de constructions biosourcés : investigation expérimentale et théorique du non-équilibre local, thèse de l'Université Paris-Saclay.

Kouchade AC (2004) Mass diffusivity of wood determined by inverse method from electrical resistance measurement in unsteady state, thèse de l'ENGREF-Nancy.

ISO-12572 (2001) Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties, Brussels, CEN.

ISO-24353 (2008) Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation, Geneva, ISO.

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.