

# Cinétique locale de sorption : Modélisation d'une paroi biosourcée

Nicolas Reuge<sup>1</sup>, Florence Collet<sup>1</sup>, Sylvie Pretot<sup>1</sup>, Sophie Moissette<sup>1</sup>, Marjorie Bart<sup>1</sup>, Christophe Lanos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Rennes, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, Axe matériaux pour l'éco-construction, 3 rue du Clos Courtel, BP 90422, 35704 Rennes, France

**RESUME** Dans la description des transferts hygrothermiques au sein des matériaux de construction biosourcés, l'approche classique considère localement un équilibre instantané entre humidité relative et teneur en eau. L'approche présentée ici considère au contraire une cinétique locale de sorption ralentissant les échanges entre vapeur d'eau et eau liquide. Le modèle est initialement basé sur des mesures de sorption d'échantillons représentatifs de matériaux biosourcés et son expression est améliorée par rapport aux travaux précédents. Une constante cinétique est déterminée pour chacun des matériaux ISOBIO étudiés. Ensuite, les simulations issues des différentes approches (*i.e.* équilibre instantané liquide / vapeur et ancienne / nouvelle expression du modèle cinétique) sont comparées aux mesures effectuées au sein de la paroi ISOBIO installée sur un démonstrateur (HIVE, Wroughton, UK).

**Mots-clefs** Cinétique de sorption, transferts hygrothermiques, matériaux biosourcés, modélisation, démonstrateur

## I. INTRODUCTION

La modélisation des transferts hygrothermiques au sein des matériaux de construction contribue à prédire les évolutions d'humidité et de température à l'intérieur des bâtiments soumis à des charges intérieures et à des conditions extérieures changeantes. Les modèles utilisés reposent naturellement sur les équations fortement couplées de conservation de masse et de chaleur en régime instationnaire et sur des hypothèses largement admises, en particulier un équilibre local instantané entre humidité relative ( $HR$ ) et teneur en eau ( $w$ ) déterminé par les isothermes de sorption. Concernant le domaine des matériaux biosourcés, les investigations numériques sont récentes et restent peu nombreuses. Ces matériaux présentent des isothermes d'adsorption et de désorption différentes conduisant à l'apparition de comportements hystérétiques : des modèles existent pour les décrire et des études numériques les incorporant ont conduit à des résultats en accord avec l'expérience (Oumeziane et al., 2014). Par contre, des échantillons de tels matériaux soumis à des incréments de  $HR$  présentent des durées de stabilisation de leurs masses particulièrement longues : leur teneur en eau met plusieurs jours voire plusieurs semaines à se stabiliser, ce que les modèles classiques ne sont pas en mesure de reproduire. C'est notamment le cas pour les matériaux développés dans le cadre du projet ISOBIO (Collet et al., 2019).

## II. PAROI ISOBIO : CONFIGURATION ET CARACTERISATION DES MATERIAUX

### A. Configuration de la paroi ISOBIO

Dans le cadre du projet ISOBIO, la configuration de référence de la paroi multicouche est composée : d'un enduit chaux-chanvre BCB™ (BCB), d'un panneau rigide CAVAC™ constitué de chènevotte et d'un liant organique (CAV), de panneaux flexibles isolant CAVAC™ Biofib Trio (BIO1 & BIO2), d'un panneau OSB3, d'une membrane hygrovariable Proclima INTELLO (INT), d'un panneau de paille compressée Lignicell CSB™ (CSB) et d'un enduit argile-chanvre CLAYTEC™ (CLA). Cette configuration de référence est schématisée sur la Figure 1.

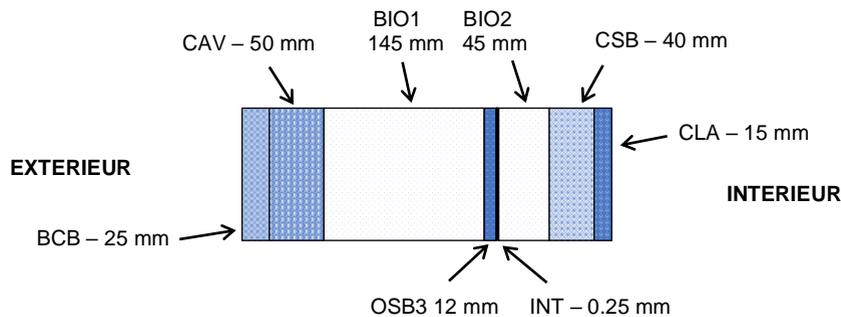


FIGURE 1. Configuration de la paroi ISOBIO

### B. Propriétés hygrothermiques des matériaux ISOBIO

Les matériaux ISOBIO ont été caractérisés par Collet et al. (2019). Leurs propriétés à sec sont donnés dans le tableau 1. Les évolutions de ces propriétés en fonction de la teneur en eau  $w$  ainsi que les isothermes d'adsorption sont données dans Reuge et al. (2020).

TABLEAU 1. Propriétés des matériaux ISOBIO ( $w = 0, T = 23^\circ\text{C}$ )

	$\rho_0$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	$\varepsilon_0$ (-)	$\mu_0$ (-)	$\lambda_0$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	$Cp_0$ ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
BCB	530	0.546	9	0.13	1006
CAV	190	0.874	11	0.07	2100
BIO	26.5	0.98	3.6	0.039	1800
OSB3	551	0.609	138	0.13	1600
INT	85	0.085	$1.364\cdot 10^5$	2.4	2500
CSB	449	0.72	27	0.10	1700
CLA	1392	0.294	10	0.62	1040

## II. CINETIQUES DE SORPTION ET MODELES CINETIQUE

Les cinétiques globales d'adsorption (*i.e.* à l'échelle d'échantillons de tailles représentatives) ont été effectués par Collet et al. (2019). La Figure 2 montre le cas du matériau CAV, initialement séché et soumis soudainement à des ambiances de HR plus élevées (0-33%, 33-50% et 50-65%). Les simulations ont été effectués sur la base des équations de transport (vapeur d'eau et eau liquide) décrites par Reuge et al. (2020). La cinétique de sorption  $R_s$  (terme source) est donnée par :

$$R_s = k_0 (w_{eq}(\varphi) - w)^2 \quad (1)$$

où  $w_{eq}$  est la teneur en eau d'équilibre à une humidité locale  $\varphi$  et  $k_0$  est une constante cinétique. Pour mieux tenir compte de l'intensité de la cinétique durant les premières heures du processus de sorption, l'expression améliorée suivante est proposée :

$$R_s = k_0 \left( 0.75 + 10^6 \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) (w_{eq}(\varphi) - w)^2 \quad (2)$$

D'après la Figure 2, l'approche classique (Künzel) sous-estime très largement le temps de stabilisation tandis que les modèles (1) et (2) reproduisent bien l'expérience, et même dans les premières heures avec le modèle (2). Pour chaque matériau ISOBIO,  $k_0$  a pu être déterminé.

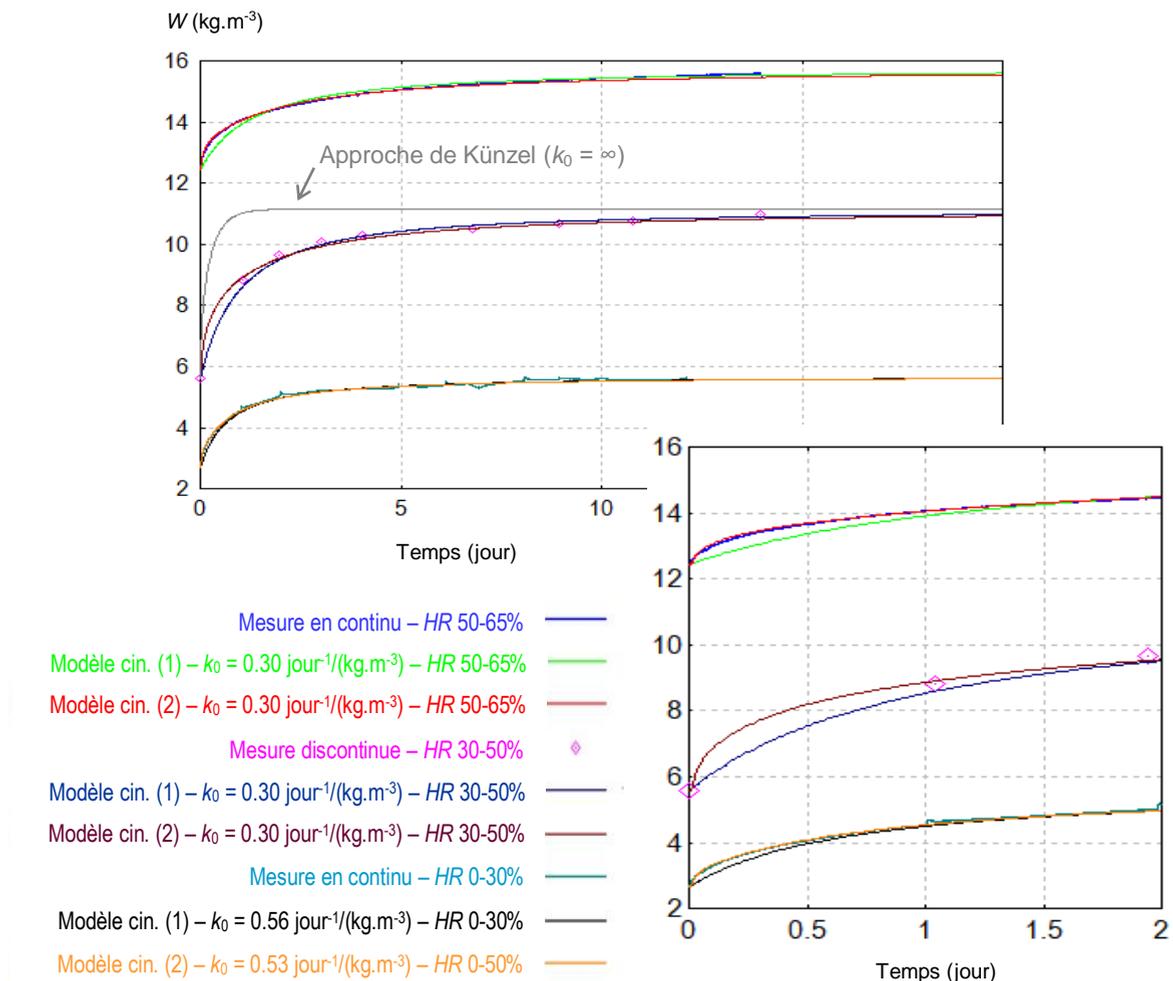


FIGURE 2. Cinétiques d'adsorption – Mesures et simulations

### III. SIMULATIONS DU DEMONSTRATEUR

Des mesures de HR ont été effectuées à diverses positions à l'intérieur de la paroi ISOBIO montée sur le démonstrateur HIVE (Wroughton, UK). L'acquisition a duré 18 jours en février 2018. La

Figure 3a présente les conditions extérieures ( $HR$  et  $T$ ) tandis qu'à l'intérieur,  $HR$  était maintenue à 43% et  $T$  à 25°C. La Figure 3b présente les résultats des simulations effectuées avec les codes "maison" TMC (basé sur l'approche classique de Künzel) et TMCKIN (basé sur les modèles de cinétique locale) à l'interface CAV / BIO1. Il apparaît clairement que TMC sous-estime les fluctuations de  $HR$ , TMCKIN basé sur le modèle cinétique (1) a tendance à les surestimer et enfin TMCKIN basé sur le modèle cinétique (2) apparaît en très bonne adéquation avec les mesures.

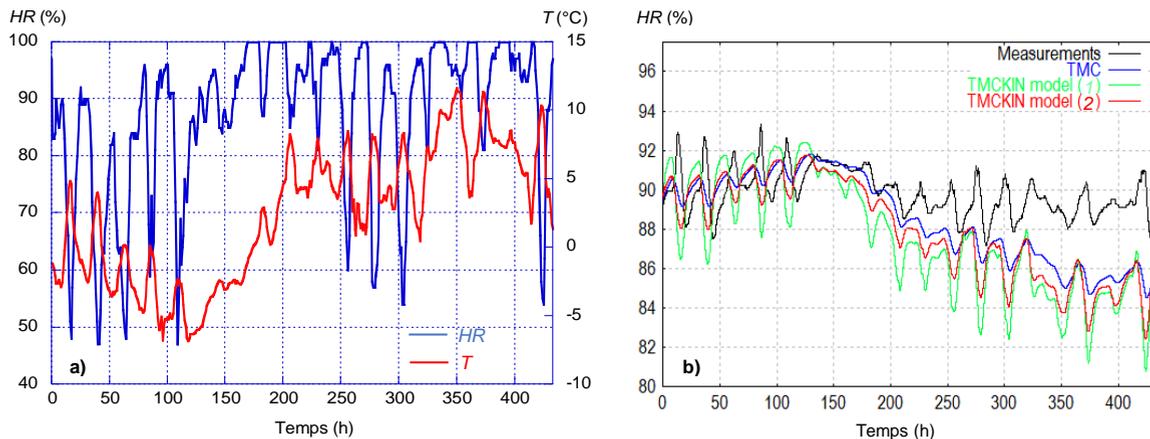


FIGURE 3. Conditions extérieures (a) – Mesures et simulations à l'interface CAV / BIO1 (b)

A la lumière de ces résultats, il apparaît donc que la prise en compte d'un modèle de cinétique locale de sorption permet de prédire de manière réaliste les fluctuations de  $HR$  à l'intérieur d'une paroi multicouche biosourcée sous sollicitation dynamique, en l'occurrence ici la paroi ISOBIO, dans les conditions opératoires étudiées.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été financés par le projet Européen ISOBIO (Horizon 2020) ainsi que par la région Bretagne Loire (UBL). Remerciements à Oliver Style (PROGETIC) et Adrew Shea (Univ. of Bath).

## REFERENCES

Y.A. Oumezian, M. Bart, S. Moissette, & C. Lanos (2014). Hysteretic Behaviour and Moisture Buffering of Hemp Concrete. *Transport In Porous Media*, 103, 515-533. <https://doi.org/10.1007/s11242-014-0314-7>

F. Collet, S. Pretot, V. Colson, C.R. Gamble, N. Reuge, & C. Lanos (2019). Hygric properties of materials used for ISOBIO wall solution for new buildings. *3rd International Conference on Bio-Based Building Materials*, June 26th - 28th 2019, Belfast, UK

N. Reuge, F. Collet, S. Pretot, S. Moissette, M. Bart, O. Style, A. Shea, & C. Lanos (2020). Hygrothermal effects and moisture kinetics in a bio-based multi-layered wall: Experimental and numerical studies. *Construction and Building Materials*, 240, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117928>