

Proposition d'une nouvelle méthode d'identification des paramètres de diffusion de l'eau dans différentes essences de bois en ambiance non contrôlée

VARNIER Maximin¹, SAUVAT Nicolas¹, MONTERO Cédric², DUBOIS Frédéric¹, GRIL Joseph²

¹ Univ. Limoges, GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons, France (@ : prénom.nom@unilim.fr)

² Univ. Montpellier, LMGC, UMR 5508, F-34090 Montpellier, France (@ : prénom.nom@umontpellier.fr)

RÉSUMÉ. *La détermination des paramètres de diffusion de l'eau dans le bois, pour différentes essences, est une étape longue et demandant l'utilisation d'enceintes climatiques contrôlées. De plus, ces paramètres sont souvent identifiés sur la base d'essais de cinétique de diffusion en conditions isothermes. Dans un objectif de diagnostic in situ des structures, la diffusion de l'eau liée dans le bois doit prendre en compte l'influence de la température. Ainsi, nous proposons un nouveau protocole expérimental et numérique permettant d'identifier les paramètres de diffusion de l'eau quelle que soit l'essence et le sens de diffusion. En plus de la simplicité du matériel utilisé, le protocole développé apporte un résultat modélisé proche de l'expérimentation après quelques semaines seulement.*

ABSTRACT. *Determination of water diffusion parameters in wood for different species, requires controlled climate chamber during a long time. Furthermore, these parameters are frequently identified with kinetic of vapor diffusion tests under isothermal conditions. For the purpose of in situ structures diagnosis, influence of temperature has to be considered in bound water diffusion in wood. Thus, we propose a new experimental and numerical protocol allowing to identify water diffusion parameters for different species and diffusion direction. In addition to a basic equipment used, simulated mass evolution provided by the developed protocol rather well fit experimentation after only a few weeks.*

MOTS-CLEFS : *Ambiance non contrôlée, algorithme d'optimisation, isotherme de sorption, modèle de diffusion, bois*

KEYWORDS: *External conditions, mathematical optimization, moisture sorption isotherm, diffusion model, wood*

1. Introduction

Que ce soit dans une problématique de séchage ou de monitoring des structures, la connaissance des profils d'humidité dans le bois est nécessaire. Au-delà des phénomènes de diffusion, ces profils influencent grandement les propriétés mécaniques à long terme. Ainsi, de nombreuses études ont mené à la création de modèles de transfert hygrothermique [WUF14], [TRA99], prenant en compte les transferts de vapeur et d'eau liée et/ou libre. Par simplification dans des conditions isothermes, les couplages entre transfert thermique et hydrique sont souvent simplifiés voire négligés. Toutefois ces hypothèses acceptables en ambiance contrôlée sont peut-être trop fortes pour un suivi des structures en extérieur. Nous proposons donc une méthode de détermination des paramètres intrinsèques de diffusion en extérieur. Cette approche permet de minimiser les moyens expérimentaux, mais demande de prendre en compte la dépendance à la température de nombreux paramètres matériaux.

2. Matériel et méthode

Les études réalisées se présentent sous la forme de séries de mesures de température, d'humidité, et de masse d'éprouvettes en bois de douglas et de châtaignier, mises dans des conditions climatiques équivalent à la Classe de Service 2 de l'Eurocode 5 [EUR5] (extérieur protégé des intempéries).

La teneur en eau des éprouvettes est déterminée par le suivi de masse via une balance (précision de 0,01g), et la température et l'humidité relative de l'air est mesurée à l'aide d'une sonde hygrothermique (Fig. 1). Les résultats présentés dans Figure 3 ont été obtenu sur des éprouvettes de :

- Douglas, sens de diffusion longitudinal ($49 \times 79 \times 79 \text{mm}^3$; $\rho_{an} = 0,45$)
- Douglas, sens de diffusion transversal ($51 \times 65 \times 40 \text{mm}^3$; $\rho_{an} = 0,43$)
- Châtaignier, sens de diffusion longitudinal ($200 \times 40 \times 25 \text{mm}^3$; $\rho_{an} = 0,47$)

Afin de privilégier les sens de diffusions (L, RT), nous déposons une couche de silicone suivi d'une feuille d'aluminium sur les autres faces.



Figure 1: Dispositif expérimental pour les essais en ambiance non contrôlée

La difficulté de mesure en ambiance non isotherme, est de déterminer la perturbation de la température sur les appareils de mesure. La perturbation de la température sur la pesée d'un matériau non hygroscopique est illustrée Figure 2.

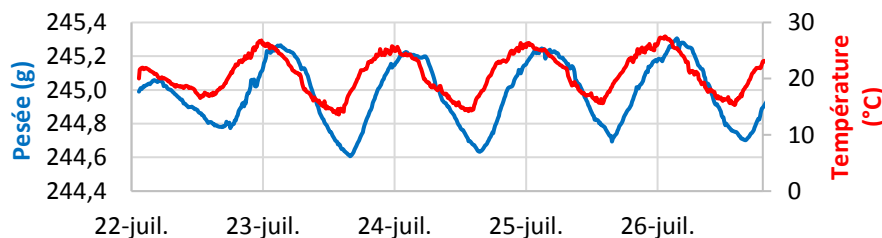


Figure 2 : Evolution de la température extérieure, et de la pesée d'un matériau non hygroscopique

Après correction des mesures de masse de leur influence de la température, elles sont associées par la suite à une méthode d'optimisation, basée sur un algorithme de minimisation d'erreur au sens des moindres carrés (Simplexe) [NGU 14], afin de déterminer les caractéristiques hygrothermiques des éprouvettes.

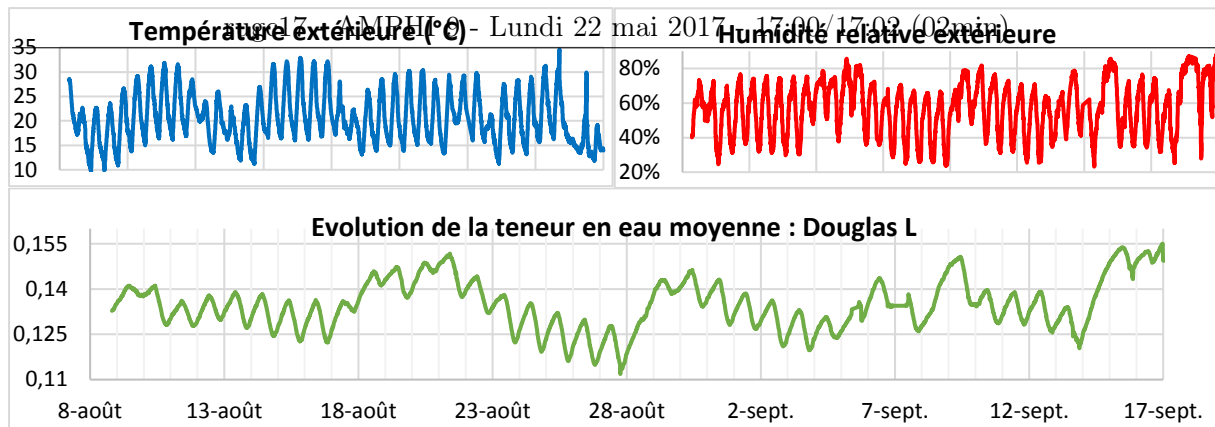


Figure 3: Caractéristiques physiques mesurées : Evolution de la température, de l'humidité relative, et de la teneur en eau moyenne (essai de diffusion du douglas, longitudinal)

3. Résultats et discussions

a. Détermination des paramètres physiques par méthode inverse

Une méthode d'analyse inverse basée sur la méthode du simplexe [NEL65], est utilisée pour déterminer les paramètres des isothermes de sorption [MER 06], des isothermes partielles [PED 90], du transfert hydrique sous phase liquide et gazeuse (mise en évidence de la perméabilité apparente) et des coefficients d'échanges surfaciques thermique et hydrique. Les douze paramètres précédents varient sur des plages de valeurs issues ou tirées de la littérature [TRO] [MAN 12] [MER 06]. Les valeurs de conductivité, et de chaleur massique sont issues de [TI-C925]

Seul trois paramètres sont illustrés Figure 4:

- w_s , la teneur en eau au point de saturation de fibres pour une température de 0°C,
- δ_0 , transfert sous phase vapeur pour la perméabilité apparente,
- k_0 , influence de l'eau adsorbée sur la perméabilité apparente,
- Avec $\delta = \delta_0 \times \exp(k_0 \cdot w)$, la perméabilité apparente.

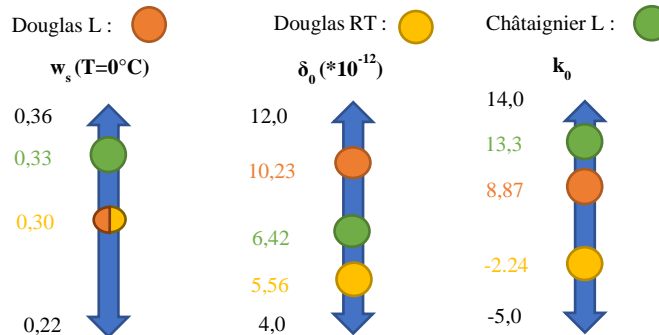


Figure 4: Valeurs de trois paramètres (teneur en eau de saturation, coefficient de perméabilité apparente (vapeur), coefficient de perméabilité apparente (eau adsorbée), selon l'essence et le sens de diffusion après identification

Les valeurs de w_s correspondent à la littérature [TRO]. Les premières valeurs de perméabilité proposées ici montre les tendances suivantes :

- Diffusion de vapeur L plus importante que diffusion T pour le douglas,
- Diffusion de vapeur L plus importante pour le douglas que pour le châtaignier
- Perturbation par le taux d'humidité plus faible dans le sens RT que dans le sens

b. Teneur en eau moyenne - Lundi 22 mai 2017 - 17:00/17:02 (02min)

Présentation des courbes après identifications sur la période de calage (15 jours).

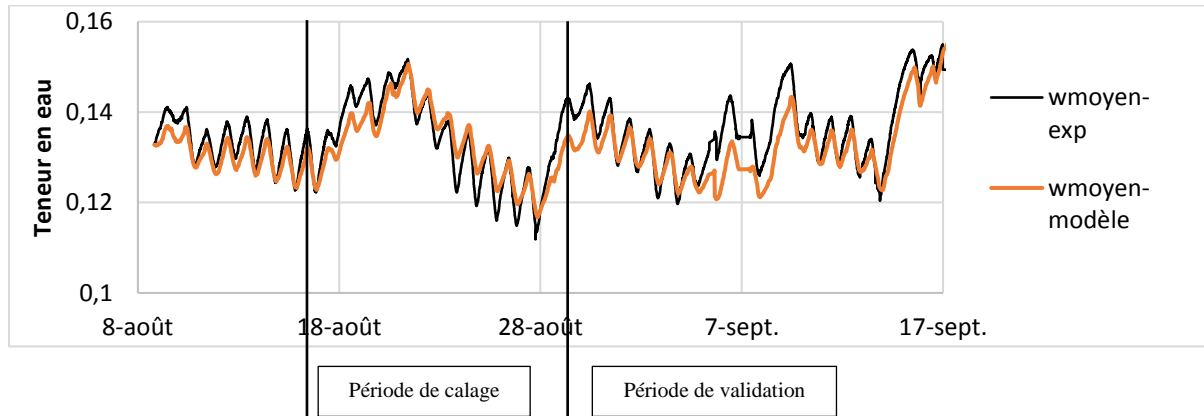


Figure 5: Comparaison modèle/expérimentale de la teneur en eau moyenne de l'éprouvette de douglas, diffusion longitudinale

Une comparaison entre mesure et simulation est proposée Figure 5.

L'erreur moyenne relative sur la période de calage est de l'ordre de 2,1%. La période d'extrapolation du 30 août au 17 septembre semble satisfaisante d'un point de vue de la teneur en eau moyenne avec une moyenne de des erreurs relatives de 2,3%. Enfin au niveau de la dernière mesure, l'erreur relative est de 1,92%.

4. Conclusion

En prenant en compte tous les phénomènes mis en jeu, l'influence de la température, et de la teneur en eau sur les propriétés physiques, le modèle permet de prédire l'évolution de la teneur en eau moyenne dans un petit élément de bois. Ainsi, en peu de temps, grâce à un matériel léger, et en corrigeant les résultats de l'influence de la température sur les appareils de mesures, il est possible de déterminer les propriétés de diffusion selon le matériau et le sens de diffusion, en vue de prédire l'évolution du champ hydrique en fonction des conditions climatiques.

5. Références

[EUR5] ; NF EN 1995-1-1-A2, 2014

[KUN 95] KUNZEL M. ; « Simultaneous Heat and moisture transport in building components », Thèse de doctorat, Allemagne, 1995

[MAN 12] MANFOUMBI B. N. ; « Contribution à l'adaptation de l'Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement », Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2012

[MER 06] MERAKEB S., « Modélisation des structures en bois en environnement variable », Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2006

[NEL65] NELDER & MEAD, « A simplex method for function inimization. Computer Journal, Vol7, pp 308-323, 1965

[NGU 14] NGUYEN T. A. ; « Approches expérimentales et numériques pour l'étude des transferts hygroscopiques dans le bois », Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2014

[PED 90] CARSTEN, RODE, PEDERSEN; « Combined heat and moisture transfer in building constructions », Thèse de doctorat, Université de Danemark, 1990

[TI-C925] ; Techniques de l'ingénieur : Matériau bois - Structure et caractéristiques ; ref : C925

[TRA99]; PERRE P. ; « A 3-D version of TransPore: a comprehensive heat and mass transfer computational model for simulating the drying of porous media», International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 42, Issue 24, 1999

[TRO] TROPIX ; Site internet du CIRAD ; <http://tropix.cirad.fr/>

[WUF14] ; http://www.wufi.de/index_e.html ; 2014