

Réflexions sur l'utilisation de capteurs de densité de flux thermique sur un banc expérimental *in-situ*

Marina MALAGONI ^(1*), Sandra GALLEGO ⁽²⁾, Stéphane GINESTET ⁽²⁾ & Gilles ESCADEILLAS ⁽²⁾



INTRODUCTION

Constat

Ecarts entre les mesures de densité de flux thermique *in-situ* à l'aide de fluxmètres et les valeurs calculées ou simulées par des modélisations numériques

Exemples de facteurs rentrant en jeu sur la mesure de la densité de flux sur une paroi et peu discutés dans le milieu du bâtiment

- Caractéristiques physiques du capteur : surface, étalonnage de la sensibilité, incertitude associée
- Mise en place du capteur : effets de bord, modification de la résistance locale de la paroi, résistance du câble électrique, utilisation en régime instationnaire

Objectifs de l'étude

- Proposition d'une méthode d'étalonnage réalisable facilement dans un laboratoire de génie civil utilisant un équipement de détermination de la conductivité thermique appelé *lambda*-mètre et qui permet un étalonnage à des niveaux de flux de chaleur et températures cohérents avec les conditions finales d'utilisation des capteurs
- Analyse des incertitudes associées aux sensibilités des fluxmètres
- Etude préliminaire sur des capteurs troués prototypes qui permettent de réduire la surface de contact pour minimiser l'influence de la résistance thermique du capteur sur la paroi
- Vérification de l'influence de la longueur du câble électrique sur la sensibilité du capteur

CAPTEURS, EQUIPEMENTS ET METHODES

Fluxmètres

Quatre fluxmètres étudiés P1, P2, T1 et T2

- 140 thermocouples en série par cm² de type K
- Support en époxy et polyimide
- 100 x 100 x 0,6 mm

$$E = S \times q \quad (1)$$

E – tension de sortie aux bornes du capteur (V)
S – sensibilité (V/(W/m²))
q – densité de flux de chaleur (W/m²)

Surface pleine
P1 et P2

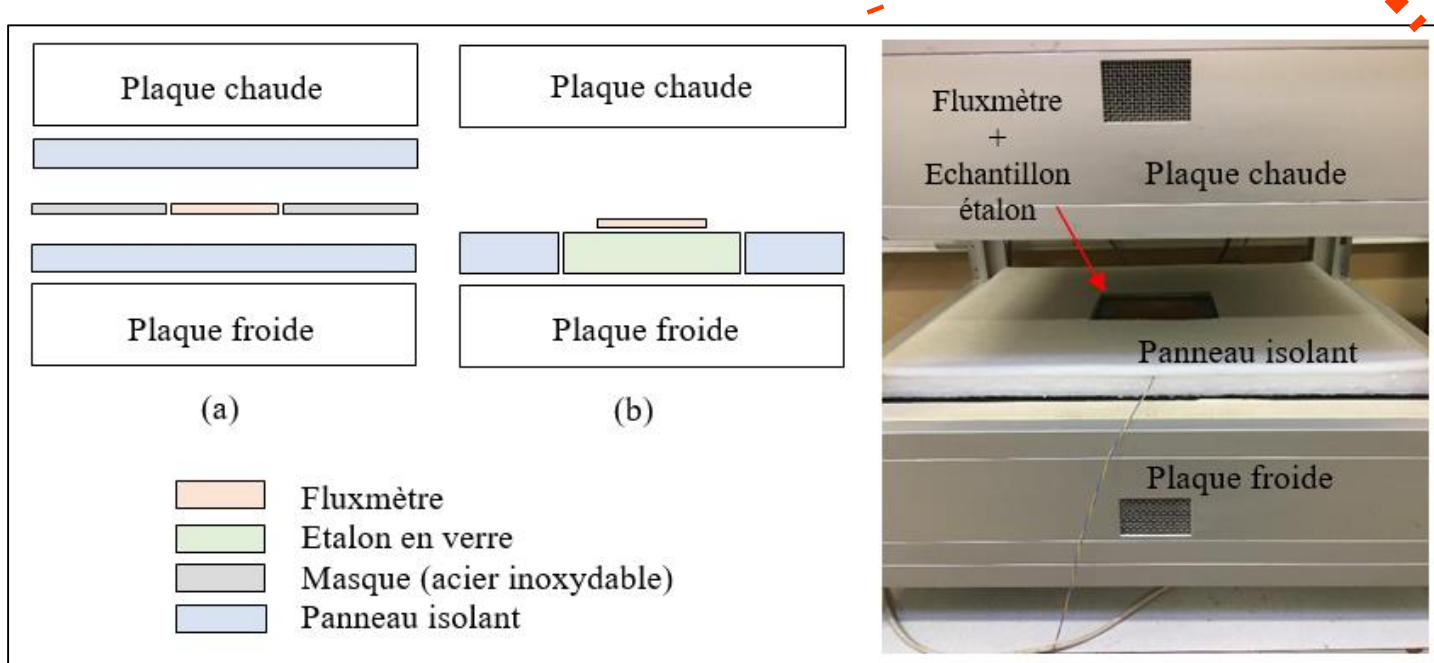
Surface trouée
T1 et T2

Equipements

- Mesure de la tension aux bornes du fluxmètre à l'aide d'une centrale d'acquisition Agilent 34907A avec une carte d'acquisition 34901A
- Détermination de la densité de flux traversant le fluxmètre à partir d'un appareil basé sur le principe de la plaque chaude gardée (*lambda*-mètre ou *lambda*-mètre) destiné à la mesure de la conductivité thermique des matériaux d'usage en génie civil et dont l'utilisation a été adaptée pour l'étalonnage

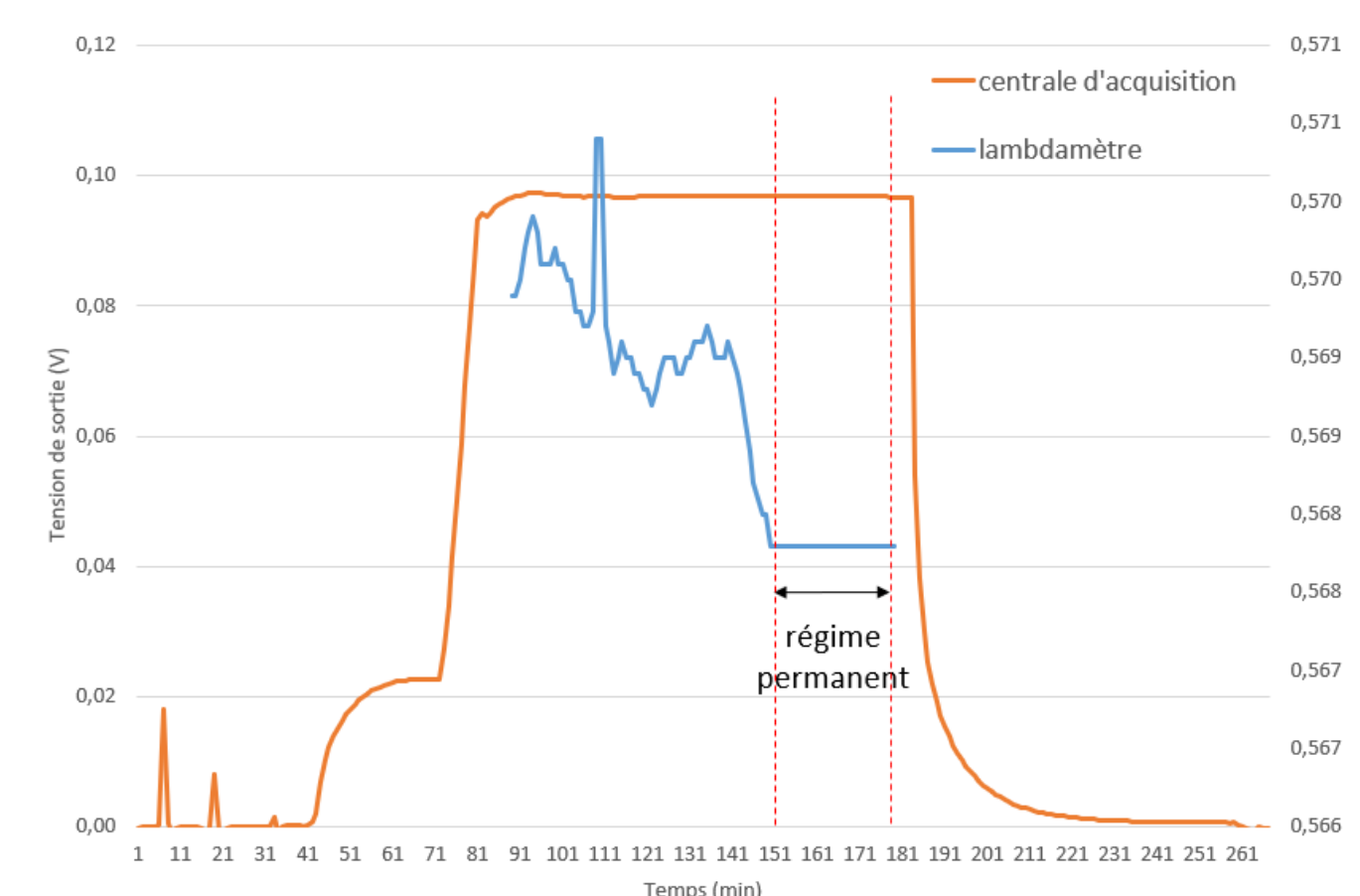
Deux types d'empilement

- (a) Classique de la norme américaine ASTM C1130
- (b) Adapté et simplifié avec un échantillon étalon en verre

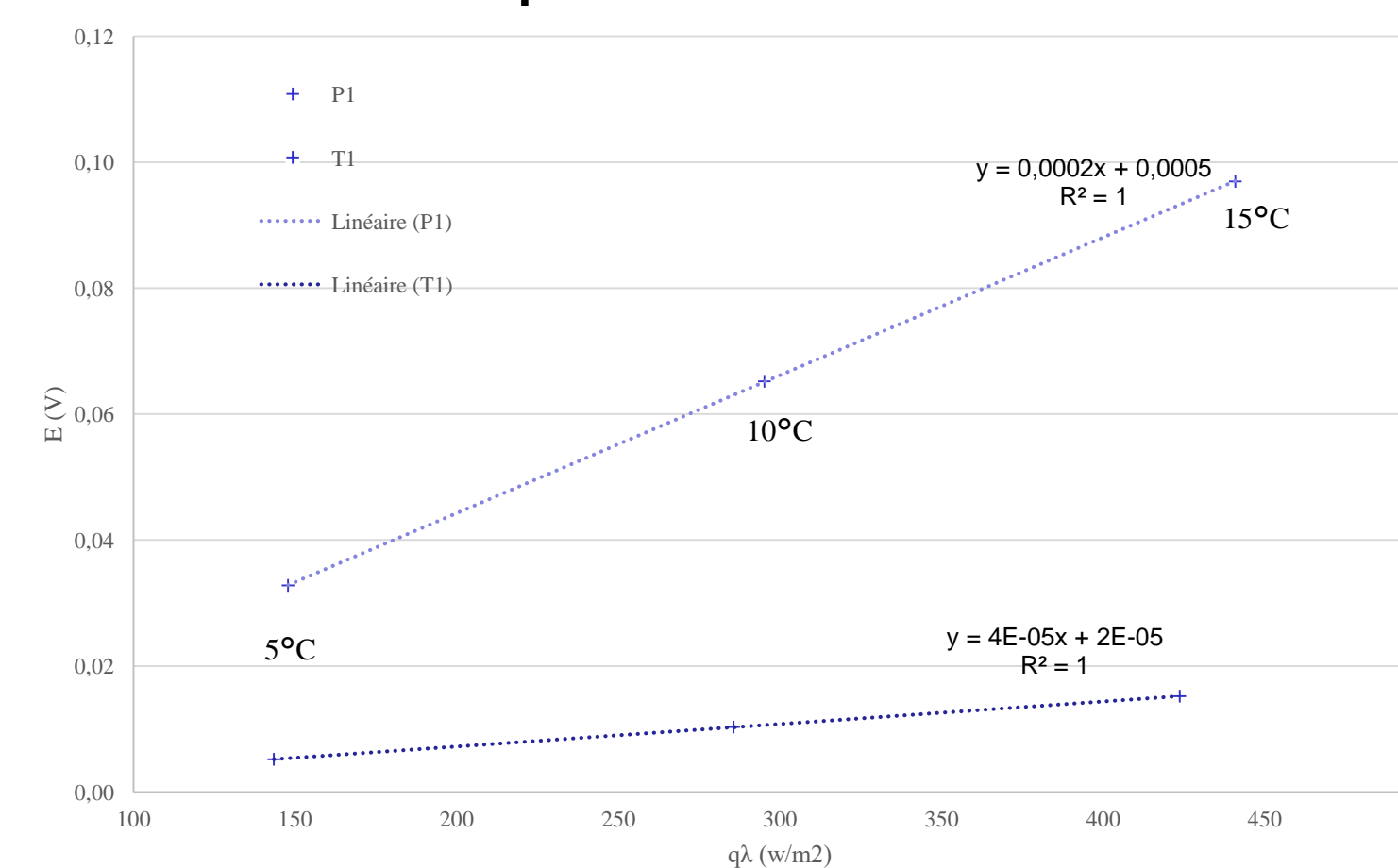


Protocole d'étalonnage

Exemple de signaux mesurés pour une exploitation des données lorsque le régime permanent est atteint



Exemple d'obtention de la sensibilité à partir de 3 essais pour P1 et T1



Détermination de la densité de flux traversant le fluxmètre:

$$q_\lambda = \frac{\lambda \times \Delta T}{e} \quad (2)$$

q_λ – densité de flux de chaleur traversant le fluxmètre dans le λ -mètre (W/m²)

λ – conductivité thermique de l'empilement (W/m.K)

ΔT – différence de température entre la plaque chaude et la plaque froide, égale à 5, 10 ou 15°C

e – épaisseur de l'empilement (m)

3 essais par fluxmètre et par type d'empilement

$$E = S \times q_\lambda \quad (3)$$

Sensibilité = Pente des droites obtenues

Incertitudes sur les sensibilités

Principe de propagation des incertitudes appliqué à l'équation (3) avec un coefficient d'élargissement égal à 2

$$u_c(S) = \sqrt{\frac{u(E)^2}{q_\lambda^2} + \frac{E^2}{q_\lambda^4} u(q_\lambda)^2} \quad (4)$$

$u(E)$ – incertitude sur E mesurée avec la centrale d'acquisition (V/(W/m²))

$u(q_\lambda)$ – incertitude sur q_λ déterminée à partir du λ -mètre (V/(W/m²))

RESULTATS ET DISCUSSION

- Ecarts plus importants par rapport à la sensibilité d'usine (fluxmètres sortis d'usine il y a 5 ans) avec la méthode de l'étalon en verre

Interprétations : Effets de bord engendrés par la différence de surface entre le fluxmètre et l'échantillon

➔ Méthode à améliorer en utilisant un autre matériau étalon pour se rapprocher au plus près des conditions opératoires *in-situ*

- Ecarts plus importants par rapport à la sensibilité d'usine pour les fluxmètres troués

Interprétations : Effets de bord engendrés par la présence de trous

➔ Etude approfondie de l'influence des trous sur des mesures *in-situ*

- Aucune influence sur les résultats suite à un allongement de 10m du câble électrique (câble de 3m à l'origine) reliant le fluxmètre à la centrale d'acquisition

Interprétations : Résistance électrique du câble très faible comparée à celle du fluxmètre

➔ Liberté d'action pour la mise en place *in-situ* concernant la distance paroi/centrale d'acquisition

Capteur	S_{usine} V/(W/m ²)	Etalon verre			ASTM C1130 Longueur initiale			ASTM C1130 Rallongé		
		$S_{\text{étalonné}}$ V/(W/m ²)	$\pm u_c(S)$ V/(W/m ²)	(ΔS) usine %	$S_{\text{étalonné}}$ V/(W/m ²)	$\pm u_c(S)$ V/(W/m ²)	(ΔS) usine %	$S_{\text{étalonné}}$ V/(W/m ²)	$\pm u_c(S)$ V/(W/m ²)	(ΔS) longueur initiale %
P1	1,91E-04	2,19E-04	0,03E-04	14,6	1,95E-04	0,05E-04	2,1	1,98E-04	0,05E-04	1,5
P2	1,84E-04	2,22E-04	0,03E-04	20,4	1,96E-04	0,05E-04	6,5	1,94E-04	0,05E-04	-0,8
T1	2,18E-05	3,59E-05	0,06E-05	64,5	2,47E-05	0,41E-05	13,3	2,45E-05	0,41E-05	-1,0
T2	2,14E-05	3,44E-05	0,06E-05	60,6	2,37E-05	0,41E-05	10,7	2,37E-05	0,41E-05	0,0

(*) Auteur correspondant (malagoni@insa-toulouse.fr)

1) Instituto Federal de Goiás, Av. Assis Chateaubriand, n° 1.658, Setor Oeste, 74130-012 - Goiânia, Goiás, Brasil.

2) Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions – LMDC, 135 Avenue de Ranguieu, 31400 Toulouse