

Notion d'impédance appliquée à l'étude du comportement thermique d'une pierre calcaire de construction à partir de mesures en laboratoire et in situ

Tingting Wu, Emmanuel Antczak, Franck Brachelet, Didier Defer

L'objectif de ce travail est de proposer une méthode de caractérisation thermique in situ d'une paroi de bâtiment en complément de mesures de laboratoire de référence.

Aspect théorique:

Notion de quadripôle

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix}$$



Impédance thermique

Grandeurs généralisées:
somme des températures ($\Sigma\theta$)
différence des flux ($\Delta\phi$)
différence des températures ($\Delta\theta$)
somme des flux ($\Sigma\phi$).

$$\begin{bmatrix} \Sigma\phi \\ \Delta\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_t & 0 \\ 0 & H_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Sigma\theta \end{bmatrix}$$

$$Z_s(\omega) = \frac{1}{H_t} = \frac{1}{b\sqrt{j\omega}} \cdot \text{cotanh}\left(\frac{X_e}{2}\right); \quad Z_t(\omega) = \frac{1}{H_s} = \frac{1}{b\sqrt{j\omega}} \cdot \tanh\left(\frac{X_e}{2}\right) \quad \text{avec} \quad X_e = \sqrt{\frac{j\omega}{a}} e$$

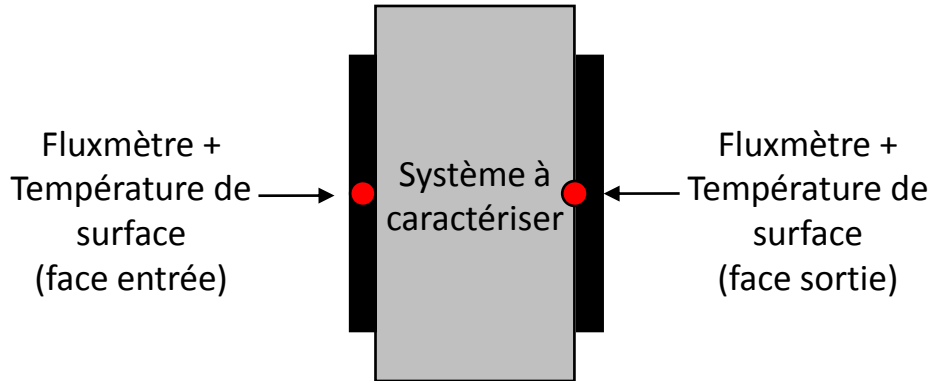


Mise en évidence de deux modes : transfert et stockage

Etude expérimentale:

Trois approches en fonction des conditions limites thermiques imposées (déterministes, aléatoires) et de l'environnement d'étude (laboratoire, in situ).

Instrumentation principale:



Principe d'instrumentation du système en entrée/sortie

- **En laboratoire**, à partir d'échantillons par des méthodes classiques (basées sur la norme NF EN 12664).

w(%)	0	1.44	2.90	5.75	6.42	10.93	14.05
$\rho(\text{kg/m}^3)$	1723	1750	1770	1820	1830	1910	1970
$\lambda(\text{m.K})$	0.79	0.86	0.90	1	1.03	1.24	1.44
$\rho_c(\text{W/m}^3.\text{K})$	$1.36.10^6$	$1.49.10^6$	$1.59.10^6$	$1.79.10^6$	$1.81.10^6$	$2.11.10^6$	$2.27.10^6$
a(m ² /s)	$5.78.10^{-7}$	$5.8.10^{-7}$	$5.34.10^{-7}$	$5.52.10^{-7}$	$5.84.10^{-7}$	$5.86.10^{-7}$	$6.33.10^{-7}$
b(J/K.m ² .s ^{1/2})	1034	1135	1161	1344	1352	1615	1806

Caractéristiques thermophysiques de la pierre calcaire

- **En laboratoire**, sur une surface représentative réduite de 1m² environ, dans des conditions contrôlées de flux et de température sous sollicitations déterministes, à l'aide de la fonction d'intercorrélation, on obtient la notion de **déphasage en thermique du bâtiment: 7h22mn.**

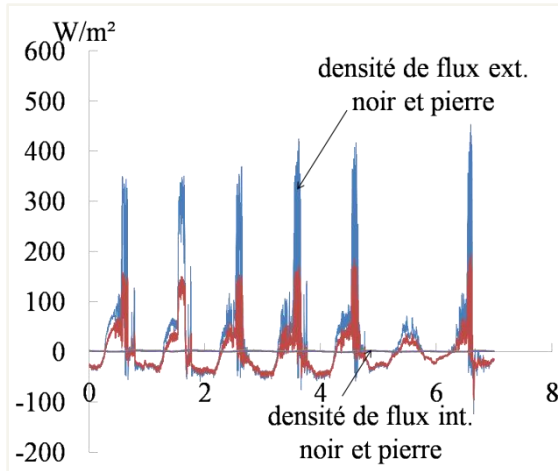
- **In situ**, sur une maison individuelle, l'observation de l'évolution des grandeurs thermiques en fonction des conditions climatiques extérieures.



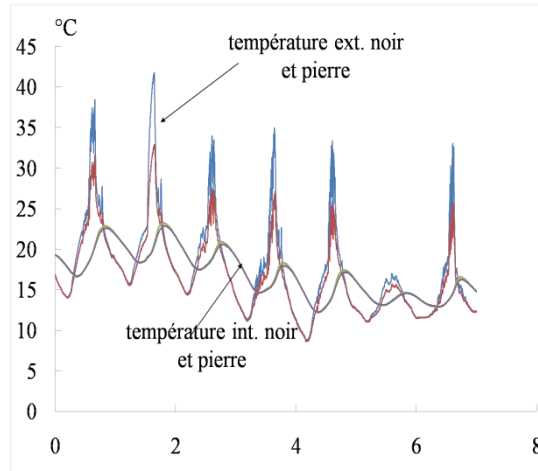
Sous sollicitations naturelles aléatoires
Pas d'acquisition: 120s

Positionnement des capteurs sur la paroi in situ

Résultats expérimentaux *in situ*:

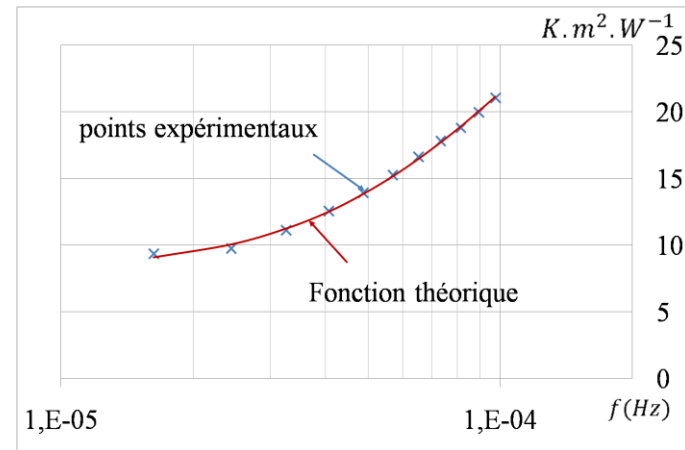


Exemple de flux relevés en surface



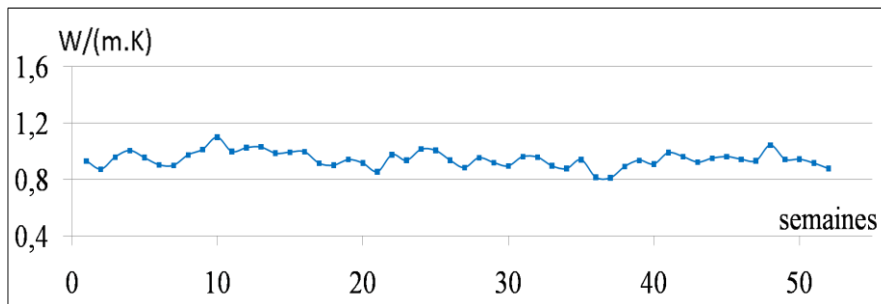
Exemple de températures relevées en surface

Traitement des données:



Fonction H1 calculée et optimisée

Résultats obtenus:



Evolution de la conductivité thermique de la pierre *in situ* en fonction du temps

Conclusion:

- Instrumentation fluxmétrique fiable et adaptée aux conditions *in situ*.
- Approche entrée/sortie mettant en évidence un comportement évolutif du matériau constructif soumis à l'environnement climatique.
- Variations de conductivité thermique: 40% par rapport à l'état sec.
- Les études préalables en laboratoire montrent qu'elles sont liées à la teneur en eau du matériau.
- L'approche à différentes échelles permet de cerner le comportement thermique d'un matériau afin d'en optimiser son utilisation dans le cadre d'un procédé constructif.