Estimation de flux de chaleur en configuration 2-D

V Sobotka, L Perez, Y Jarny, D Delaunay

Laboratoire de Thermocinétique de Nantes UMR CNRS 6607

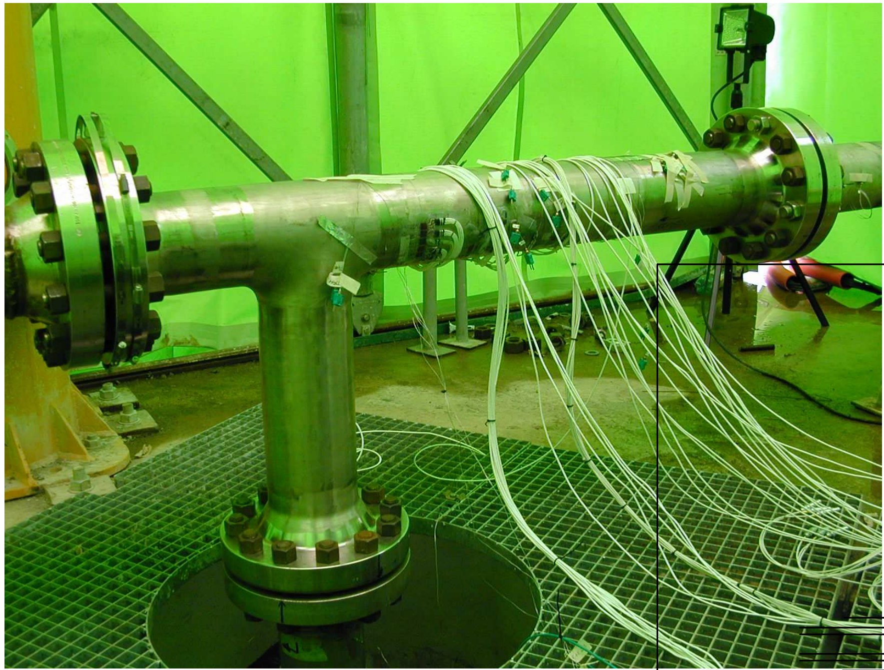
Polytech'Nantes

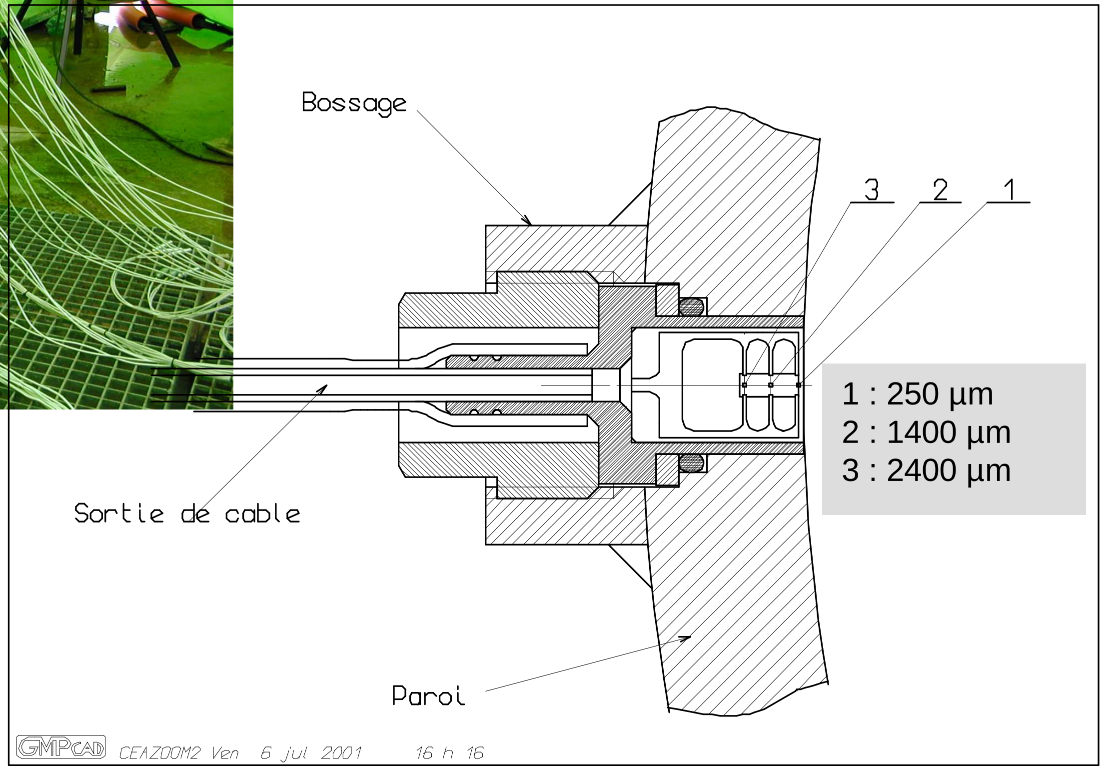
SFT-27/11/08 - "Mesure des températures et des flux élevés"

$\Phi = h(T - T_\infty)$	Densité de flux	Exemple de Transfert
	$10 \quad MW/m^2$	Flux d'un faisceau laser focalisé sur une petite surface
$\frac{200}{0.01}(200-100)$	$2 \quad MW/m^2$	Paroi de culasse de moteur (Phase explosion)
$15000(150-130)$	$300 \quad kW/m^2$	Paroi en aval d'un TE de mélange
$\frac{0.2}{0.005}(175-75)$	$4 \quad kW/m^2$	Paroi d'une cavité moulante dans un moule d'injection
	$<1 \quad kW/m^2$	Flux solaire
$12(75-25)$	$600 \quad W/m^2$	Refroidissement par convection naturelle

TE de mélange

Expérience FATHER (CEA)





Exemple de Cahier des charges du banc d'essai

- Capteur « non intrusif »: le corps du fluxmètre est constitué du même matériau que celui de la paroi

-Charge thermique de même intensité que celle du procédé $0-10 \quad MW/m^2$

- « Bande passante »: 25Hz

- Validité de la réponse d'un modèle de conduction 1-D (du type Méthode de Beck)

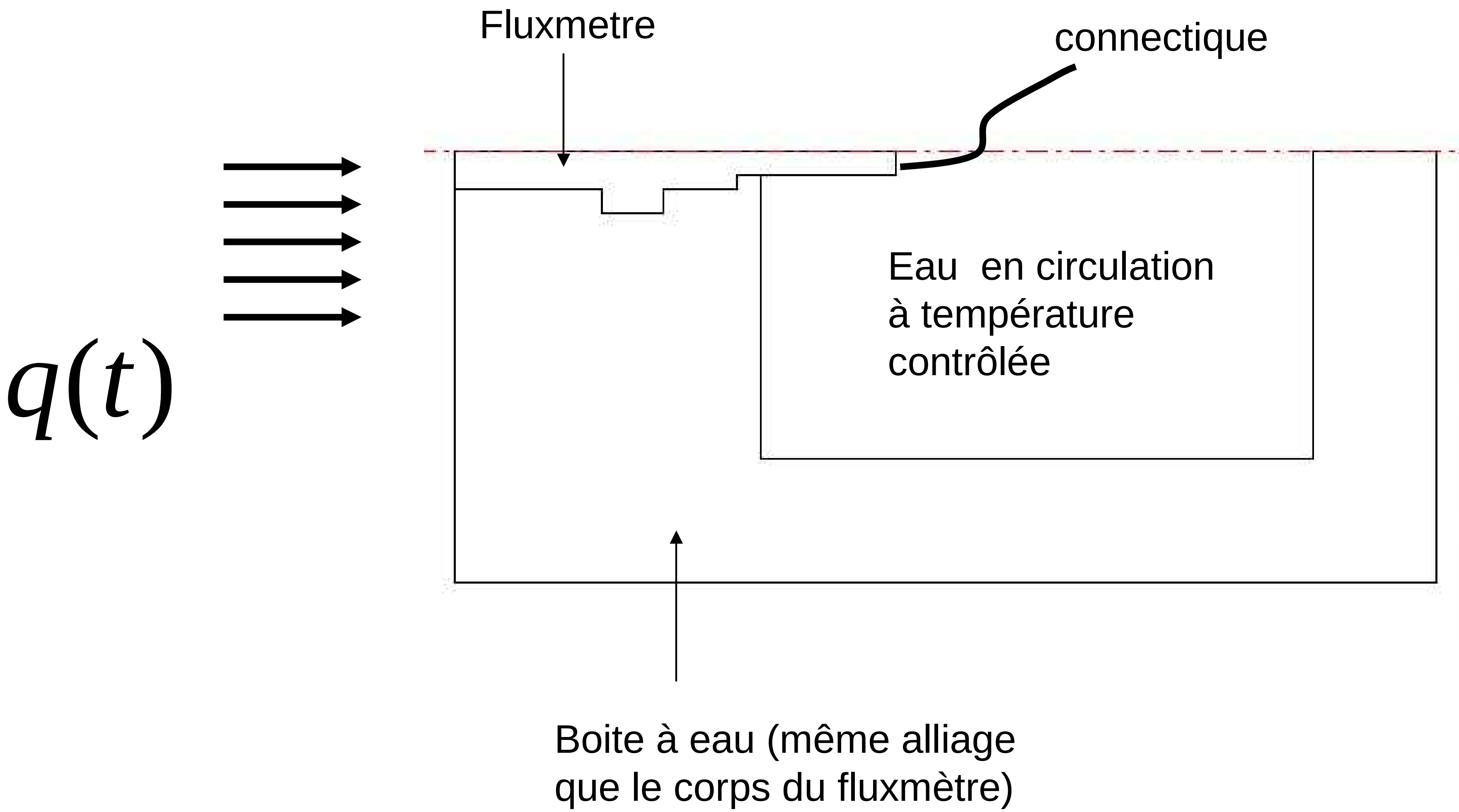
En régime périodique (milieu semi-infini, diffusivité *a*),
Le facteur d'atténuation *G* entre l'amplitude du signal

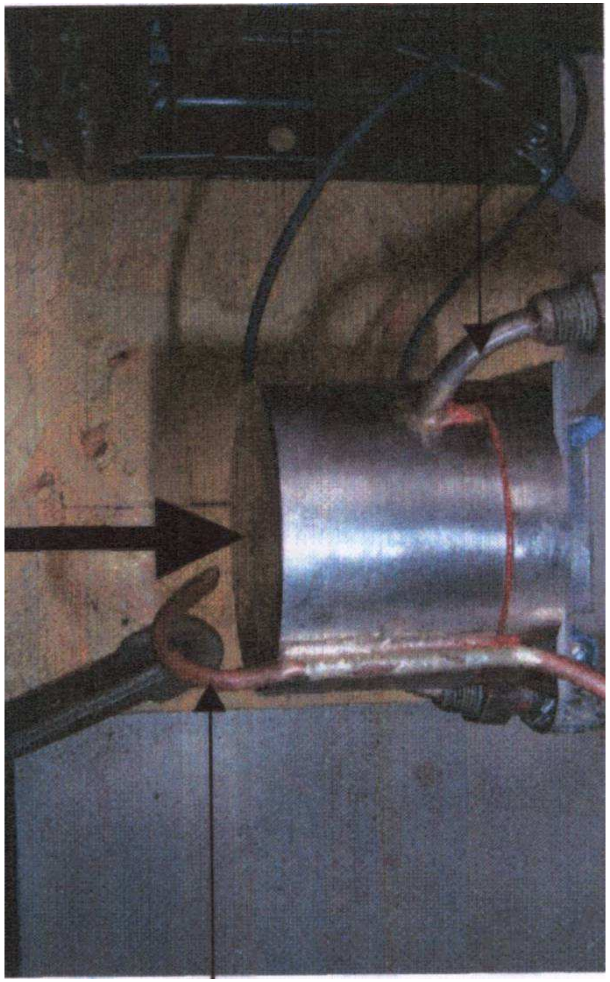
$$u \text{ en } x = 0 \quad \text{et} \quad \phi \text{ en } x = x_c$$

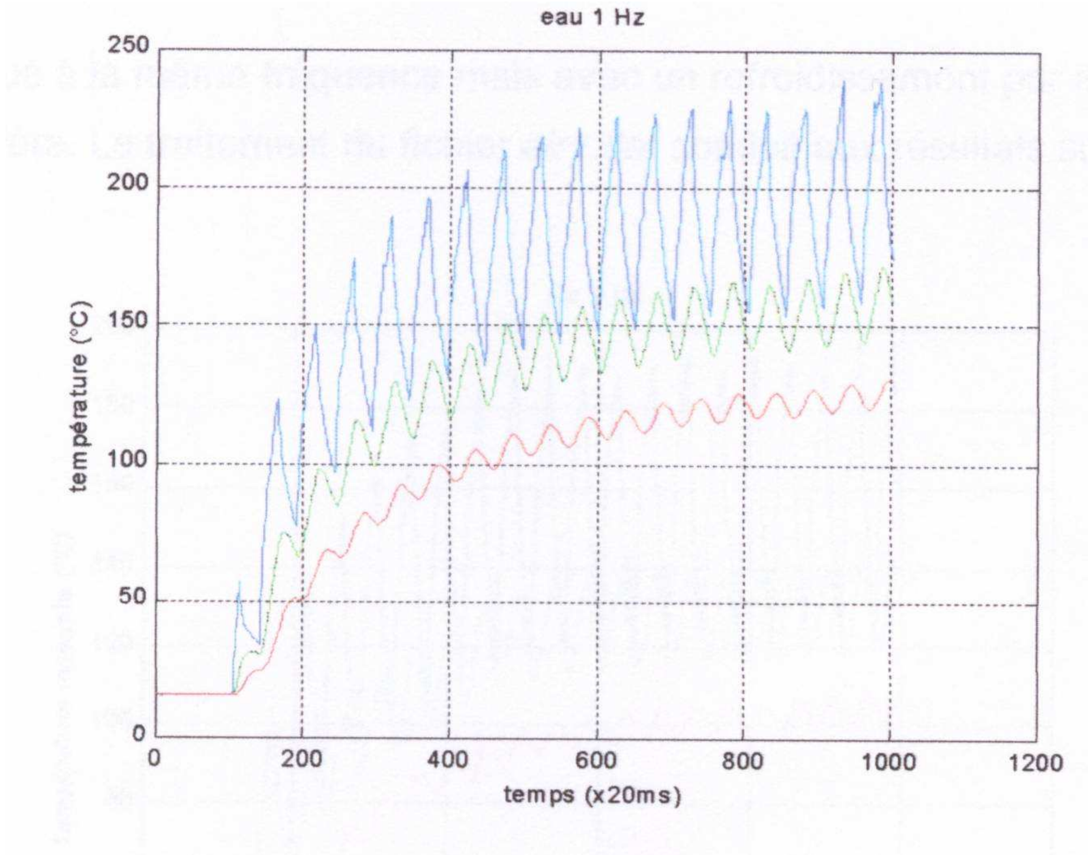
$$G = \frac{|\phi|}{|u|} = e^{-x_c\sqrt{\frac{\pi N}{a}}} \qquad\qquad G \geq 0.5 \Rightarrow x_c \leq \ln(2)\sqrt{\frac{a}{\pi N}}$$

Exemple du capteur métallique

$$a = 10^{-5} m^2 s^{-1} \text{ et } N = 25Hz \Rightarrow x_c \leq 0.247 mm$$

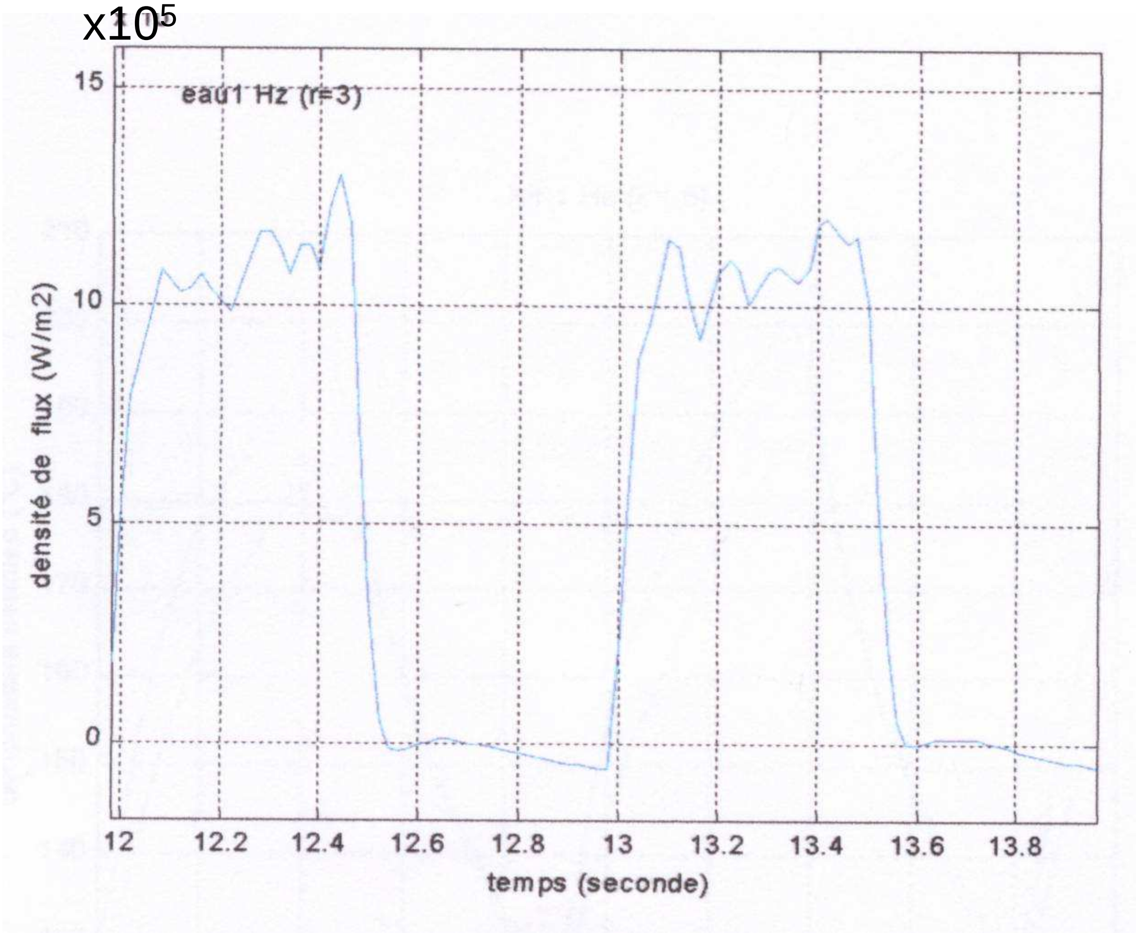

Fluxmetre
connectique
$q(t)$
Eau en circulation
à température
contrôlée
Boite à eau (même alliage
que le corps du fluxmètre)





Réponses à un flux incident périodique

(puissance du faisceau laser à 500W
focalisé sur une zone circulaire D=1.5cm)

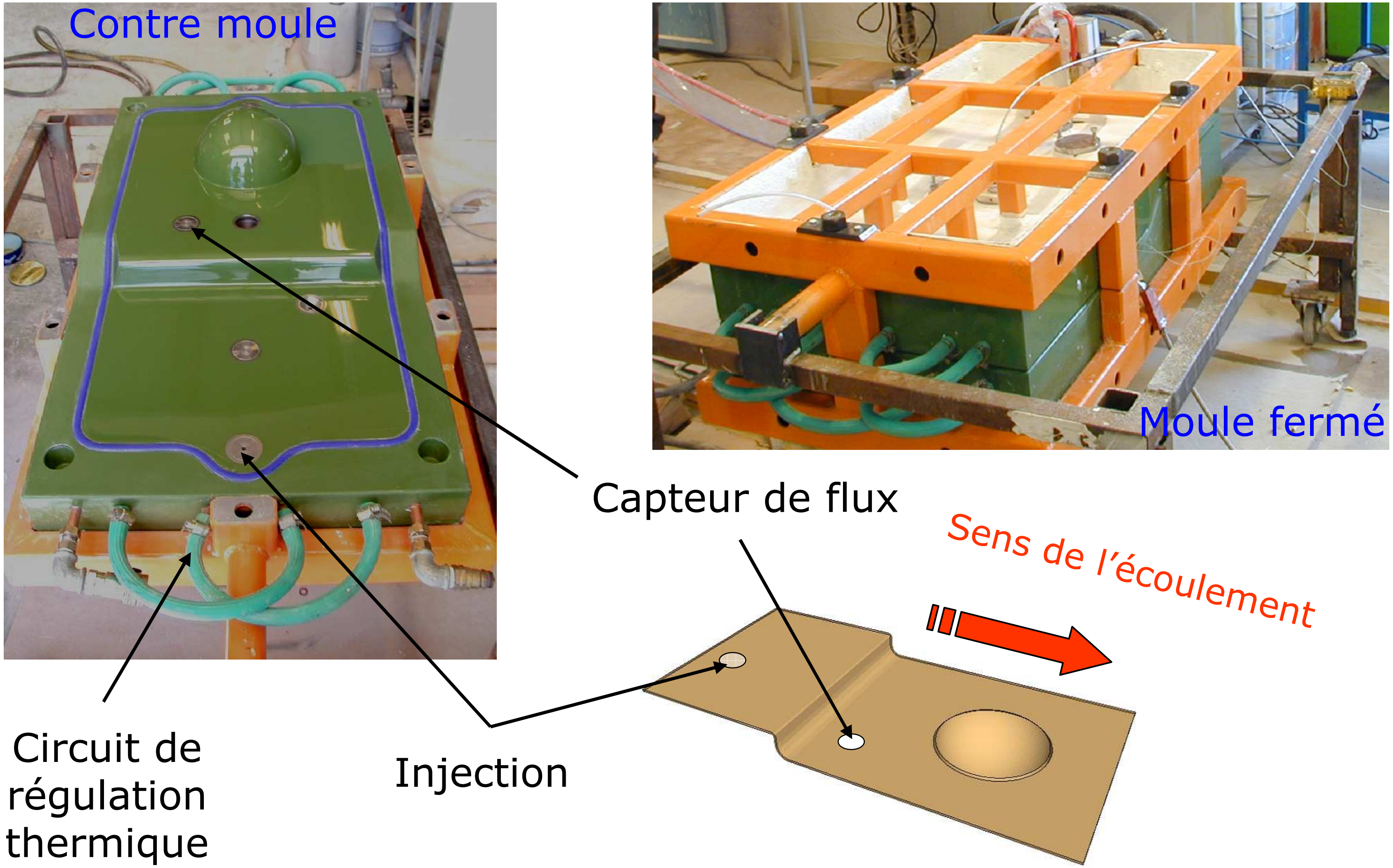


Flux reconstruit avec l’algorithme 1-D séquentiel de Beck

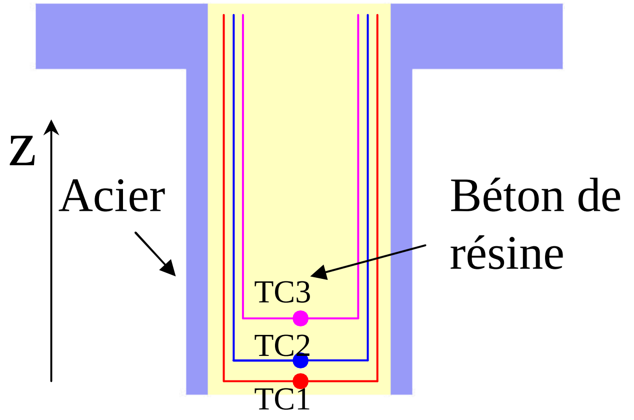
dt=20ms

R=3 pas de temps

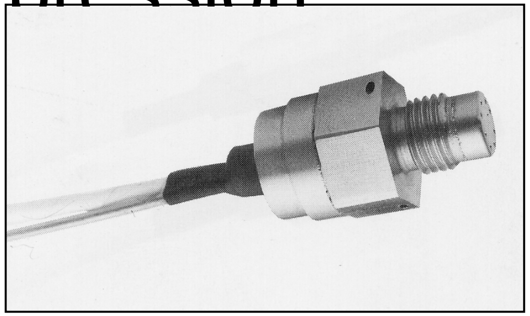
Moule RTM d'étude instrumenté

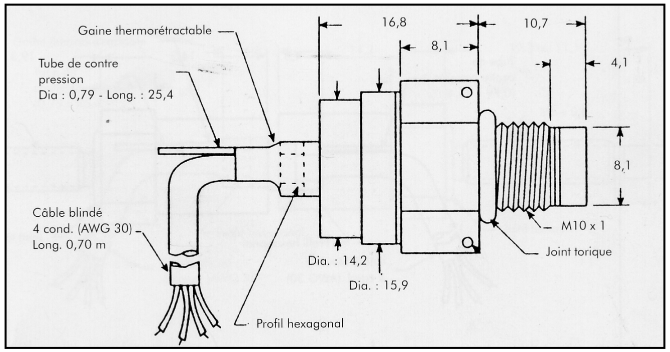


Capteurs : Flux thermique et pression



$$\begin{cases} \rho C_p \dfrac{\partial T}{\partial t} = \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \dfrac{\partial T}{\partial z} \right) \\ \textbf{Cond.Lim.} \ : TC3 \end{cases}$$





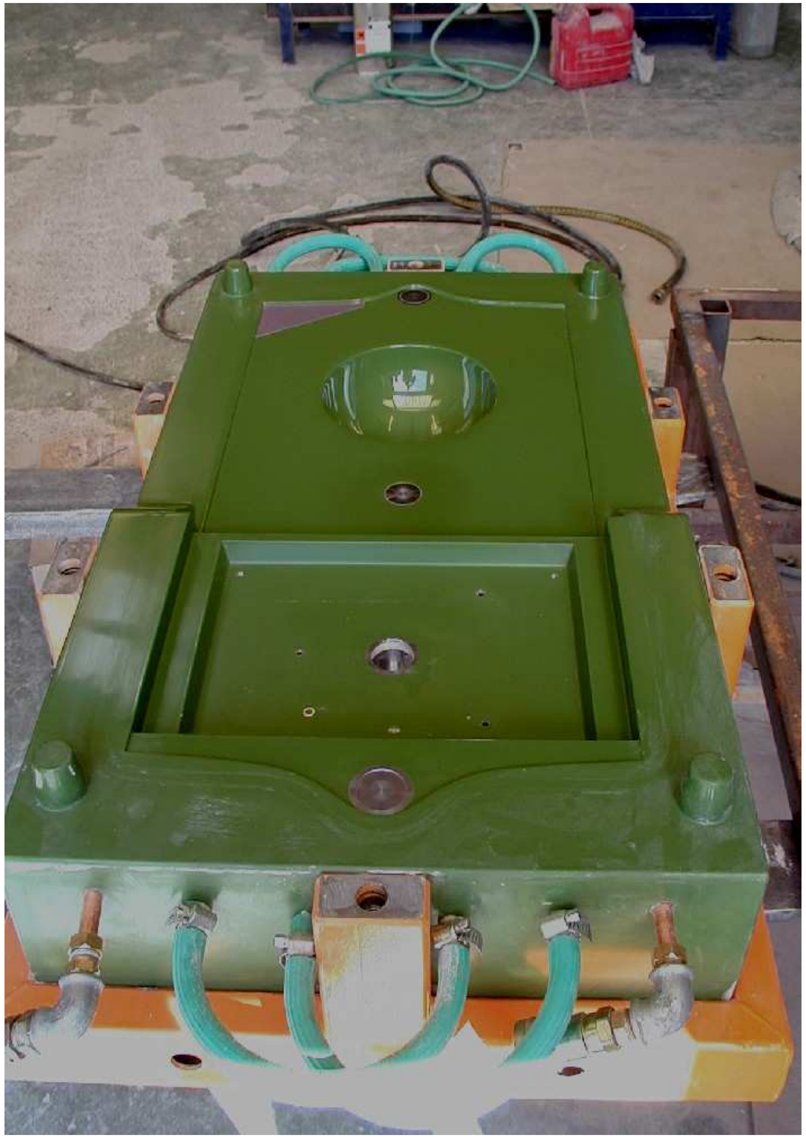
Propriétés du béton de résine :

ρ=1380 kg.m^{-3}

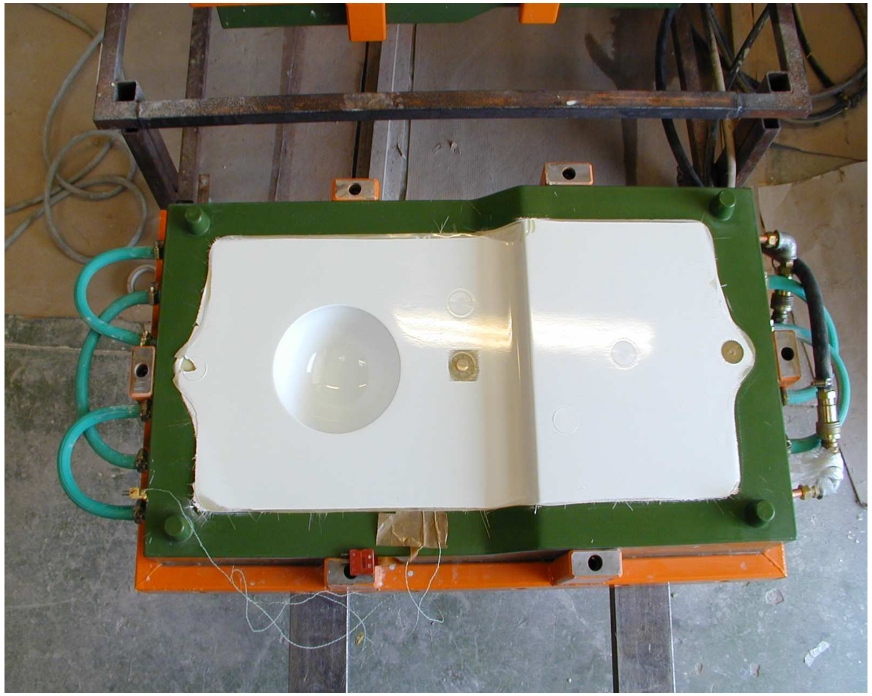
λ=0.62 W.m^{-1}.K^{-1}

Cp=1230 J.kg^{-1}.K^{-1}

Détermination de la température de surface et du flux pariétal par la méthode de Beck (algorithme séquentiel) grâce à l'équation de conduction 1D.



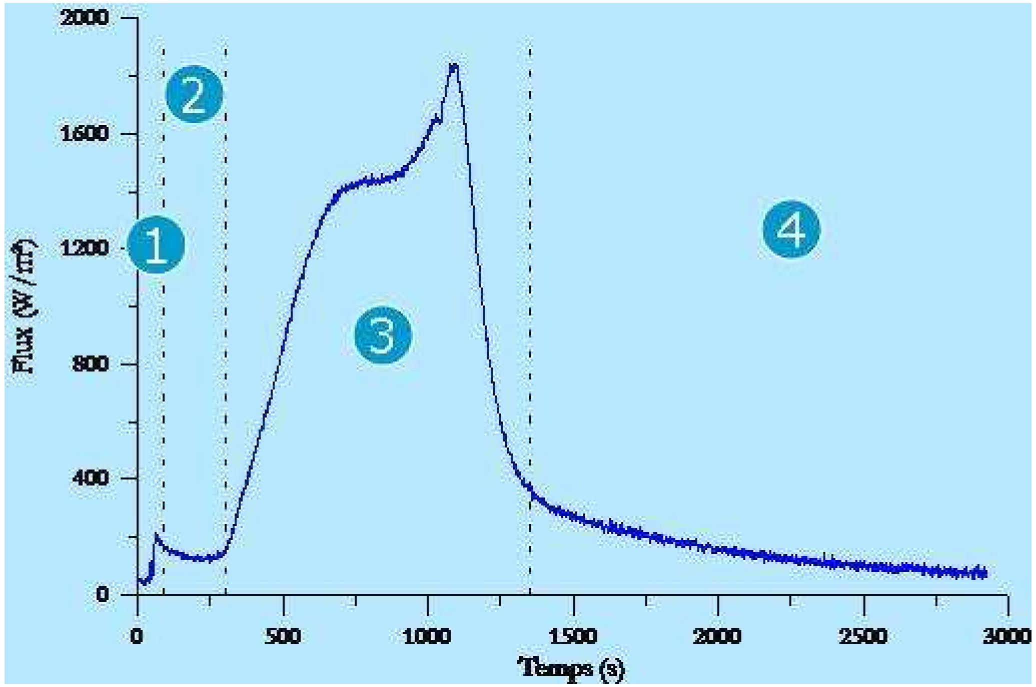
SFT-27/11/08 - "Mesure des températures et des flux élevés"



SFT-27/11/08 - "Mesure des températures et des flux élevés"

Analyse thermique d'un moulage

Températures initiales supposées :
35°C pour la résine et le moule/renfort



- 1 Remplissage du moule
- 2 Mise en équilibre entre le moule et la résine
- 3 Polymérisation de la résine
- 4 Retour à l'équilibre thermique

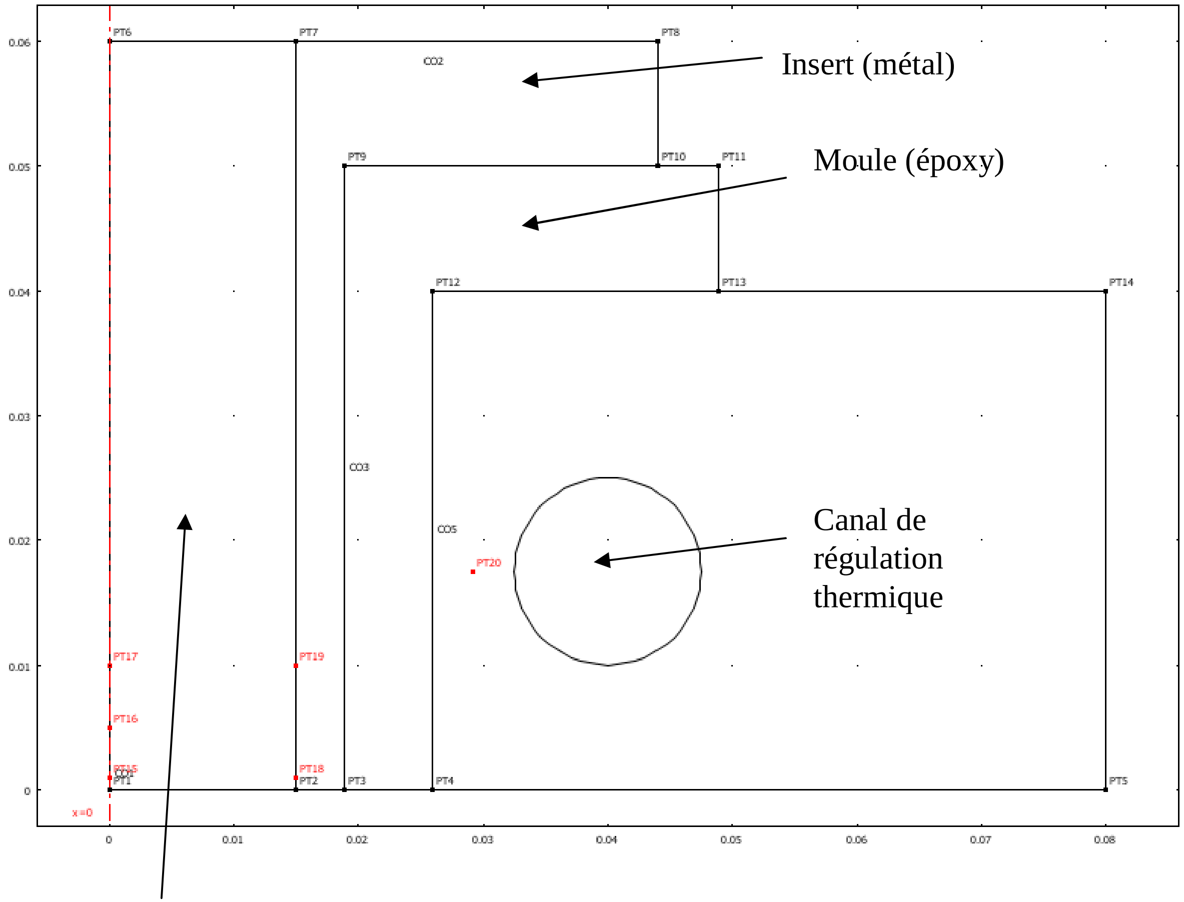
Matériaux utilisés :

Renfort
Rovicore 450/B5/450 (Chomarat)
Drapage : 1pli / 3.5mm

Résine
Polyester 15.1.198A (Cray Valley)

Amorceur
Trigonox 44B : 2pcr (Akzo Nobel)
Peroxyde d'acétylacetone
Quantité : 2pcr

Catalyseur
Octoate de Cobalt à 6% :
Quantité : 0.4pcr



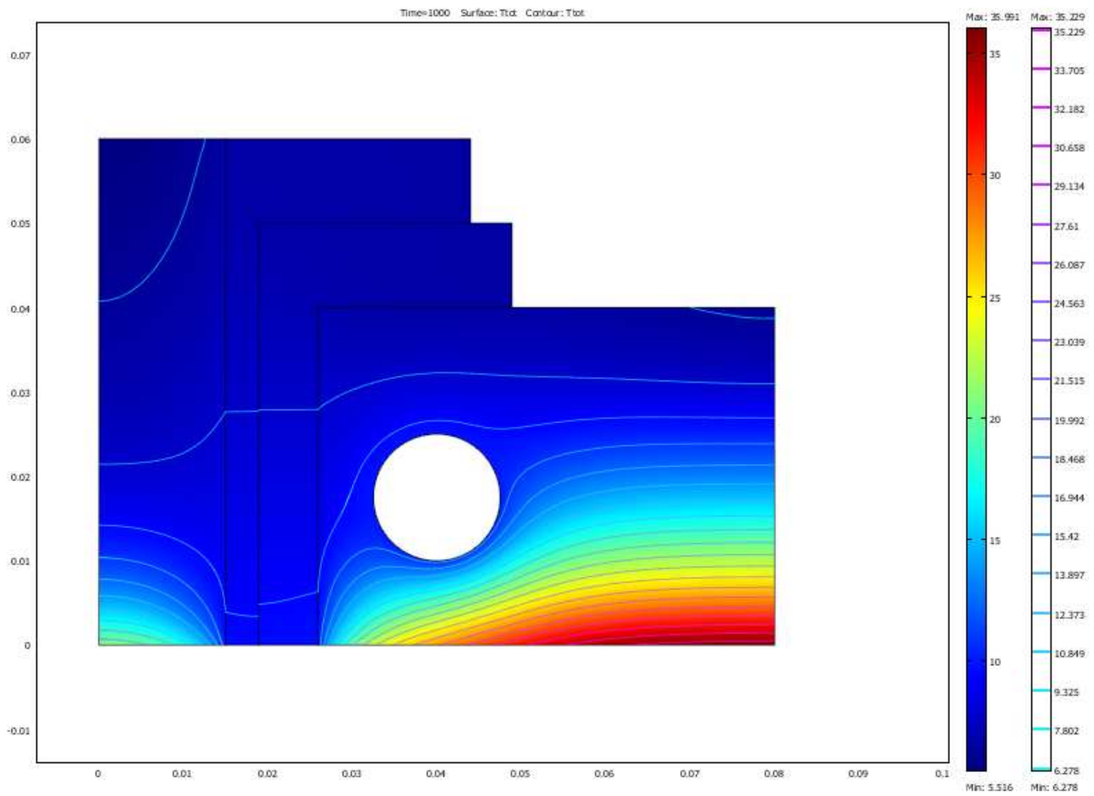
Capteur (époxy)

Analyse des transferts thermiques

Au voisinage du fluxmètre

En configuration 2-D

5 Thermocouples (en rouge) =
3 sur l'axe de symétrie du bouchon epoxy
2 à l'interface entre le bouchon époxy et l'insert métallique
1 dans le moule epoxy entre le canal de régulation et l'insert métallique.



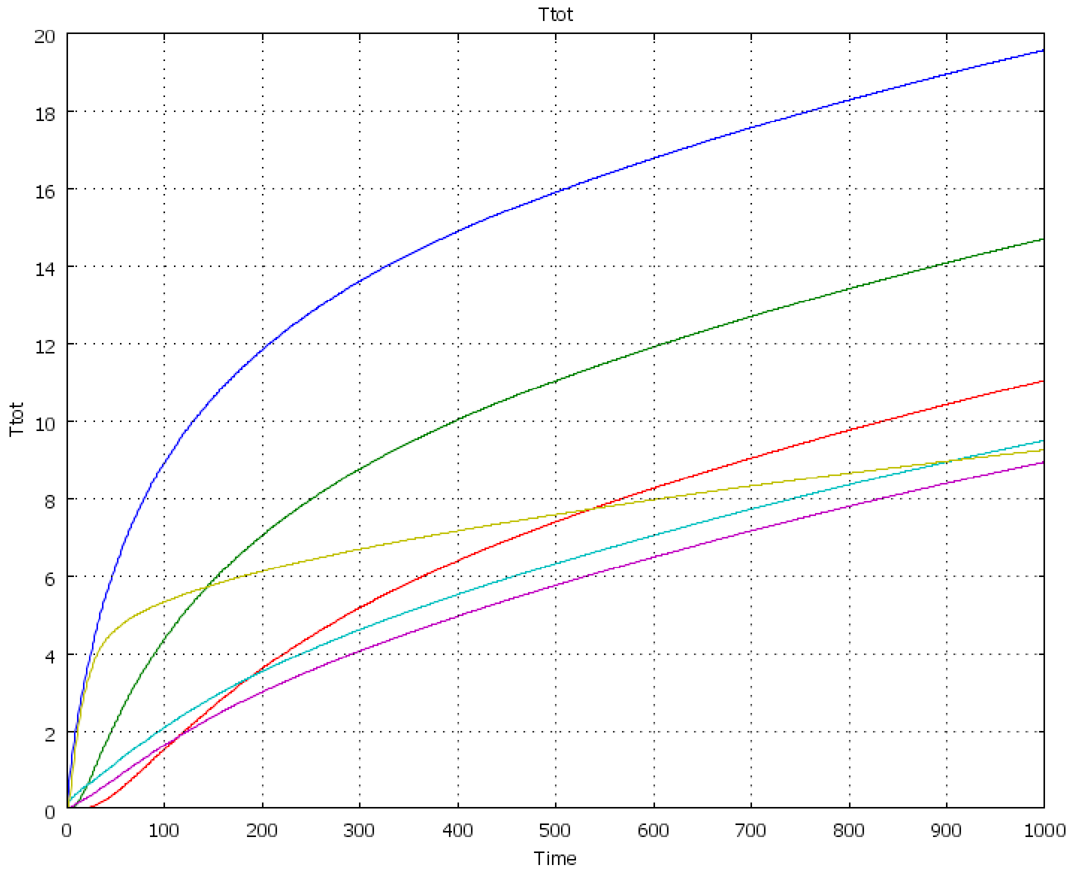
Résistance de contact entre capteur (epoxy) et l'insert (métal)
RTC= 1/1000 m².K/W

Coefficient d'échange dans le canal :
h_w = 3000W/m².K

Champ thermique à t= 1000s

résultant d'une source pariétale uniforme – face sud : q= 1000 W/m²

à l'interface moule/polymère (cavité moulante)



Réponse des 6 thermocouples en régime transitoire à un flux uniforme, constant, sur la face sud

Estimation du flux en configuration 2-D

Méthode: optimisation d'un critère d'écart avec l'algorithme du Gradient Conjugué

2 étapes:

1.- Estimation du coefficient d'échange *h* et de la *RTC* à partir des réponses des 5 thermocouples à un flux connu *q* (uniforme et constant) à l'interface moule/polymère

$$J(\beta) = \sum_j \int_0^{t_f} \left[Y_j(t) - T\left(x_j, y_j, t; \beta\right) \right]^2 dt$$

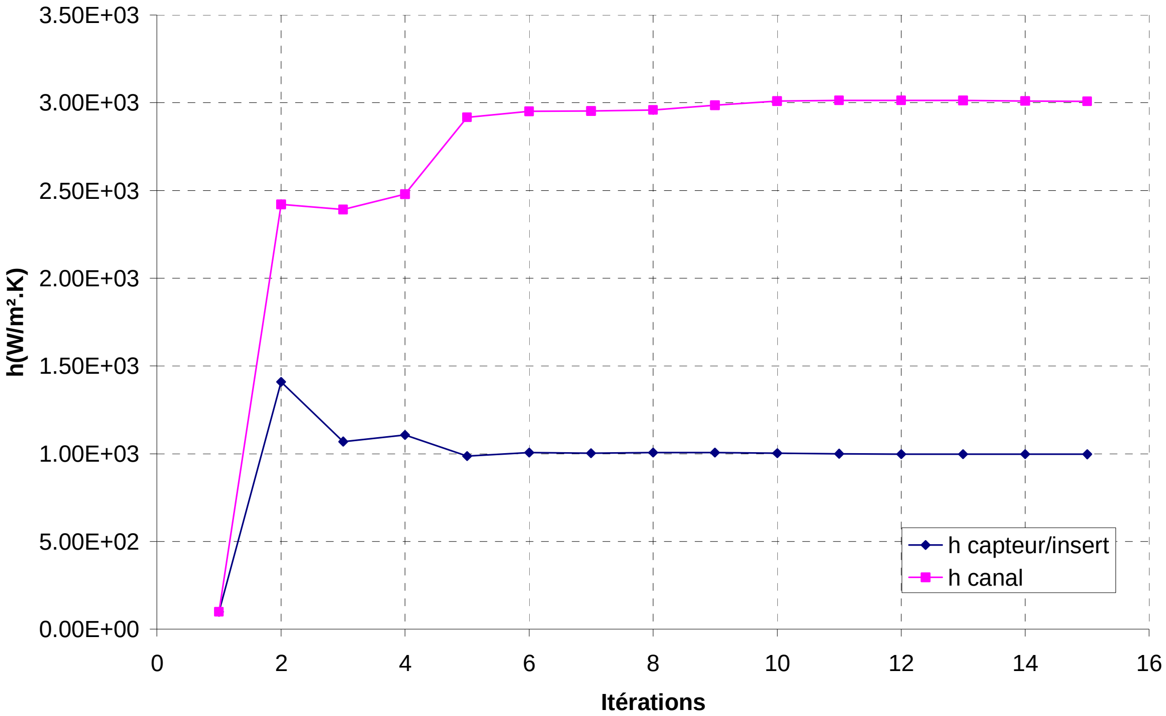
2.- Connaissant *h, RTC*, reconstruction du flux *q(t) inconnu* à partir des réponses

des 3 thermocouples du bouchon epoxy

$$J(q) = \sum_j \int_0^{t_f} \left[Y_j(t) - T\left(x_j, y_j, t; q\right) \right]^2 dt$$

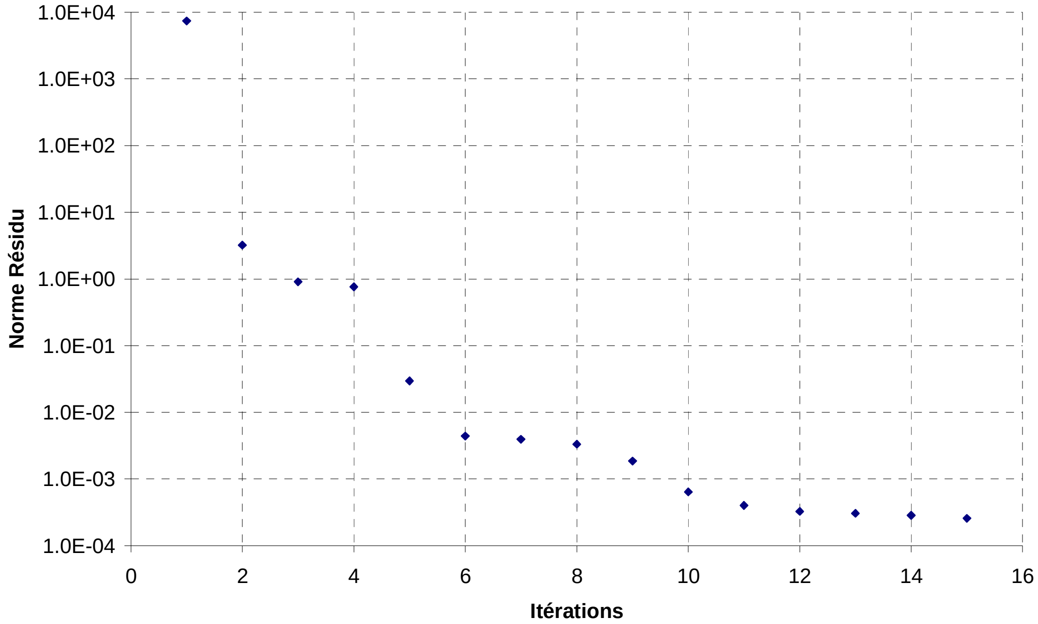
Exemple: estimation des paramètres

$$\beta = \{h_c, h_w\}^t$$



Valeurs exactes: $h_w = 3000W / m^2 K$ $\qquad h_c = \dfrac{1}{RTC} = 1000W / m^2 K$

Exemple 1: estimation des paramètres



Minimisation du critère d'écart /itérations

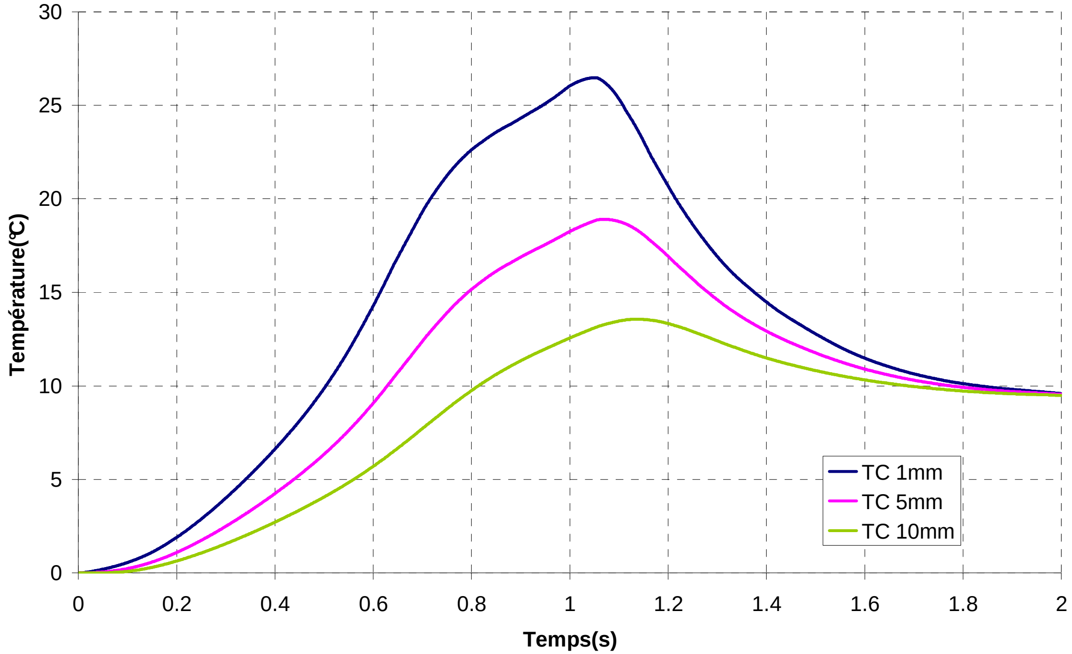
$$\frac{\partial J}{\partial h_c} = \int_{t=0}^{t_f} \int_{\Gamma_7} \left(\psi_{\Omega_2} - \psi_{\Omega_1}\right)\left(T_{\Omega_1} - T_{\Omega_2}\right) d\Gamma dt$$

Composantes du gradient

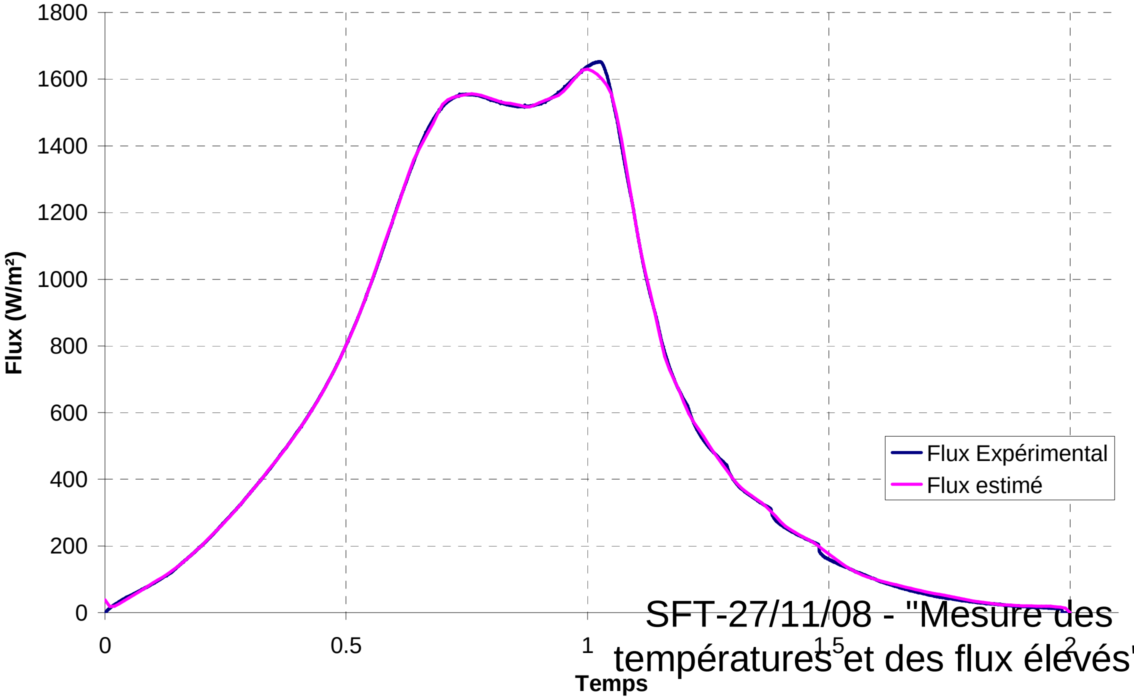
$$\frac{\partial J}{\partial h_w} = \int_{t=0}^{t_f} \int_{\Gamma_9} \psi_{\Omega_1} \left(T_w - T_{\Omega_1}\right) d\Gamma dt$$

Exemple 2: estimation 2-D

du flux



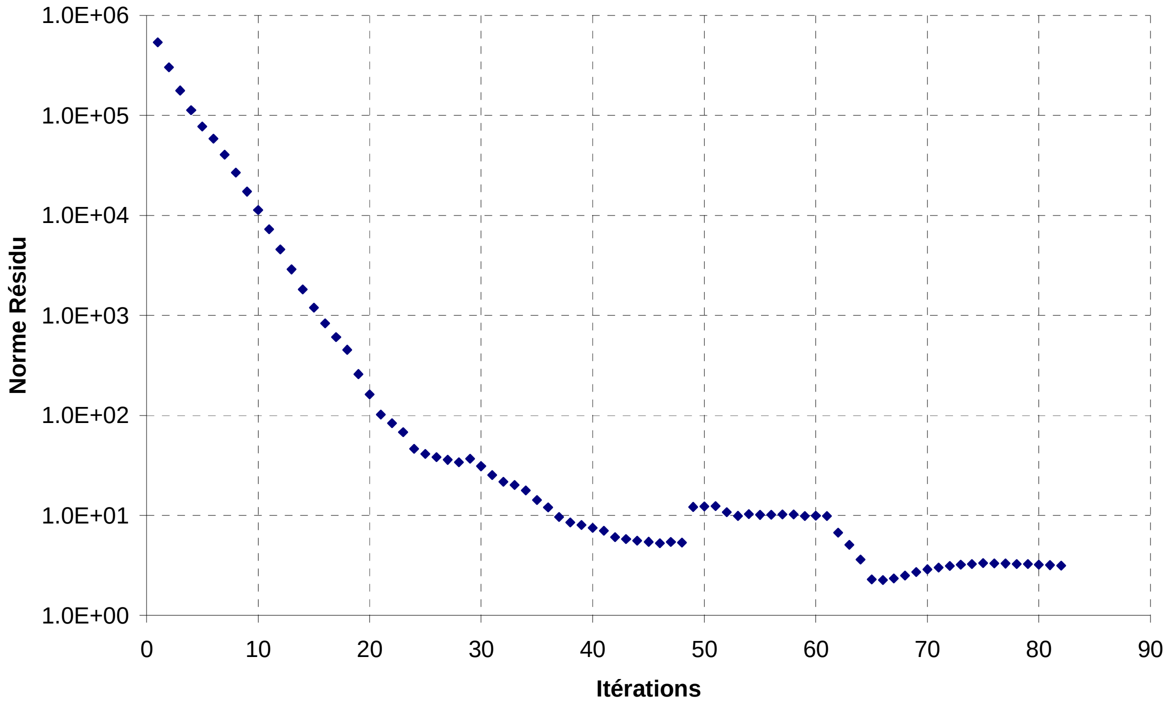
Réponses des 3 thermocouples du bouchon epoxy (cas expérimental)



Flux estimé

Algorithme 2-D

Exemple 2: estimation 2-D du flux



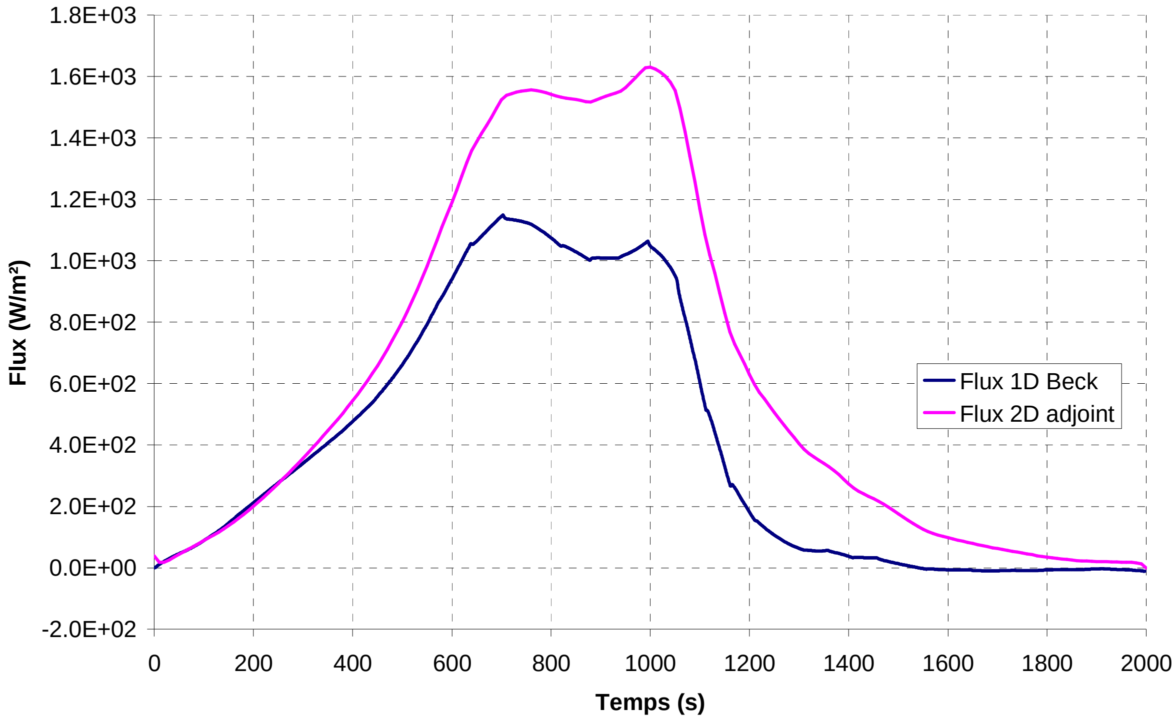
Minimisation du critère d'écart /itérations

$$q(t) = \sum_{i=1}^{nt} q_i \sigma_i(t)$$

$$\frac{\partial J}{\partial q_i} = \int_{t=0}^{t_f} \int_{\Gamma_2} \psi_{\Omega_1} \sigma_i(t) d\Gamma dt + \int_{t=0}^{t_f} \int_{\Gamma_3} \psi_{\Omega_2} \sigma_i(t) d\Gamma dt$$

Composantes du gradient

Exemple 2: estimation du flux



Comparaison des flux estimés

(bleu) : algorithme 1-D

(rose): algorithme 2-D

SFT-27/11/08 - "Mesure des températures et des flux élevés"

Conclusion

A method for solving the IHCP problem, when heat flow is governed by the 2-D heat conduction equation into a solid body that involves several sub domains with imperfect thermal contacts, was developed.

Following this approach, based on the use of a standard finite element solver, the IHCP problem is solved on arbitrary shaped domains, thanks to the standard joint meshing processors.

For practical purposes, two kinds of problems, strongly connected, have to be solved. The first one, so called identification problem, aims to the determination of unknown parameters in the model equations, especially the thermal contact resistances between the different parts of the body, that perturb the heat flow within the solid. The second one consists in the determination of the time varying heat flux through the boundary.

The solutions of both problems are computed according to the classical conjugate gradient algorithm, developed for spatially 2-D heat flow.