

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

www.onera.fr



Caracterisation experimentale des proprietes thermophysiques de materiaux composites par une methode inverse de conduction de la chaleur

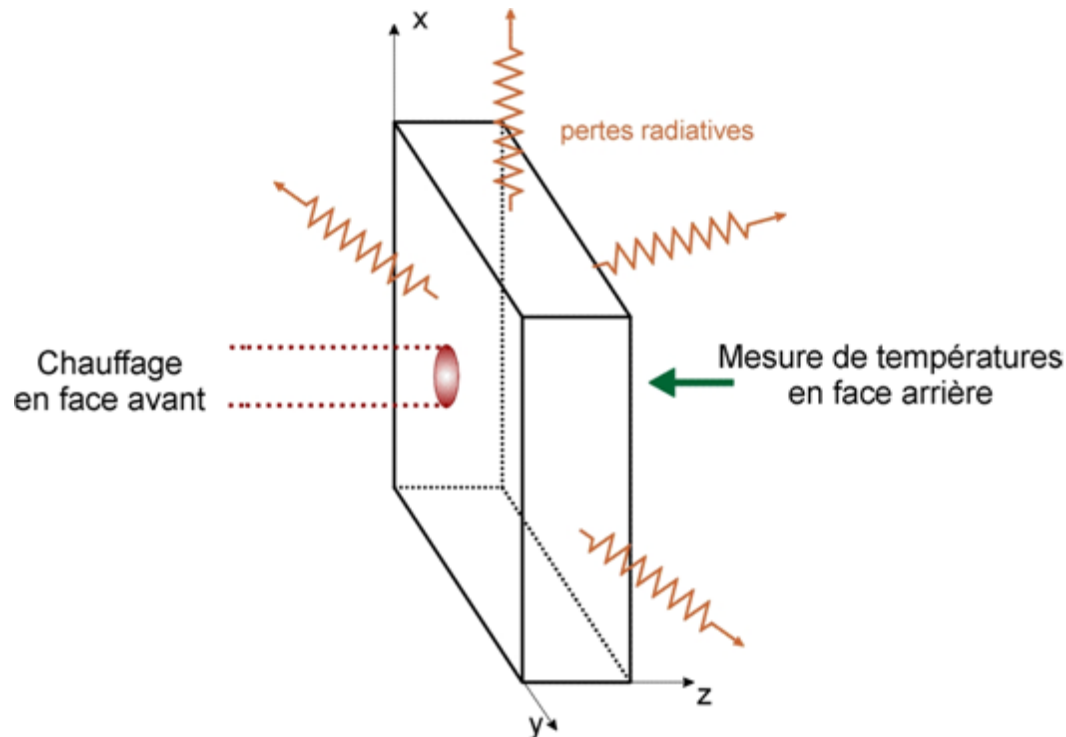
Philippe REULET, Gillian LEPLAT, Vincent PLANA, Pierre MILLAN
ONERA / DMAE / C2A



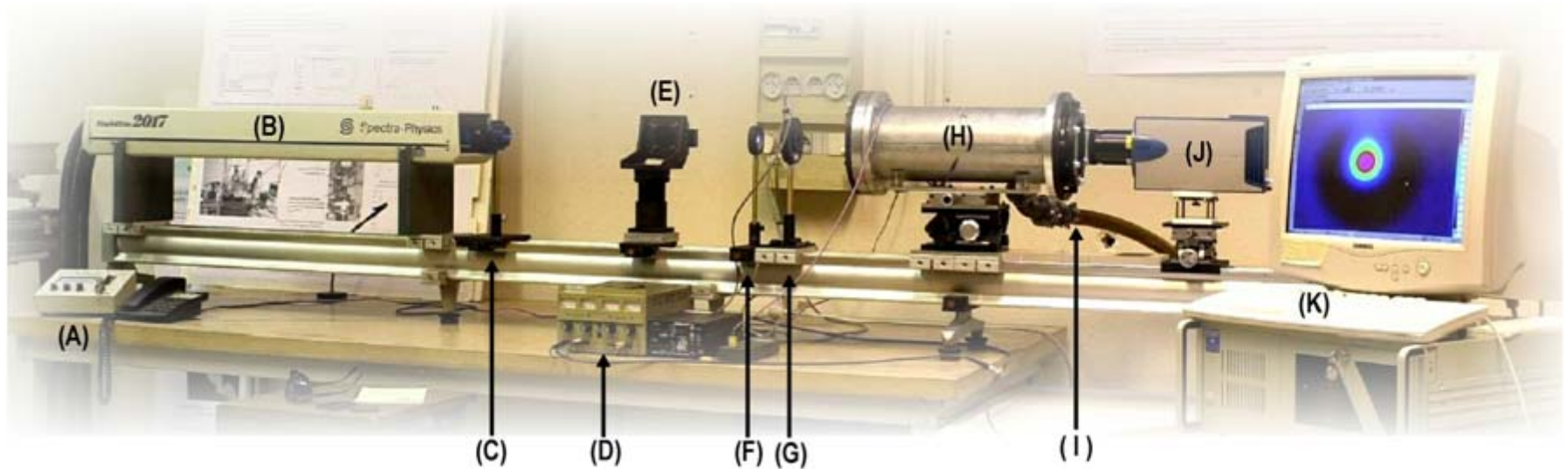
retour sur innovation

Méthode inverse pour l'identification des propriétés thermophysiques

- Méthode instationnaire
- Chauffage hétérogène sur la face avant et temps de chauffe variable
- Mesure de température sur toute la face arrière



Banc de mesure



(A) Console du laser

(B) Laser

(C) et (F) Lentilles convergentes

(D) Générateur de signal

(E) Obturateur manuel

(G) Shutter

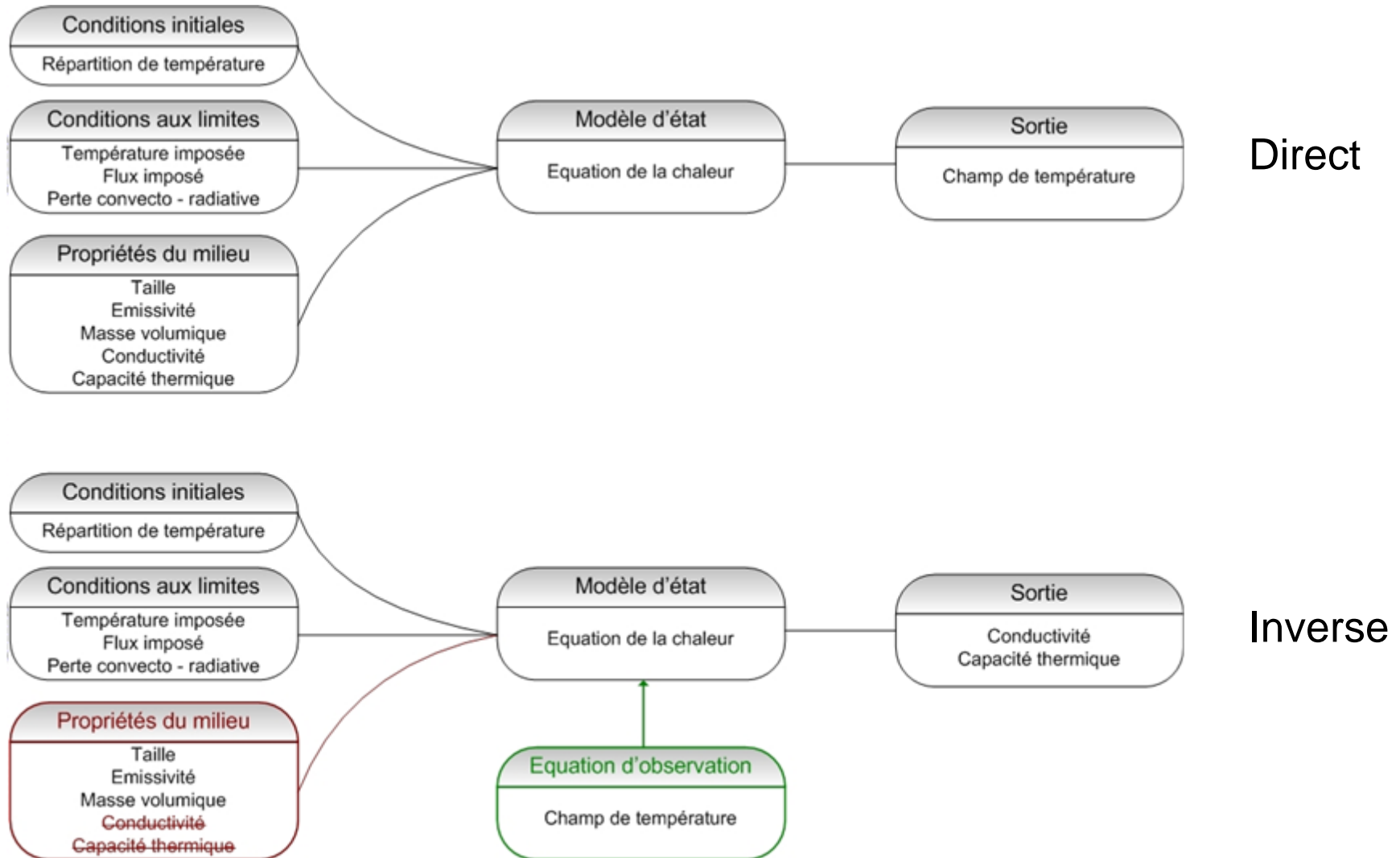
(H) Enceinte à vide

(I) Tuyau menant à la pompe à vide

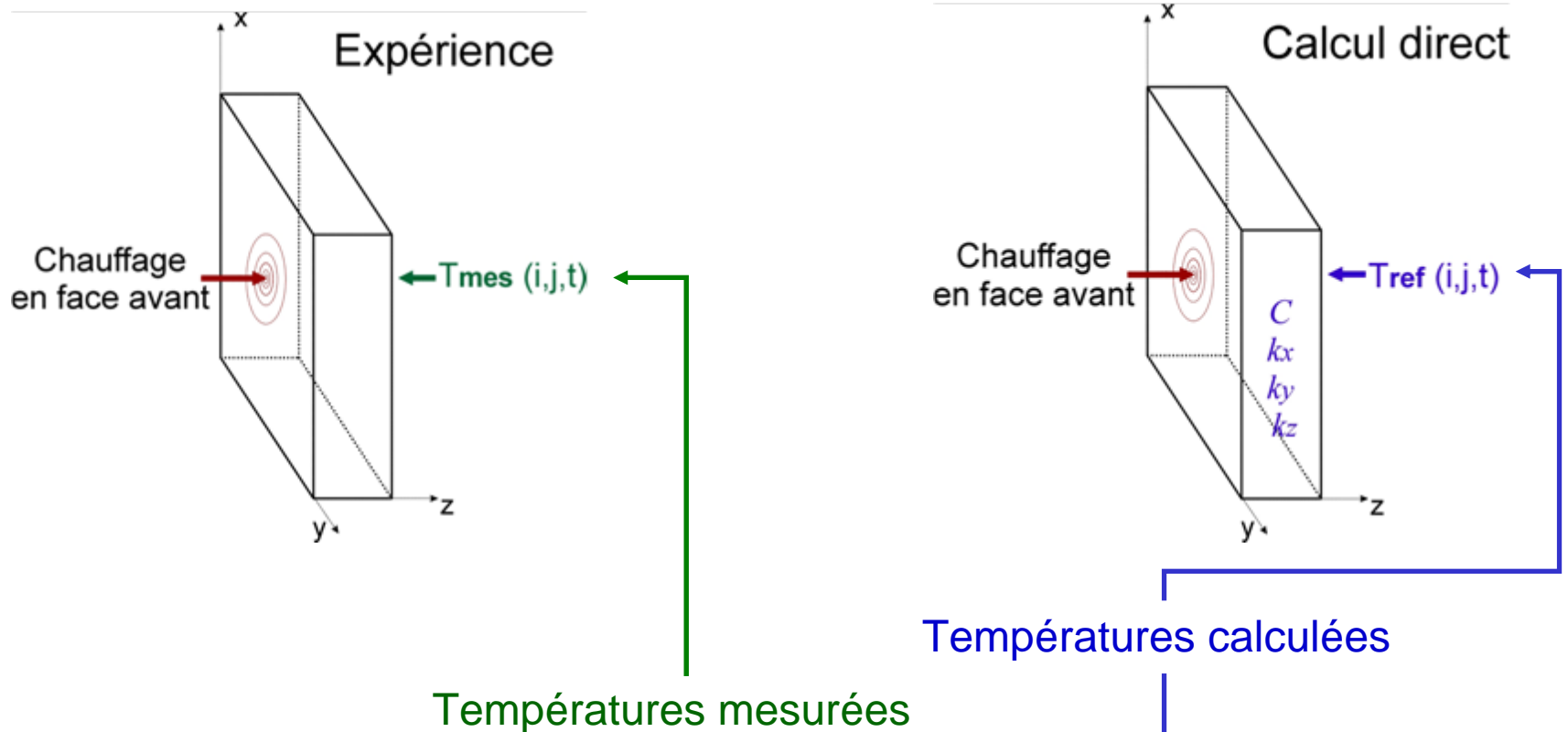
(J) Caméra IR matricielle

(K) PC d'acquisition

Problème direct – Problème inverse

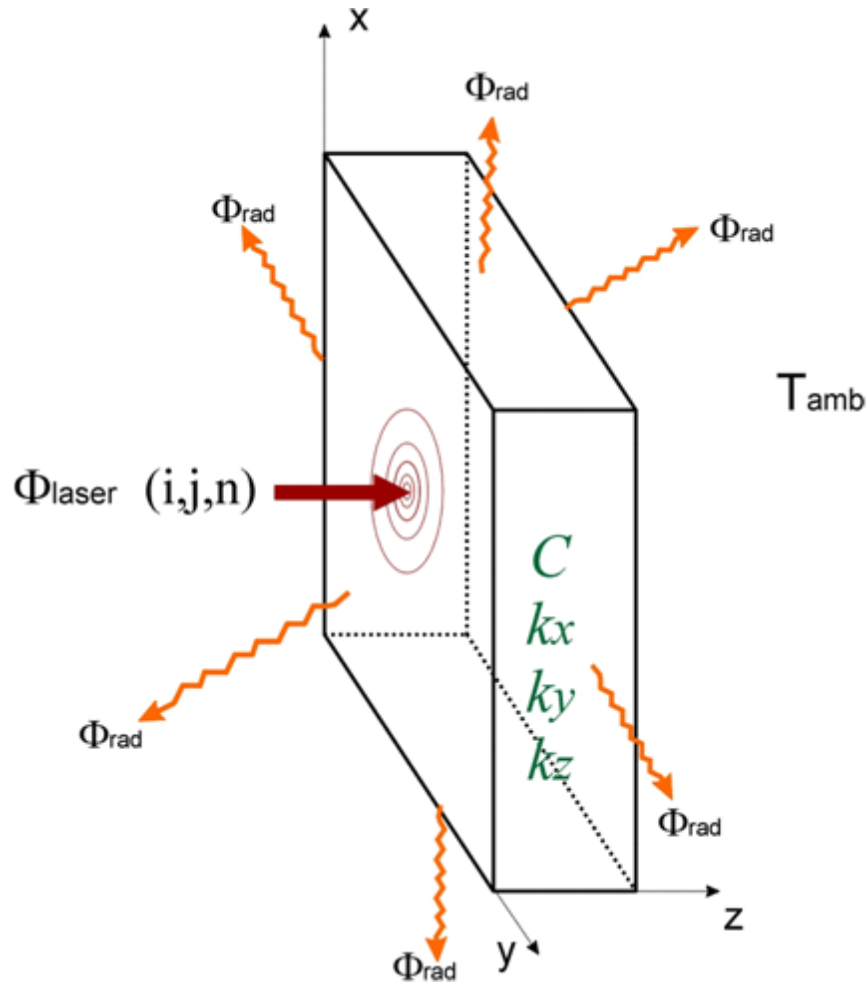


Principe de la méthode inverse



Minimisation de $f = \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_y} \sum_{t=1}^{n_t} \left[T_{i,j}^{[t]}_{mes} - T_{i,j}^{[t]}_{ref} \left(C, k_x, k_y, k_z \right) \right]^2$

Modèle direct de conduction de la chaleur



- ✓ Système cartésien
- ✓ Solides orthotropes
- ✓ Schémas ADI modifié (3D)
- ✓ Discrétisation différences finies (ordre 2)
- ✓ Pertes radiatives
- ✓ Pertes convectives nulles (vide)
- ✓ Flux imposé en face avant personnalisable

Algorithme d'optimisation

Recherche du minimum de la fonctionnelle f

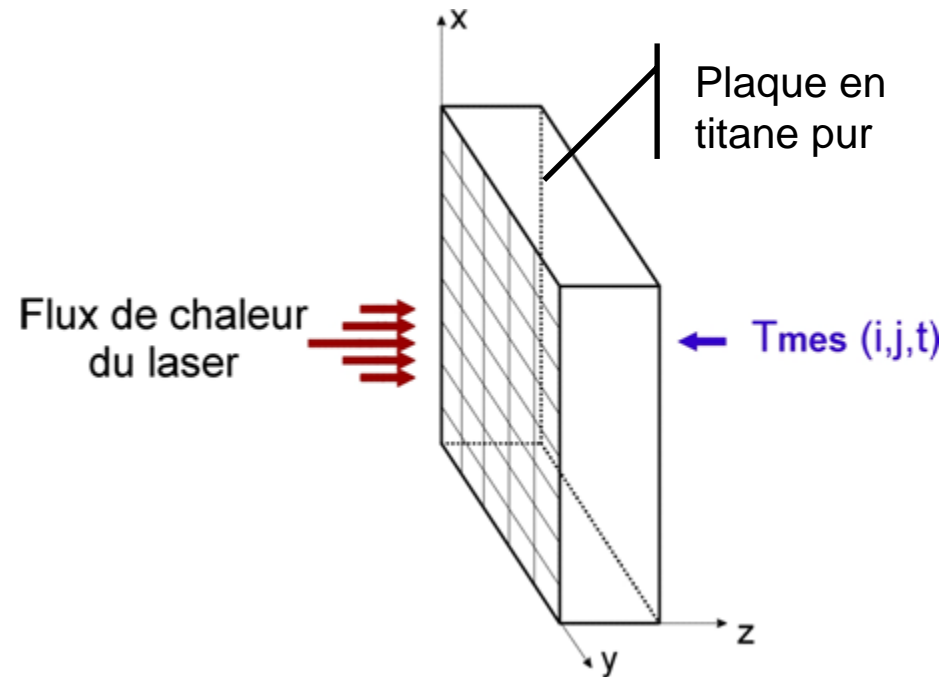
Mise en œuvre d'un algorithme B.F.G.S.* de type quasi-Newton

- ✓ Identification simultanée des quatre paramètres C , k_x , k_y , k_z
- ✓ Nécessité d'initialiser le processus algorithmique
- ✓ Gamme de recherche initiale : 25% à 200% de la valeur recherchée
- ✓ Durée de l'identification ~1 h sur un PC standard

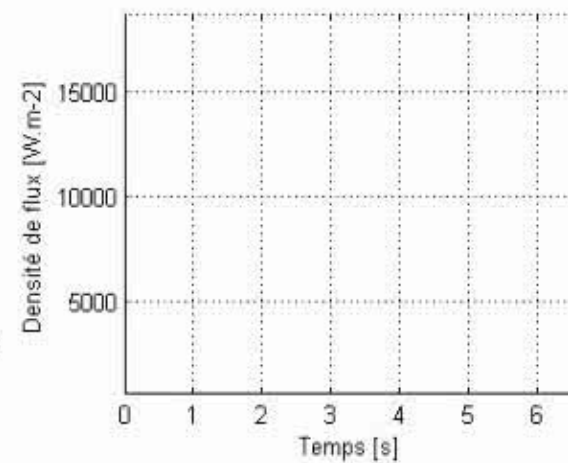
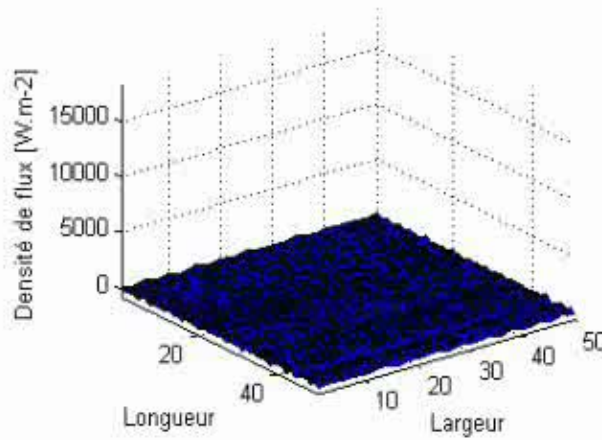
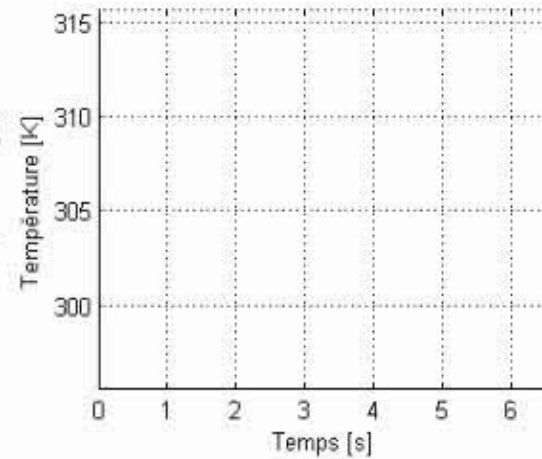
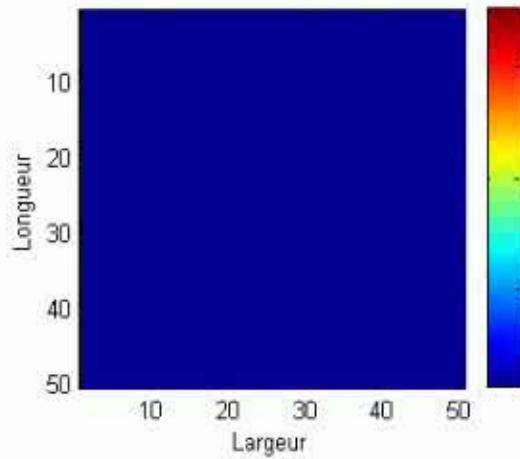
*B.F.G.S. = Broyden, Fletcher, Goldfarb & Shanno (noms des concepteurs)

Identification du flux imposé face avant

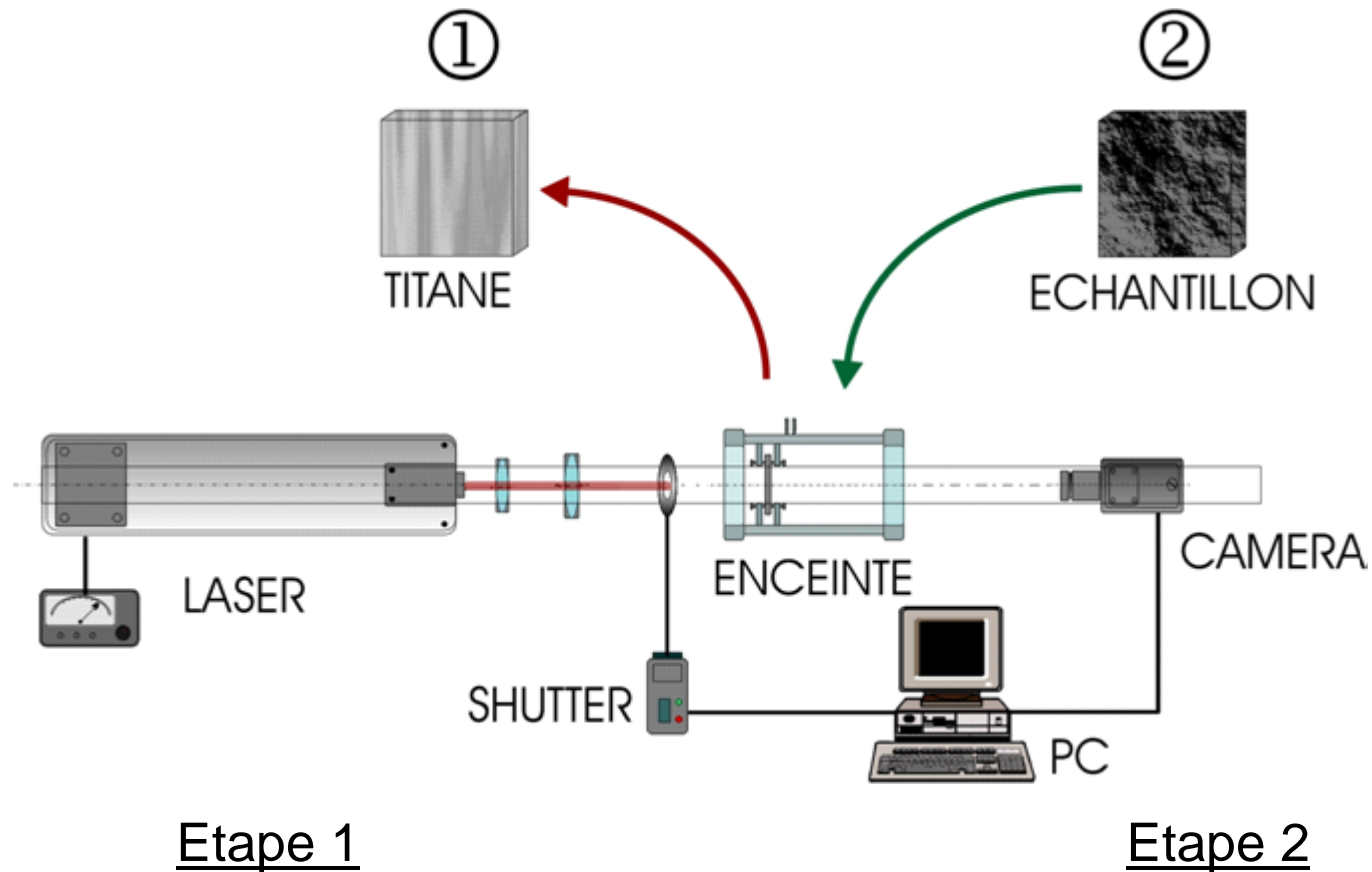
- Utilisation du même dispositif expérimental avec un matériau connu
- Méthode inverse de conduction de la chaleur (Nortershauser, 2000)
- Identification d'une carte de flux au cours du temps de résolution 50x50
- Méthode séquentielle de Beck avec spécification de fonction (pas de temps futurs)
- Filtrage et compression des données par transformée en cosinus discrètes



Mesure du flux délivré par le laser



Protocole de mesure



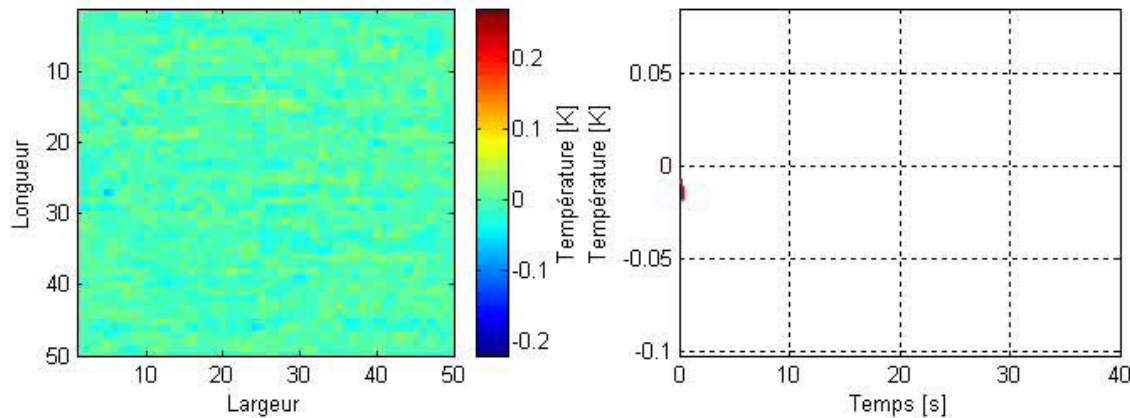
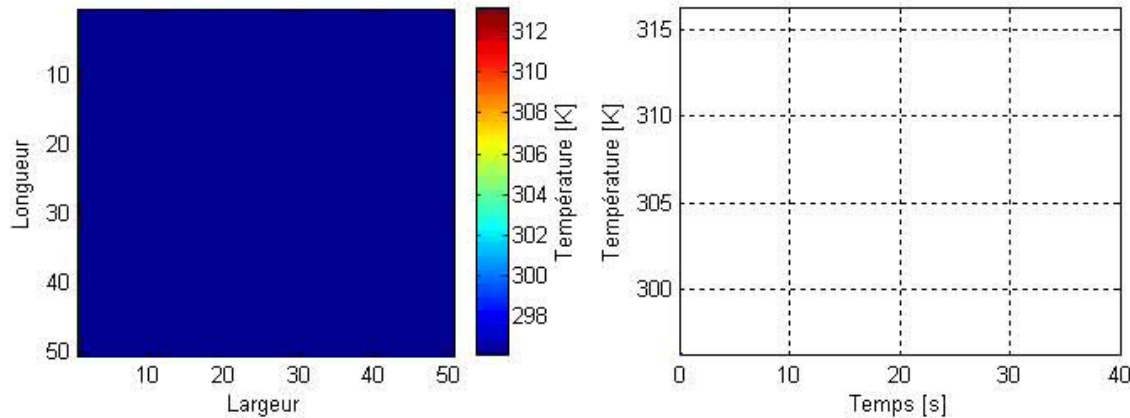
Etape 1

Identification du flux sur une plaque de référence en titane

Etape 2

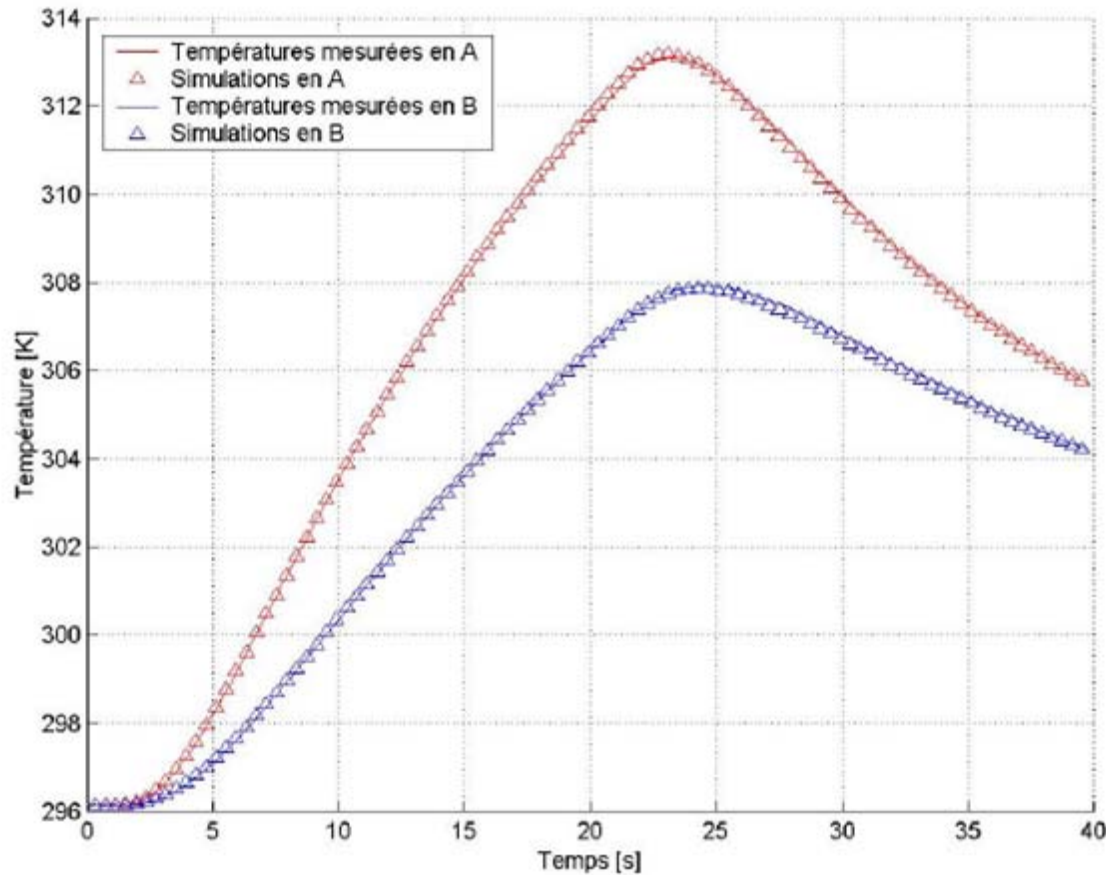
Identification des propriétés thermophysiques des échantillons

Identification de propriétés orthotropes



- ✓ Chauffage 20 s
- ✓ Taille de l'échantillon
0,072×0,072×0,004 m
- ✓ Propriétés
 - C = 887.5 J/kg.K**
 - K_x = 2.92 W/m.K**
 - K_y = 2.93 W/m.K**
 - K_z = 0.677 W/m.K**

Identification de propriétés orthotropes

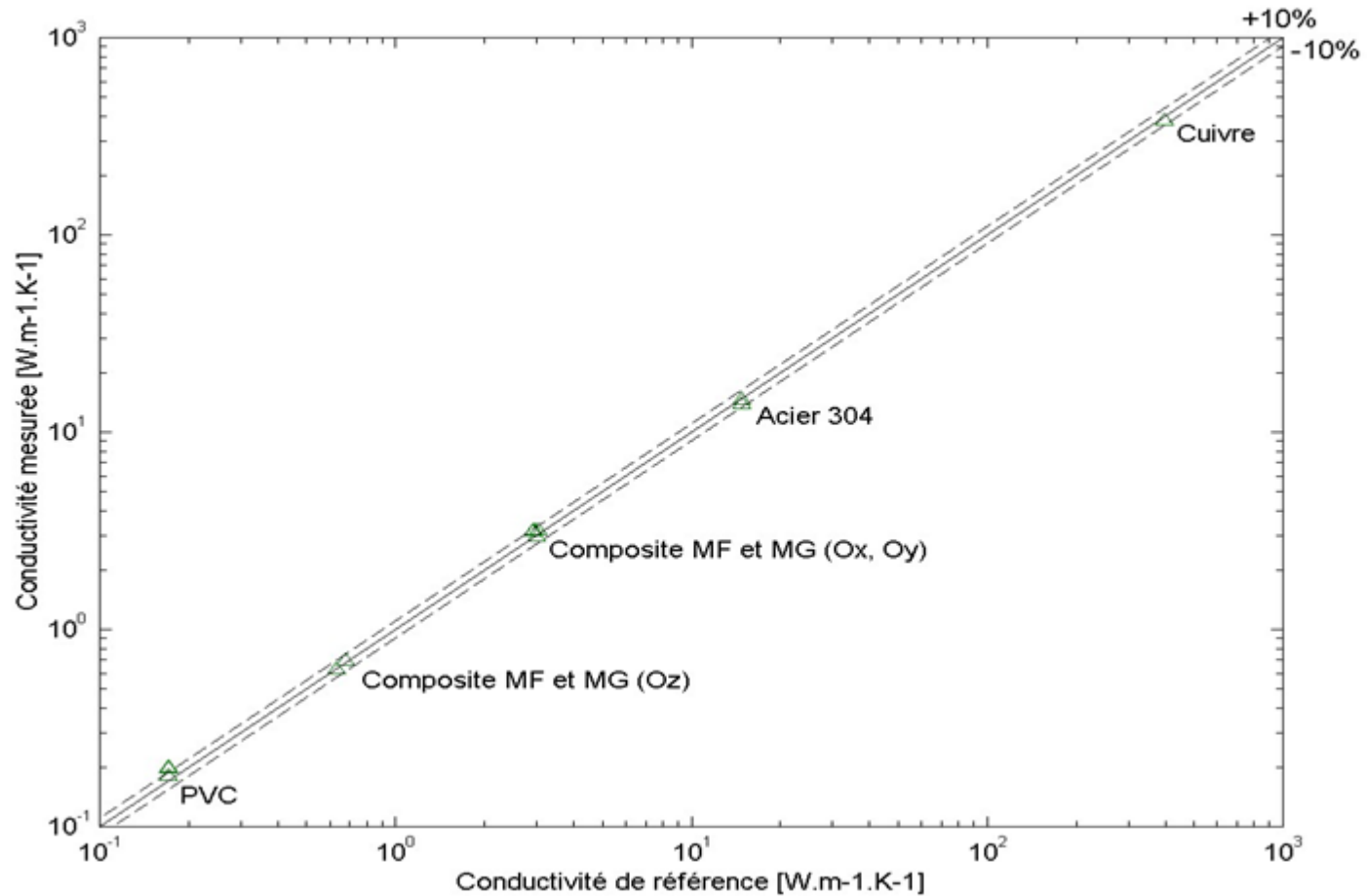


- ✓ Chauffage 20 s
- ✓ Taille de l'échantillon
0,072×0,072×0,004 m
- ✓ Propriétés
 - C = 887.5 J/kg.K**
 - K_x = 2.92 W/m.K**
 - K_y = 2.93 W/m.K**
 - K_z = 0.677 W/m.K**

Calcul d'incertitude

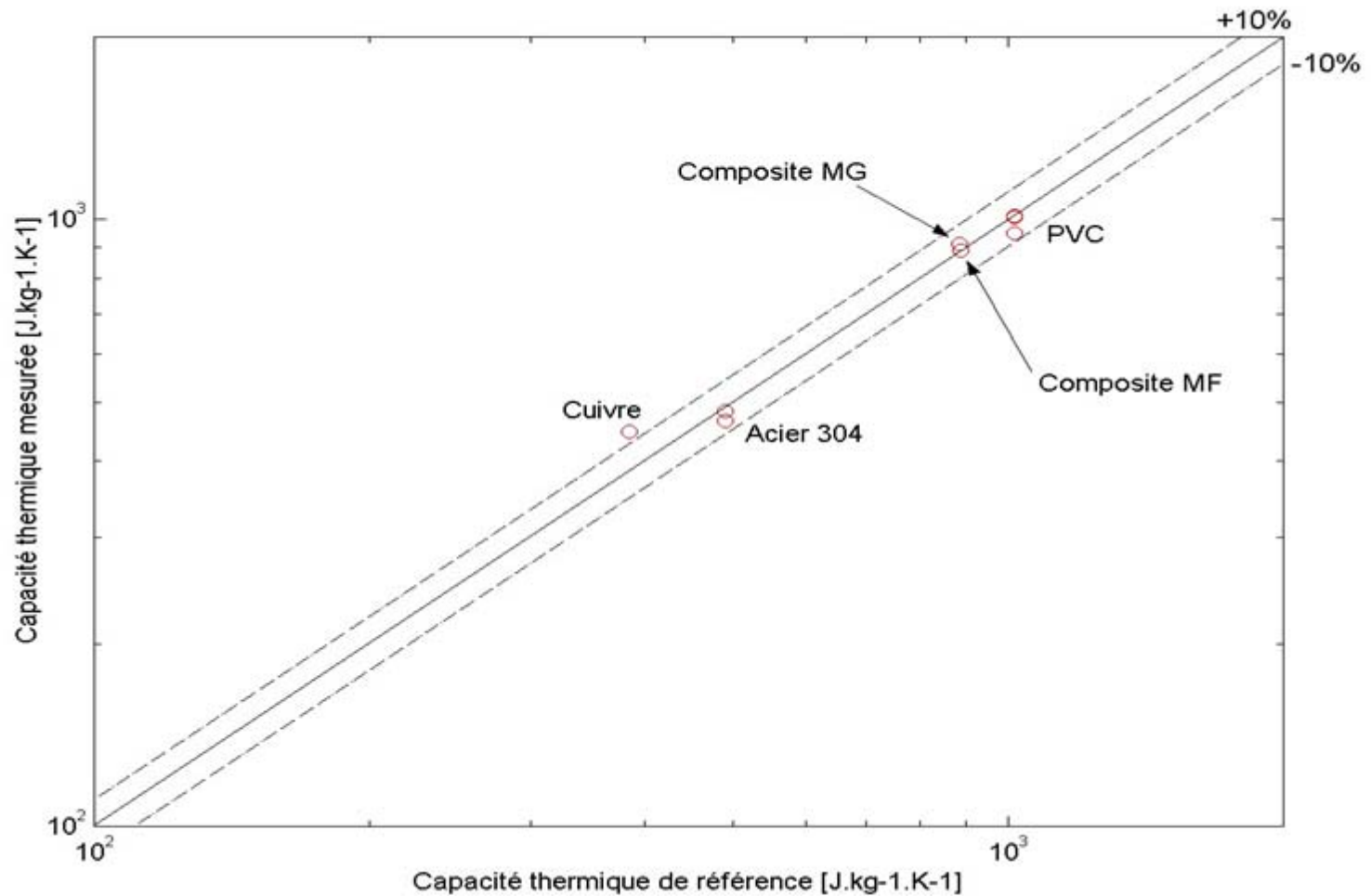
- **Erreurs négligeables** : erreur numérique du modèle direct et inverse, isolation de la plaque, bruit de mesure, émissivité de la peinture dans le visible
- Erreurs liées aux dimensions de la plaque et à *sa masse volumique*
0.5% pour k_x ; 0.5% pour k_y ; 0.5% pour k_z ; 0.5+0.7% pour C
- Erreurs liées à la température initiale
2.5% pour k_x ; 2.5% pour k_y ; 3.6% pour k_z ; 2.1% pour C
- Erreurs liées à l'émissivité dans l'infrarouge de la peinture
2.5% pour k_x ; 2.5% pour k_y ; 3.6% pour k_z ; 2.1% pour C
- Erreurs liées à la valeur du flux laser (incertitude 10%)
8.5% pour k_x ; 8.5% pour k_y ; 8.9% pour k_z ; 8.5% pour C

Résultats sur plusieurs matériaux (1/2)



civre et acier : conductivité isotrope imposée lors de l'optimisation

Résultats sur plusieurs matériaux (2/2)

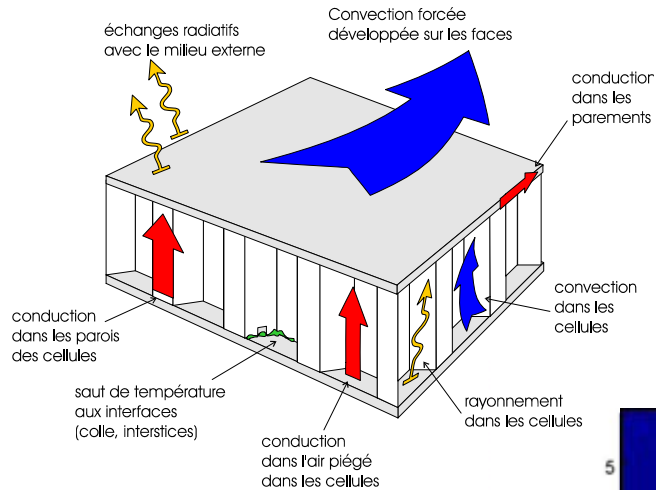


Conclusions - Perspectives

- Identification simultanée de 4 paramètres thermophysiques
 - Rapidité des mesures
 - Bon accord avec les données de la littérature
-
- Amélioration de la précision : source de chaleur mieux contrôlée
 - Caractérisation en fonction de la température : contrôle thermique de l'enceinte à vide
 - Utilisation du banc pour l'identification d'autres paramètres thermiques : résistances de contact (composite/composite ou composite/métallique)...



Perspectives d'utilisation du banc



Mesure sur un panneau sandwich à base de nid d'abeille

Anisotropie des propriétés thermophysiques :

$$\frac{L_x}{L_y} = \sqrt{\frac{k_x}{k_y}}$$

