

Etude expérimentale des paramètres de diffusion du bois

ASSEKO ELLA Martian¹, GRIL Joseph^{1,2}, GODI Gaël¹, FOURNELY Eric¹, PAMBOU
NZIENGUI Claude Feldman^{1,3}, MOUTOU PITTI Rostand^{1,4}

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, Clermont Ferrand,
France

²Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, Clermont Ferrand, France

³Ecole polytechnique de Masuku (EPM-USTM)

⁴CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

martian.asseko_ella@etu.uca.fr

Mots clés : cellule de force ; coefficient de diffusion ; dispositif expérimental ; solution saline ; teneur en eau

Contexte et objectifs

Le bois est un matériau hygroscopique et ses propriétés mécaniques et physiques dépendent fortement de son état hydrique. L'eau y est présente sous forme d'eau libre, à l'état liquide ou vapeur dans les lumens, et d'eau liée dans les parois. Dans le bois, en dessous du point de saturation des fibres (psf), les phénomènes de transferts de masse se caractérisent par la migration de l'eau liée et de la vapeur d'eau. Au cours de ce processus de migration de l'eau, il est donc important d'appréhender les phénomènes mis en jeu, notamment le processus de diffusion hydrique. Une bonne caractérisation du processus de diffusion doit passer par la mise au point de techniques expérimentales simples et fiables. A ce jour il existe plusieurs techniques et méthodes expérimentales qui permettent de suivre l'évolution de l'humidité dans le bois. Certaines de ces techniques, nécessitent parfois de sortir le bois hors de l'enceinte et de le peser sur une balance pour estimer sa masse, ce qui peut parfois perturber l'histoire hydrique des éprouvettes testées à l'exemple des travaux de Manfoumbi (2012).

La technique expérimentale proposée dans ce document est une approche améliorée qui permet de réaliser plusieurs mesures sur les éprouvettes sans perturber l'état hydrique du système dans lequel sont placées les éprouvettes. Il permet également de maintenir les conditions hydriques avec très peu de variation de l'humidité relative. Afin de tester la fiabilité du dispositif, nous avons réalisé des essais de diffusion sur quelques essences tropicales et tempérées.

Matériels et méthodes

Les applications sont faites sur des éprouvettes de 3 feuillus tropicaux: okoumé (O), le padouk (P), iroko (I), et 2 résineux tempérés : sapin pectiné (S), douglas (Ds). Ces éprouvettes sont réparties dans 2 boîtes d'essais (boîte j=1,2), régulées en humidité relative (HR) au moyen de solutions salines, et elles-mêmes placées dans une pièce régulée en température (T) à 20°C et environ 43% HR. Dans chaque boîte, des tests sont réalisés sur des éprouvettes de bois d'épaisseurs différentes : e1=20 mm (type 1), e2=10mm (type 2), e3=5 mm (type 3) (Fig.1).

Pour chaque essence, l'épaisseur des éprouvettes est orientée suivant la direction longitudinale (L) ou transverse (RT). Afin de forcer la diffusion dans le sens L ou RT, nous avons recouvert les 4 autres faces par plusieurs couches de ruban adhésif en aluminium (Fig.2). Sur l'une des faces supérieures des éprouvettes nous avons laissé un espace pour fixer un fil de pêche à l'éprouvette.

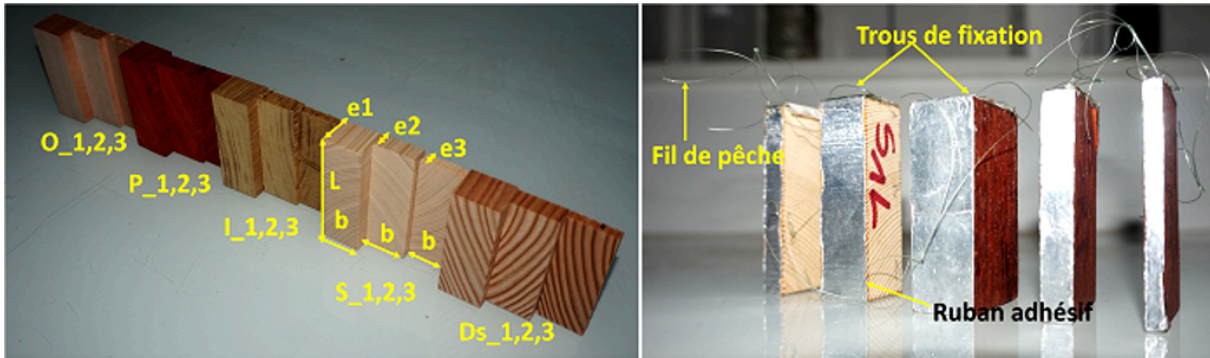


Fig. 1 : Configuration des éprouvettes testées Fig. 2 : éprouvettes après la mise du ruban



Fig. 3 : Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental consiste en 2 boîtes de plexiglass de dimensions 45x20x20mm et d'un bras mobile équipé d'une cellule de force (Fig.3). Cette dernière permet de mesurer un signal électrique, par la suite converti en masse via l'équation (1). L'estimation de la masse m (en g) d'une éprouvette se fait par conversion du signal électrique L_{ep} (en mV) d'une éprouvette, connaissant les signaux électriques L_p et L_g de deux écrous de calibration, mesurés au même moment, et les masses étalons m_p et m_g de ces mêmes écrous, mesurés au préalable avec une balance de précision :

$$m(g) = m_p + \frac{m_g - m_p}{L_g - L_p} \cdot (L_{ep} - L_p) \quad (1)$$

Cette procédure permet de s'affranchir des dérives éventuelles du capteur de force, en le recalibrant à chaque fois. Les boîtes sont dotées de capteurs thermo hygrométriques pour le suivi de HR et T. Elles disposent également de ventilateurs pour homogénéiser l'ambiance, que l'on arrête durant les mesures. Une grille métallique empêche les éprouvettes de tomber dans le bac de solution saline. Les éprouvettes sont retenues par le fil de pêche sortant par des trous de 10 mm de diamètre sur la face supérieure de la boîte, refermés avec des bouchons en silicone de forme conique qui bloquent le fil. Le bouchon de chaque éprouvette n'est enlevé que le temps de sa mesure de masse, ce qui réduit considérablement les échanges d'air entre l'intérieur de la boîte et la pièce. L'évolution de la teneur en eau de l'éprouvette est donnée par l'Equation (2) :

$$w(t) = \frac{m(t) - m_0}{m_0} \quad (2)$$

où m_0 est la masse anhydre, mesurée après passage dans une étuve à 103°C et $m(t)$ est la masse de l'éprouvette mesurée à l'instant t . Si l'on néglige la résistance aux transferts de masse. La méthode adoptée est celle de la détermination de la pente de la partie linéaire de la courbe expérimentale (Agoua 2001). Par la suite nous avons appliqué l'Equation (3) suivante pour déduire D.

$$w^*(t) = \frac{4}{e} \sqrt{\frac{D}{\pi} t} \quad (3)$$

Avec $w^*(t) = (w(t) - w_0)/(w_{eq} - w_0)$ la teneur en eau adimensionnelle dans le cadre d'une phase d'humidification, w_0 est la teneur en eau initiale et w_{eq} la teneur à l'équilibre.

Résultats et discussions

Dans un premier temps nous avons voulu vérifier la capacité du dispositif à maintenir l'humidité relative et la température des boites constantes. Ainsi la Fig. 4 et la Fig. 5 présentent l'évolution sur 5 jours de T et HR dans les boites j1 et j2. On peut voir que les valeurs de HR oscillent avec de faibles écarts-types autour des valeurs que propose par la norme NF EN ISI 483. On observe également de légères variations de la température autour de 22°C, qui ont très peu d'incidence sur la valeur de HR à atteindre. En effet, selon la norme NF EN ISI 483 que l'on soit à T=20°C ou à T=25°C on trouvera sensiblement les mêmes valeurs de HR avec les solutions salines que nous avons utilisées. De ce fait les variations de T n'ont pas d'effet sur HR à atteindre. Cela se confirme avec les résultats de HR mesurée que présente le Tab.1 où les valeurs moyennes de HR mesurée sont très proches de celles prédites par la norme.

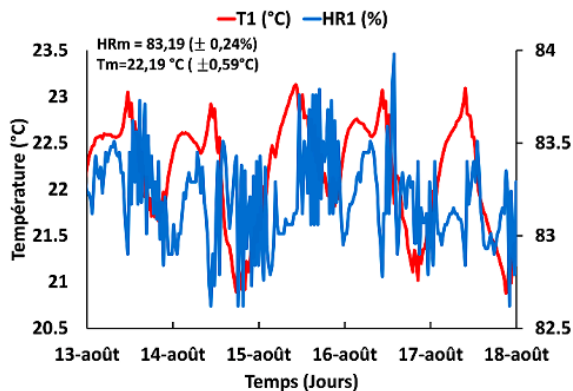


Fig. 4 : Evolution de T et HR dans la boite 1

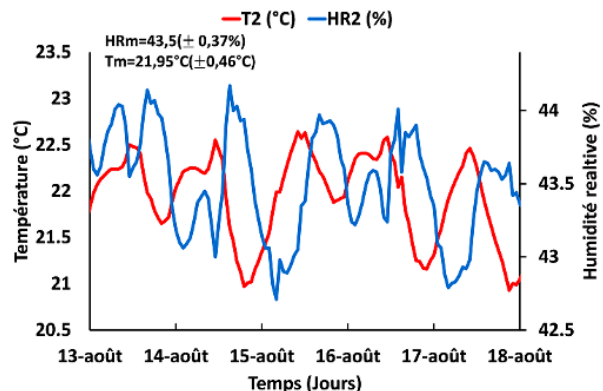


Fig. 5 : Evolution de T et HR dans la boite 2

Tab.1 Solutions aqueuses utilisées et humidité relative de la boite à T=20°C

Solutions aqueuses	HR (%) NF EN ISO 483	HR(%) mesurée
Carbonate de potassium (K ₂ CO ₃)	43,2	42,02% (±0,40)
Bromure de sodium (NaBr)	57,6	57,81% (±1,05)
Chlorure de sodium (NaCl)	75,3	73,47 % (±1,28)
Chlorure de potassium (KCl)	85	82,08% (±1,14)

Les Fig. 6 et Fig. 7 présentent les courbes expérimentales des teneurs en eau des éprouvettes d'okoumé et de sapin des 3 épaisseurs testées dans le sens transverse (RT) et longitudinal (L)

sous 3 paliers de HR (0-43,2 ; 43,2-57 ; 57-73,4 %). Les courbes présentent les trajectoires typiques de la cinétique de diffusion de l'eau dans le bois dans les 2 directions considérées.

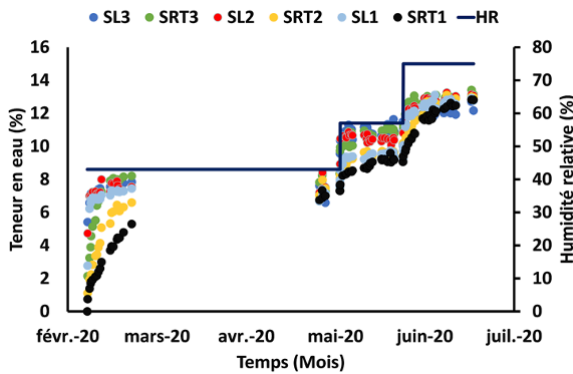


Fig. 6 : Evolution de la teneur en eau de l'okoumé

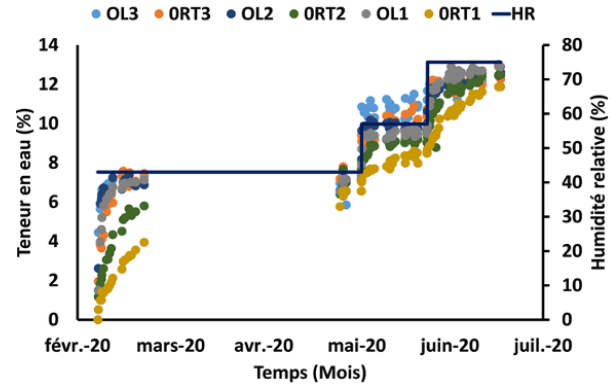


Fig. 7 : Evolution de la teneur en eau du sapin

Le Tab. 2 présente les coefficients de diffusion obtenus sur les éprouvettes de 10 mm d'épaisseur des 5 essences testées dans le sens RT et L. On peut voir que la diffusion est plus rapide dans le sens longitudinal et que l'ordre de grandeur des coefficients de diffusion reste le même pour toutes les essences testées. Il apparaît également que les changements de HR n'ont pas d'incidence majeure sur les coefficients de diffusion. On peut aussi remarquer que le padouk est l'essence qui diffuse le plus lentement parmi les essences testées, ce qui peut s'expliquer par sa densité plus élevée, mais également par l'action de ses extractibles. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de plusieurs auteurs dans la littérature (Jamaoui, 2017 ; Manfoumbi, 2012).

Tab. 2 : Coefficients de diffusion des éprouvettes de 10mm d'épaisseurs en D ($m^2 \cdot s^{-1}$)

HR	Longitudinal				
	Okoumé	Padouk	Sapin	Douglas	Iroko
0-43%	2,04E-10	3,17E-11	2,33E-10	1,20E-10	2,05E-10
43-57,7%	1,57E-10	3,36E-11	1,60E-10	1,67E-10	1,30E-10
57,7675%	2,77E-10	3,07E-11	4,50E-10	4,69E-10	1,17E-10
HR	Transverse				
	Okoumé	Padouk	Sapin	Douglas	Iroko
0-43%	1,27E-11	1,79E-12	1,59E-11	1,96E-11	1,13E-11
43-57,7%	2,38E-11	8,77E-12	4,67E-11	3,25E-11	2,80E-11
57,7675%	1,28E-11	9,84E-12	1,45E-11	1,27E-11	3,27E-11

Références

- Jamaoui A. (2017) Durabilité et comportement hygroscopique du Douglas en relation avec son patrimoine génétique. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 155 p.
- Agoua E, Zohoun S, Perré P. (2001) A double climatic chamber used to measure the diffusion coefficient of water on wood in unsteady-state conditions: determination of the best fitting method by numerical simulation. International Journal of Mass Transfert, 44. 14 p.
- Manfoumbi Boussougou N. (2012), Contribution à l'adaptation de l'Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement. Thèse de doctorat, Université de limoges. 296 p.