

# Méthode flash appliquée aux mesures thermiques dans les milieux semi-transparents

**CETHIL Centre de Thermique de Lyon INSA/UCBL**  
Equipe TIM Transferts aux Interfaces et dans les Matériaux

UMR CNRS 5008

Correspondants : D. BAILLIS, M. RAYNAUD

Tél : 04 72 43 84 74 E-mail : dominique.baillis@insa-lyon.fr

## Méthode Flash

### Nomenclature

$h$	coefficient d'échange global	$T_0$	température de l'enceinte
$k_m$	conductivité du milieu homogène équivalent		
$L_0$	luminance du rayonnement incident sur l'échantillon	<i>Symboles Grecs</i>	
$l_y$	épaisseur de l'échantillon	$\beta$	coefficient d'extinction volumique
$L$	luminance	$\varepsilon$	émissivité de la paroi
$L^0$	luminance du corps noir	$\mu$	cosinus de l'angle polaire défini par rapport à la normale à l'échantillon
$n$	indice de réfraction du m.s.t.	$\bar{\sigma}$	constante de Stefan-Boltzmann $\bar{\sigma} = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
$p_j$	paramètre j utilisé dans la méthode d'identification	$\Theta$	température adimensionnée
$P$	fonction de phase spectrale	$\rho C_p$	capacité thermique volumique
$Q$	densité de flux du pulse laser	$\tau_0$	épaisseur optique de l'échantillon
$t$	temps	$\omega$	albedo
$T$	température		

### Introduction

Dans la plupart des travaux effectués sur la méthode Flash appliquée aux Milieux Semi-Transparents, (MST) c'est une diffusivité apparente qui est mesurée (Ping et al. (1991), André and Degiovani (1995), Hahn et al. (1997)).

Dans nos travaux, le couplage conduction-rayonnement est pris en compte pour identifier la diffusivité des MST par méthode Flash (Da Silva et al. (1998), Da Silva (1997), Baillis et al. (2000)).

### 1. Description de la méthode d'identification

La méthode Flash utilise des thermogrammes théoriques et expérimentaux obtenus en face arrière de l'échantillon consécutivement à une excitation impulsionnelle en face avant (Figure 1). Cette méthode consiste à trouver les paramètres ( $p_j$ ) minimisant la fonctionnelle  $F$ , qui représente la somme des écarts quadratiques entre les valeurs théoriques et expérimentales des températures adimensionnées obtenues en face arrière.

$$F(p_j) = \sum_i (\Theta_{ii}(p_j) - \Theta_{ei})^2 \quad (1)$$

$$\Theta = \frac{T - T_0}{(T - T_0)_{\max}} \quad (2)$$

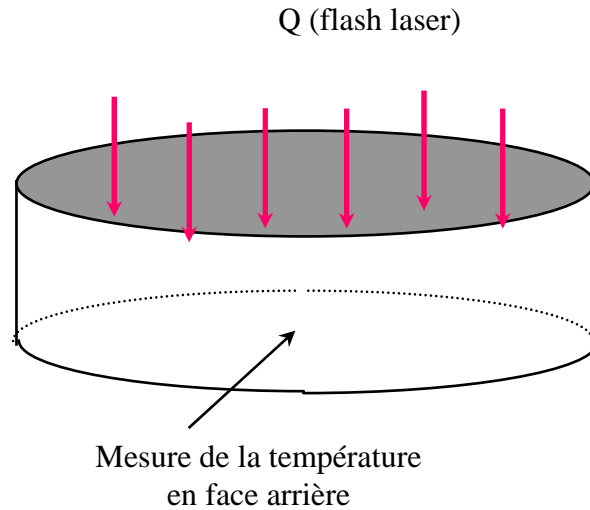


Figure 1 Principe de la méthode Flash

## 2. Banc d'essais pour la mesure de diffusivité

Un banc d'essais permettant de faire des mesures de diffusivité par méthode flash dans un domaine de température allant de  $-190$  à  $100^\circ\text{C}$  a été conçu au CETHIL. Il utilise une lampe Xenon. Cette lampe délivre une impulsion de durée 5-6 ms. L'énergie du pulse est de  $1-2 \text{ J cm}^{-2}$ . Cette impulsion excite une éprouvette cylindrique à l'équilibre thermique dans un four. Le diamètre de l'échantillon est de 15-25 mm, l'épaisseur est de 2-3 mm. La variation de température sur la face arrière de l'éprouvette, réponse à l'impulsion laser sur la face avant, est mesurée par des thermocouples  $\text{bi}_2\text{TO}_3$ . La température de l'échantillon est mesurée par une sonde Pt 100. La variation de signal en fonction du temps est exploitée afin de déterminer la diffusivité thermique de l'éprouvette.

## 3. Modèle direct de couplage conduction-rayonnement

Un modèle direct de couplage conduction-rayonnement en géométrie mono-dimensionnelle permet de calculer les températures théoriques requises dans la méthode d'identification. La méthode des volumes de contrôle associée à la méthode des ordonnées discrètes est utilisée pour résoudre l'équation de l'énergie en régime transitoire ainsi que l'ETR.

### Equation de l'énergie

L'équation de l'énergie en régime transitoire s'écrit :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{k_m} \frac{\partial q_r}{\partial y} = \frac{\rho c_p}{k_m} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{avec} \quad \frac{\partial q_r}{\partial y} = \kappa \left( 4n^2 \bar{\sigma} T^4 - 2\pi \int_{-1}^1 L(y, \mu) d\mu \right) \quad (3)$$

Les conditions aux limites sont les suivantes :

$$-k_m \frac{\partial T}{\partial y} + q_r = h(T_0 - T) \quad y=0, t>0 \quad -k_m \frac{\partial T}{\partial y} + q_r = h(T - T_0) \quad y=l_y, t>0 \quad (4)$$

Le Dirac de flux a pour effet, à l'instant initial, d'échauffer le milieu contenu dans la première maille  $\Delta y$ . Ainsi la condition initiale est la suivante :

$$T = T_0 + \frac{Q}{\rho C_p \Delta y} \quad 0 < y < \Delta y, t=0 \quad T = T_0 \quad \Delta y < y < l_y, t=0 \quad (5)$$

### Equation du transfert radiatif

L'équation du transfert radiatif dans le cas d'une géométrie mono-dimensionnelle, d'une symétrie azimutale s'écrit :

$$\mu \frac{\partial L_\lambda(\tau, \mu)}{\partial \tau} + L_\lambda(\tau, \mu) = S_\lambda(\tau, \mu, T)$$

avec  $S_\lambda(\tau, \mu, T) = (1 - \omega)L_\lambda^0(T) + \frac{\omega}{2} \left( \int_{-1}^1 L_\lambda(\tau, \mu') P(\mu', \mu) d\mu' \right)$  (6)

Les conditions aux limites radiatives sont celles de surfaces opaques et diffusantes en émission comme en réflexion, d'émissivité  $\varepsilon$  :

$$L(0, \mu) = \varepsilon L^0(0) + 2(1 - \varepsilon) \int_0^1 L(0, -\mu') \mu' d\mu' \quad \mu > 0$$

$$L(\tau_0, \mu) = \varepsilon L^0(\tau_0) + 2(1 - \varepsilon) \int_0^1 L(\tau_0, \mu') \mu' d\mu' \quad \mu < 0 \quad (7)$$

### Conclusion

Deux approches de caractérisation peuvent être menées :

- (1) soit les propriétés radiatives (coefficients d'absorption, de diffusion et la fonction de phase) des MST sont connues on peut alors déterminer la diffusivité.
- (2) soit les propriétés radiatives sont inconnues on peut alors tenter d'identifier les propriétés radiatives et la conductivité. Mais la caractérisation peut s'avérer difficile.

### Références bibliographiques

- André S. and Degiovanni A., *A theoretical study of the transient coupled conduction and radiation heat transfer in glass : phonic diffusivity measurements by the Flash technique*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 38, pp. 3401-3412 (1995).
- Hale M.J. and Bohn M.S., *Measurements of the radiative transport properties of reticulated alumina foams*, Proceedings ASME/ASES Joint Solar Energy Conf., A. Kirkpatrick and W. Worek, eds., ASME, New York, 507 (1993).
- Ping T. H., Maestre B., and Lallemand M. *Transient and steady-state combined heat transfer in Semi-Transparent Materials subjected to a pulse or a step Irradiation*, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 113, N° 5, pp. 166-173 (1991).
- Z. E. Da Silva, M. Laurent, D. Baillis-Doermann, *Inverse analysis of transient coupled conduction-radiation : conductive and radiative properties measurement*, 7<sup>th</sup> AIAA/ASME Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference, Albuquerque, New Mexico, USA, Paper N°. 98-2842, 6p. (15-18 juin 1998).

Z. E. Da Silva, *Transferts couplés conduction-rayonnement. Application de la méthode Flash aux milieux semi-transparentes*, Thèse de doctorat, INSA de Lyon (15 juillet 1997), co-encadré avec Professeur M. Laurent.

Baillis D., M. Laurent, M. Raynaud, P. Gervais, *Méthode Flash appliquée aux mousses de carbone*, Congrès Annuel de la Société Française des Thermiciens, Lyon, France pp. 697-702 (15-17 mai 2000).