

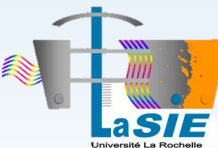
Calcul déterministe d'incertitudes pour les transferts couplés de chaleur et de masse dans les milieux poreux

Achraf Charaka ^{*1,2}, Julien Berger¹, Rafik Belarbi^{1,2}

¹ LaSIE, UMR 7356 CNRS La Rochelle Université
Avenue Michel Crépeau, 17042, La Rochelle Cedex1, France

² 4evLab, LaSIE, CNRS, EDF R&D, La Rochelle Université

* Corresponding author : achraf.charaka@univ-lr.fr



Modèle du transfert HAM 1D :

$$C_m \rho_s \frac{\partial P_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_m \frac{\partial P_v}{\partial x} + k_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \beta \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$C_p \rho_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha \frac{\partial P_v}{\partial x} \right)$$

C.I. $P_v = P_{v0}, T = T_0$

C.L. $\begin{cases} x = 0 : P_v = P_v^{\text{air}}, T = T^{\text{air}} \\ x = L : \frac{\partial P_v}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \end{cases}$

Propagation des incertitudes :

$$\sigma_P^2 = \sigma_{P,\text{sys}}^2 + \sigma_{P,x}^2 + \sigma_{P,t}^2 + \sigma_{P,\text{Rdm}}^2$$

Où $P = T$ (température) ou ϕ (humidité relative)

L'intervalle de confiance :

$$I_P(x, t) = \{ a \in \mathbb{R}^3 ; p(x, t) - \sigma_p(x, t) \leq a \leq p(x, t) + \sigma_p(x, t) \}$$

x = position de mesure t = instant de mesure

1. Incertitude systématique $\sigma_{P,\text{sys}}$ (expérimental) :

Défauts de calibration

Fourni par le fabricant

Dépendance de la plage de variation des mesures

2. Incertitude liée à la position du capteur $\sigma_{P,x}$ (numérique) :

$$\sigma_{P,x}(x, t) = \frac{\partial P}{\partial x} \delta_x + O(\delta_x^2)$$

δ_x l'incertitude sur la position du capteur

DL de P au voisinage de la position de mesure

Reproductibilité d'un résultat

3. Incertitude liée au temps de réponse du capteur $\sigma_{P,t}$ (numérique) :

$$\sigma_{P,t}(x, t) = \frac{\partial P}{\partial t} \delta_t + O(\delta_t^2)$$

δ_t le temps de réponse du capteur

DL de P au voisinage de l'instant de mesure

4. Incertitude liée à l'aspect aléatoire d'une expérience (expérimental) :

$$\sigma_{P,\text{rdm}}(x, t) = \frac{1}{N^{1/2}} \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \right)^{1/2}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

Réalisation de $N=9$ expériences similaires (différents échantillons)

Variabilité de la microstructure d'un échantillon à un autre

Démarche expérimentale et résultats

Formulation du béton de chanvre :

Chènevotte



Chaux

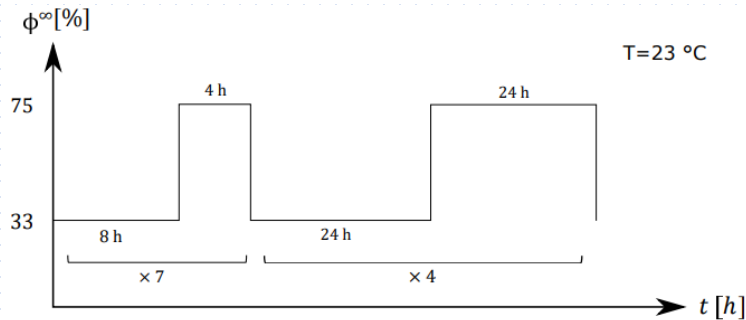
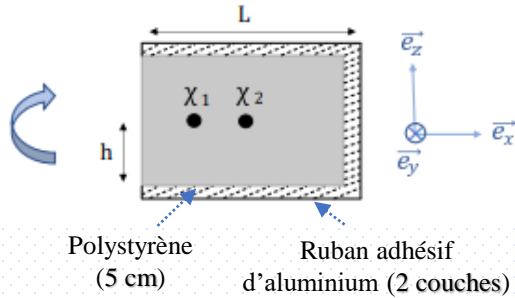


Échantillons $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$

Air sensor

(T^∞, ϕ^∞)

χ^∞



Données :

Béton de chanvre

$$k_m = 2.8 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

$$\lambda = 100.23 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_p = 1150 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\rho_s = 480 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Configuration

$$L = 10 \text{ cm} \quad \chi_1 = 2.5 \text{ cm} \quad t_f = 11.5 \text{ jours}$$

$$h = 5 \text{ cm} \quad \chi_2 = 5 \text{ cm}$$

Equipements

Chambre climatique CTS ($0.9 \times 1 \times 1.6 \text{ m}^3$)

Capteurs de mesure Ahlborn

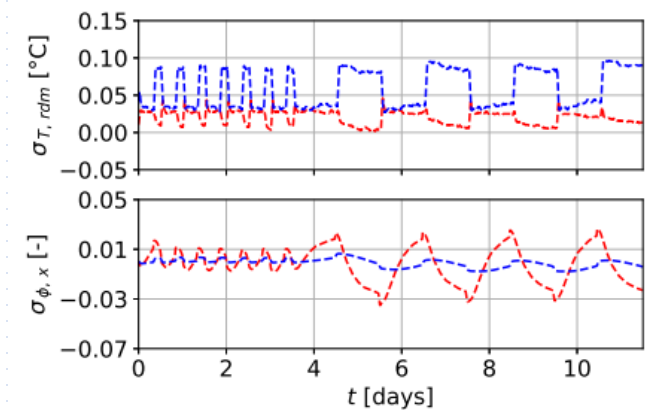
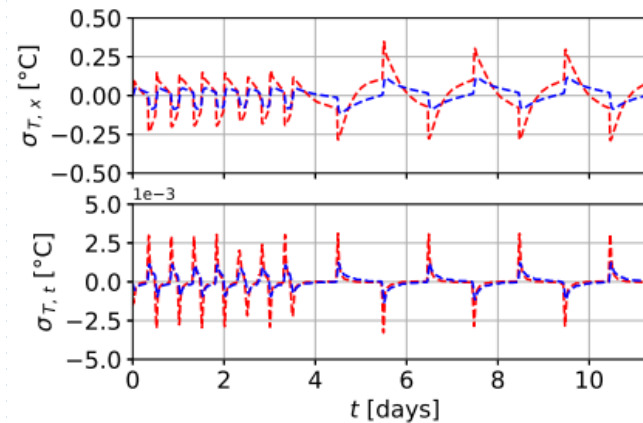
$$\phi = 5 \text{ mm} \sim \delta_x$$

$$\sigma_{T, \text{sys}} = 0.3 \text{ °C}$$

$$\sigma_{\phi, \text{sys}} = 0.04$$

$$\delta_t = 10 \text{ s}$$

Evaluation des incertitudes :



Résultats et conclusion

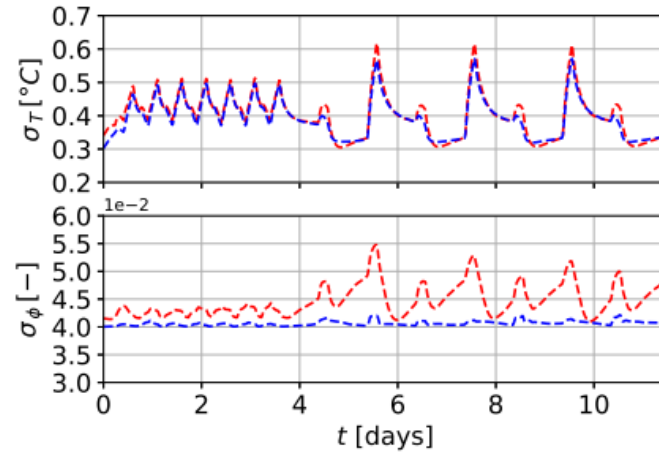
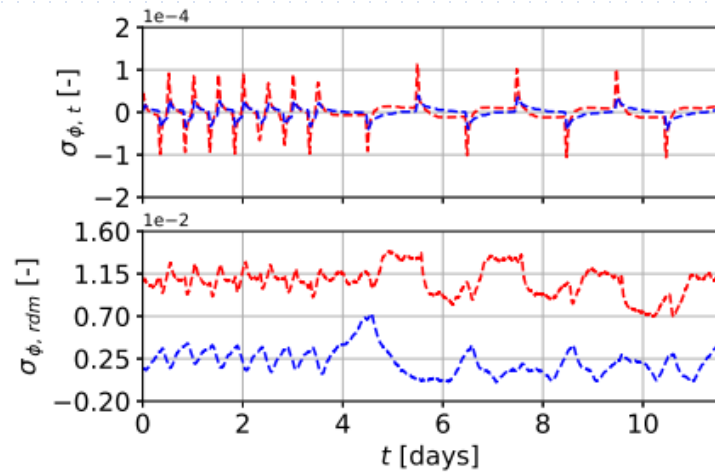
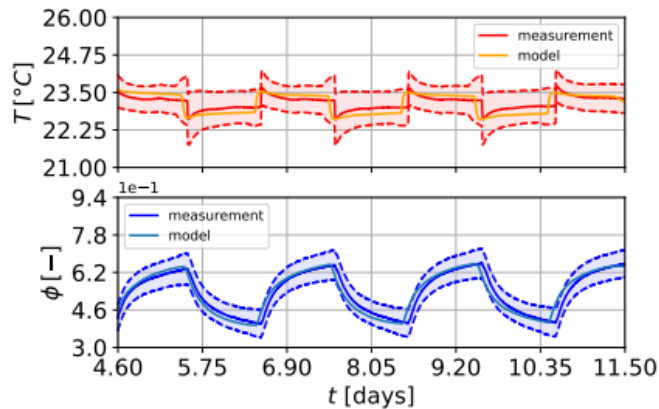
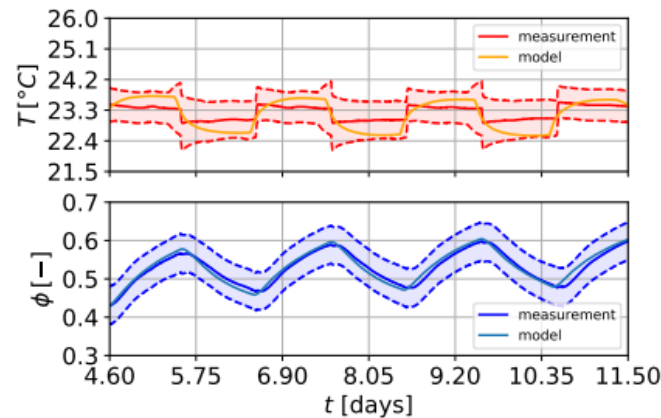


Figure 1. Les incertitudes liées à la position et le temps de réponse du capteur, l'aspect aléatoire ainsi que l'incertitude totale en température et humidité relative (rouge et bleu pour χ_1 et χ_2 respectivement)



(a)



(b)

Figure 2. Résultats expérimentaux et numériques en température et humidité relative à χ_1 (a) et χ_2 (b) ainsi que les intervalles de confiance limités par les lignes en pointillés.

1. $\sigma_{P,x} > \sigma_{P,rdm} > \sigma_{P,t}$ pour une position donnée
2. Incertitude plus importante au voisinage de fortes sollicitations
3. Incertitudes jusqu'à un maximum de 0.6 °C et 0.055 (HR)

4. Bonne concordance entre modèle et expérience

➡ Importance d'estimer l'intervalle de confiance

➡ Rapidité des calculs sous cette approche, mais moins de précision

Les incertitudes sur les propriétés mesurées peuvent être incluses dans l'investigation, e.g. conductivité thermique.

