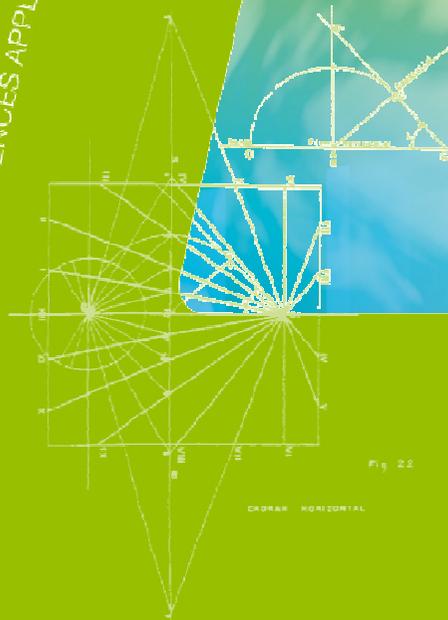


RECHERCHE



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON



# Modélisation des transferts radiatifs par une méthode de Monte Carlo couplée à la théorie de Mie et à une méthode d'homogénéisation hybride



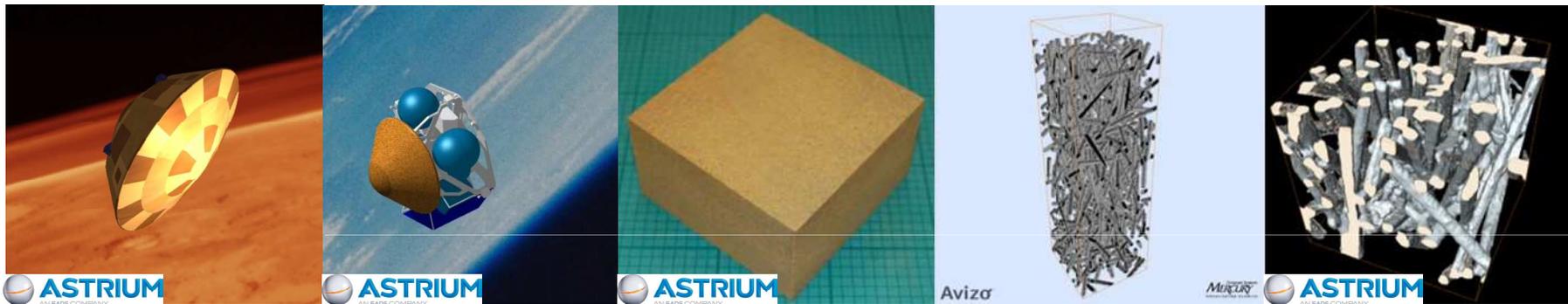
membre de  
UNIVERSITÉ DE LYON



**Thèse CIFRE avec ASTRIUM ST**

**Filiale d'EADS**

**Leader européen de l'industrie spatiale, n°3 mondial**



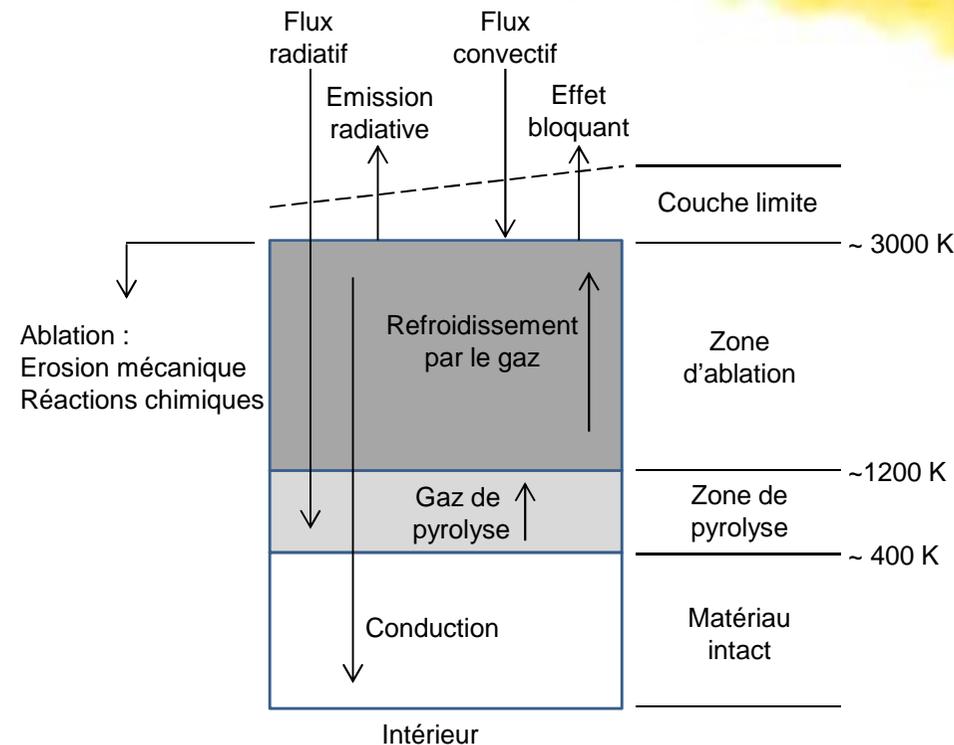
**Développement de nouveaux systèmes de protections thermiques (TPS)**

**Contraintes majeures:**

**Hautes Températures (~3000 K)  
Résistance à l'ablation  
Contrainte sur charge embarquée**



**Matrice fibres de carbone  
Résine phénolique**



**Identification des phénomènes prépondérants dans les transferts thermiques au sein du TPS type fibres de carbone.**

**Plus particulièrement, l'importance des transferts radiatifs au sein de la zone d'ablation et l'effet des gaz de pyrolyse sur ces transferts.**

**1- Etude de la transmittance et réflectance normale hémisphérique**

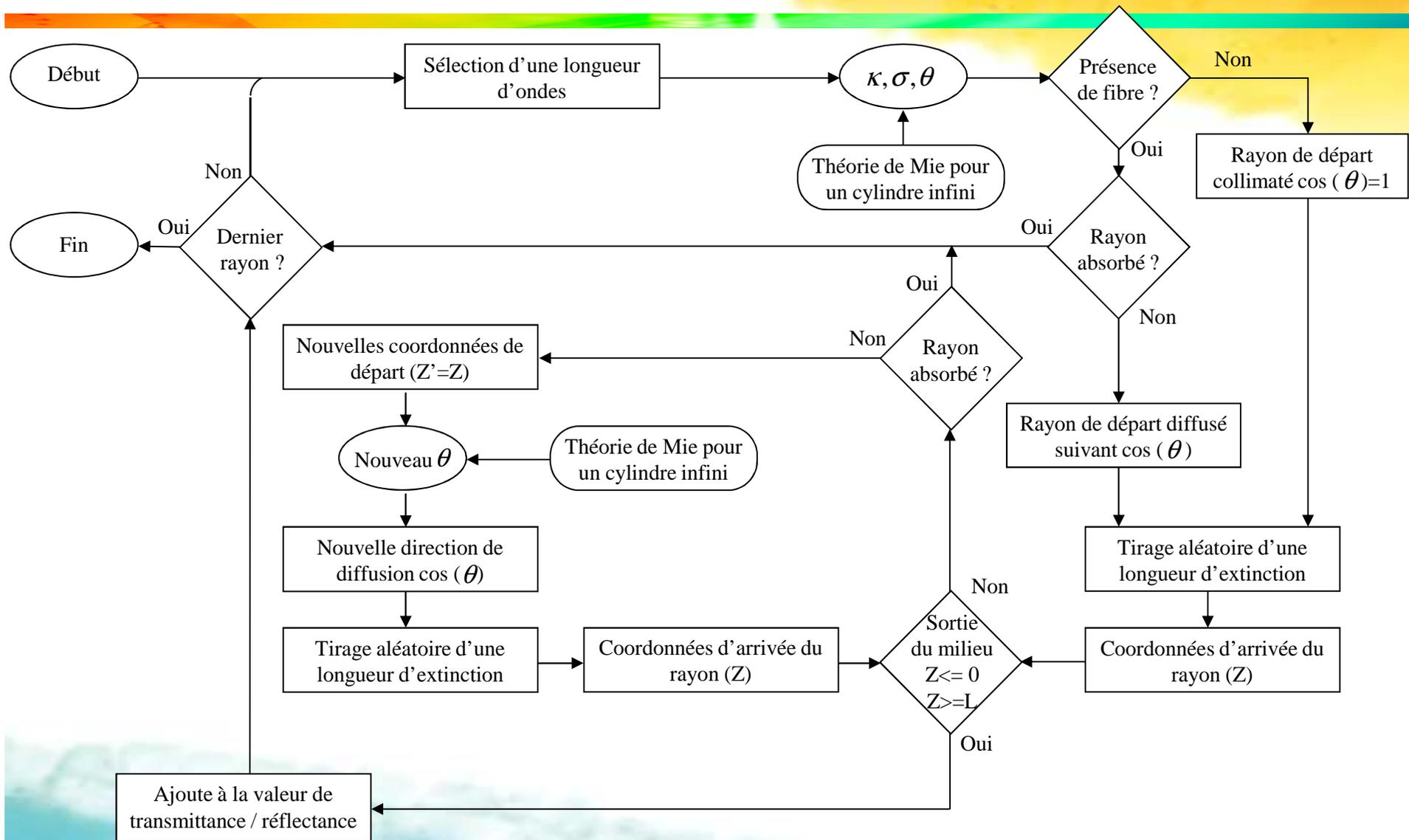
**1.1- Modèle Monte Carlo**

**1.2- Mesure sur spectromètre type PERKIN ELMER**

**1.3- Premières constatations**

**2- Etude de l'émission à hautes températures**

# 1.1 - Modélisation – Monte Carlo Transmittance et Réflectance



**Transmittance/réflectance normale hémisphérique**

**Echantillon :**

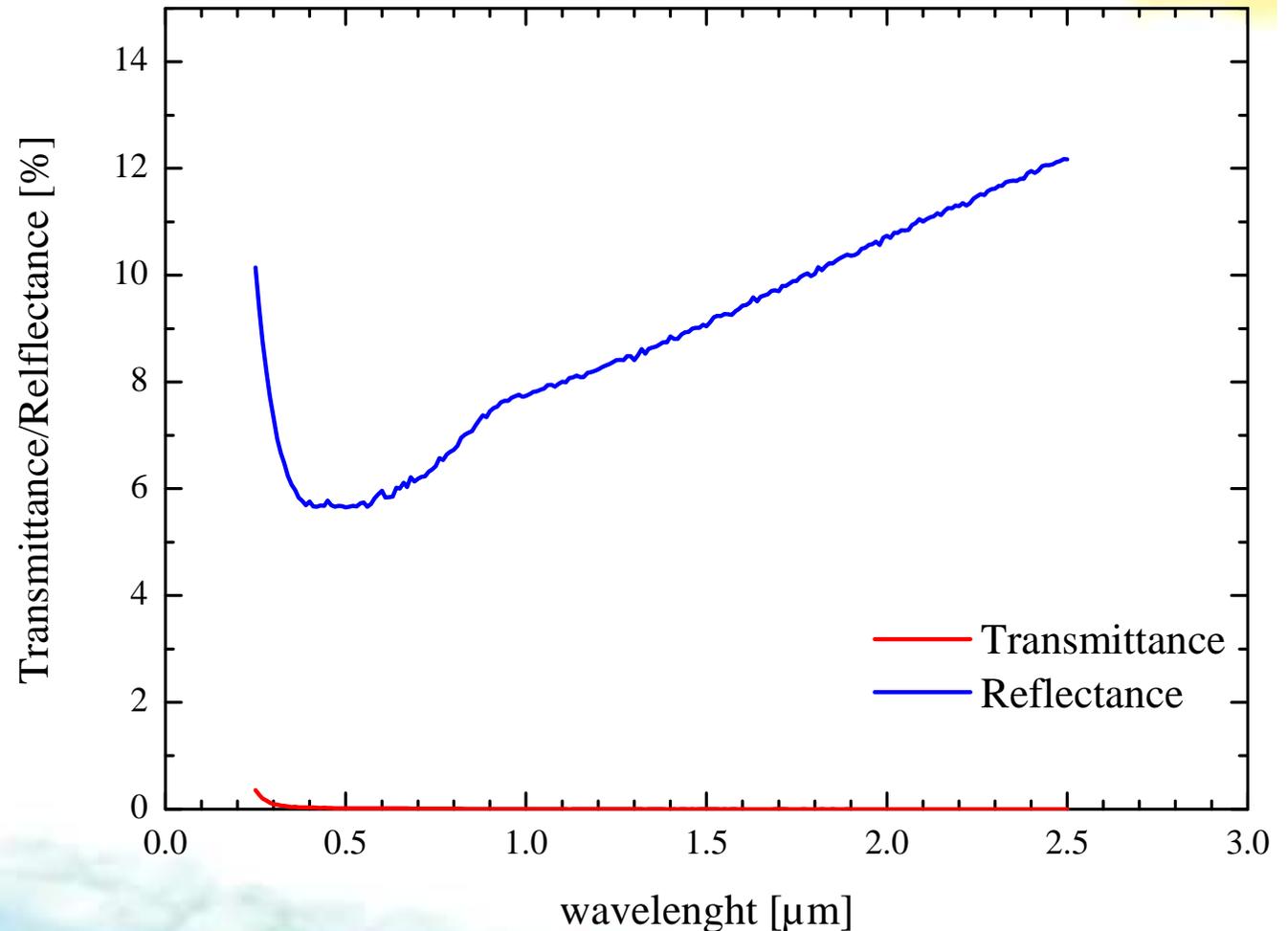
**Propriétés optiques  
des suies**

**Fibres orientées  
perpendiculairement  
aux rayons incidents**

**Fraction volumique  
de fibre : 11%**

**Diamètre des fibres :  
10  $\mu\text{m}$**

**Epaisseur  
échantillon: 3 mm**



### Transmittance/réflectance normale hémisphérique

Echantillon :

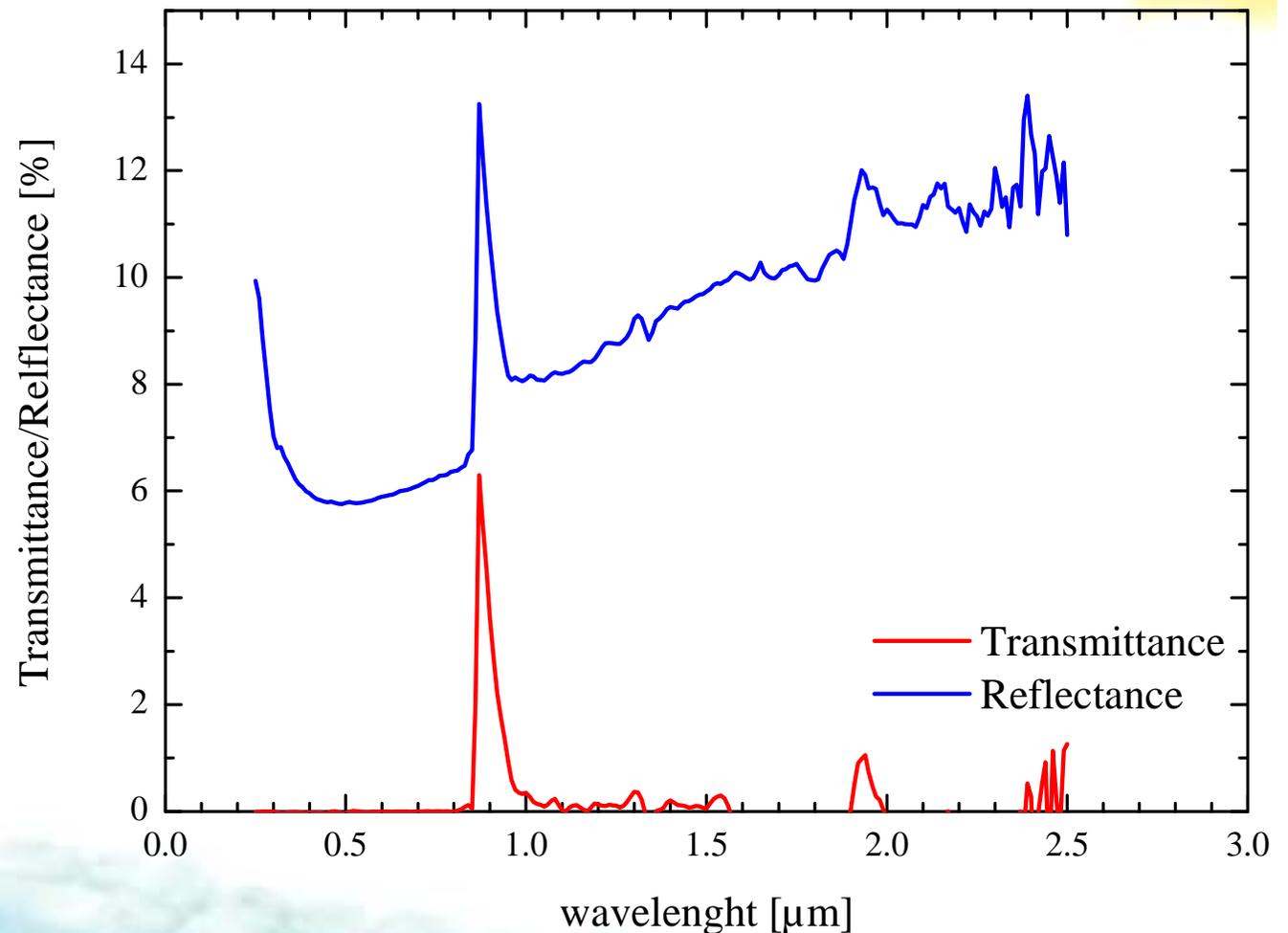
Feutre carbone  
non imprégné

Fibres orientées  
principalement  
perpendiculairement  
aux rayons incidents

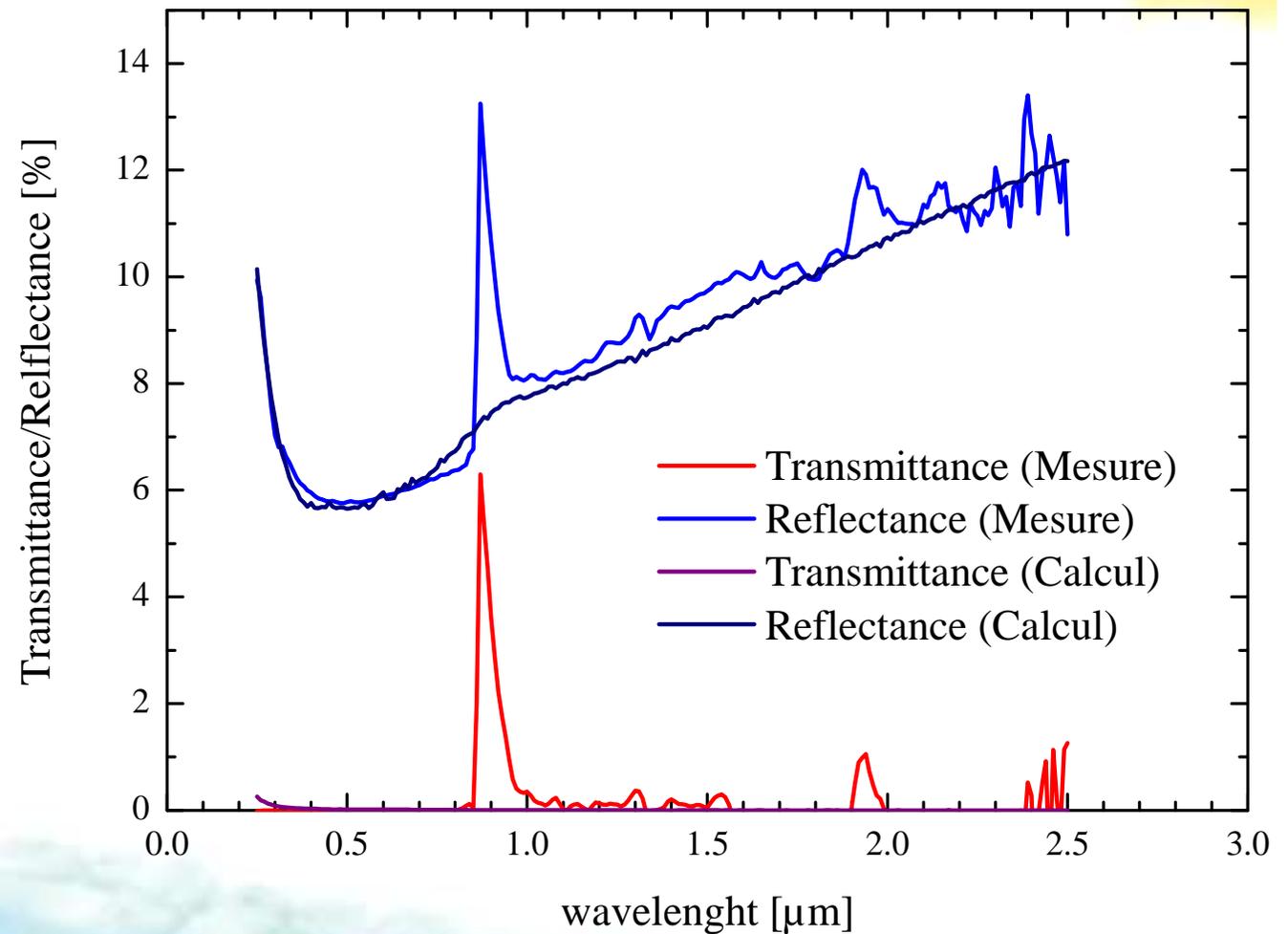
Densité : 180 g/cm<sup>3</sup>

Diamètre des fibres :  
10 μm

Epaisseur  
échantillon : 3mm



**Pic transmittance et réflectance à 860nm dû au changement de détecteur du spectromètre**



**Transmittance nulle**

**Réflectance faible (6 à 12%)**

↳ **Identification paramétrique difficile**

↳ **Matériau optiquement épais**

**Comportement du matériau identique au corps opaque ?**

↳ **Modélisation émissivité surfacique**

**Facteur d'émission par modèle Monte Carlo**

**Comparaison des résultats**

**1- Etude de la transmittance et réflectance normale hémisphérique**

**2- Etude de l'émission à hautes températures**

**2.1- Modèle d'émissivité surfacique**

**2.2- Modèle Monte Carlo de facteur d'émission directionnel**

**2.3- Résultats**

**2.4- Banc expérimental, émission directionnelle**

Calcul de l'émissivité surfacique selon la formule présentée par Siegel & Howell :

$$\varepsilon_\lambda = 1 - 0.5 \times (\rho_\perp + \rho_\parallel)$$

Avec :

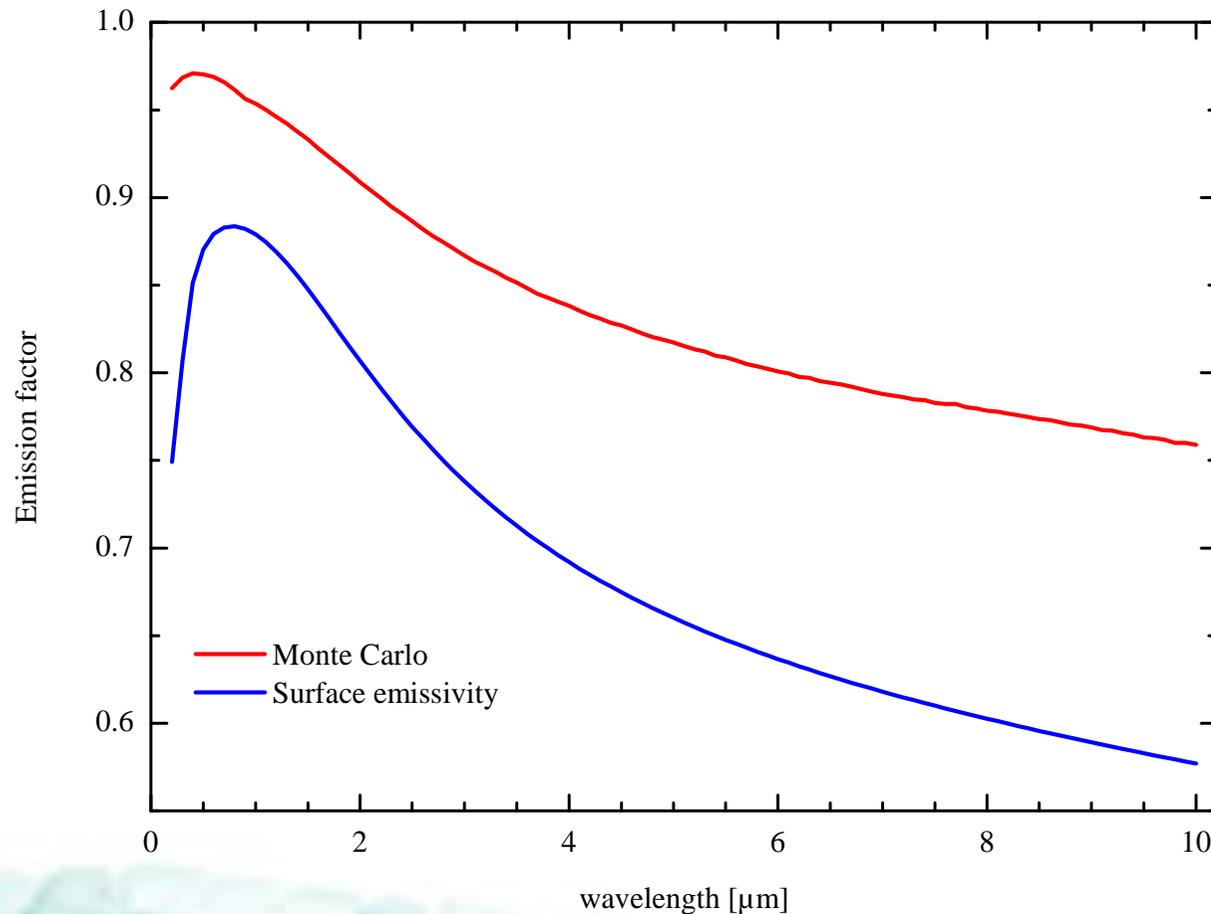
$$\rho_\perp = \frac{(n\beta - 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\beta^2}{(n\beta + 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\beta^2}$$

$$\rho_\parallel = \frac{(n\gamma - 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\gamma^2}{(n\gamma + 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\gamma^2}$$

$$\beta = \frac{n^2 + k^2}{2n^2} \left( \frac{n^2 - k^2}{n^2 + k^2} + 1 \right)$$

$$\gamma = \frac{n^2 - k^2}{n^2 + k^2} \beta + \frac{2nk}{n^2 + k^2} \left( \frac{n^2 + k^2}{2n^2} - \beta^2 \right)^{1/2}$$





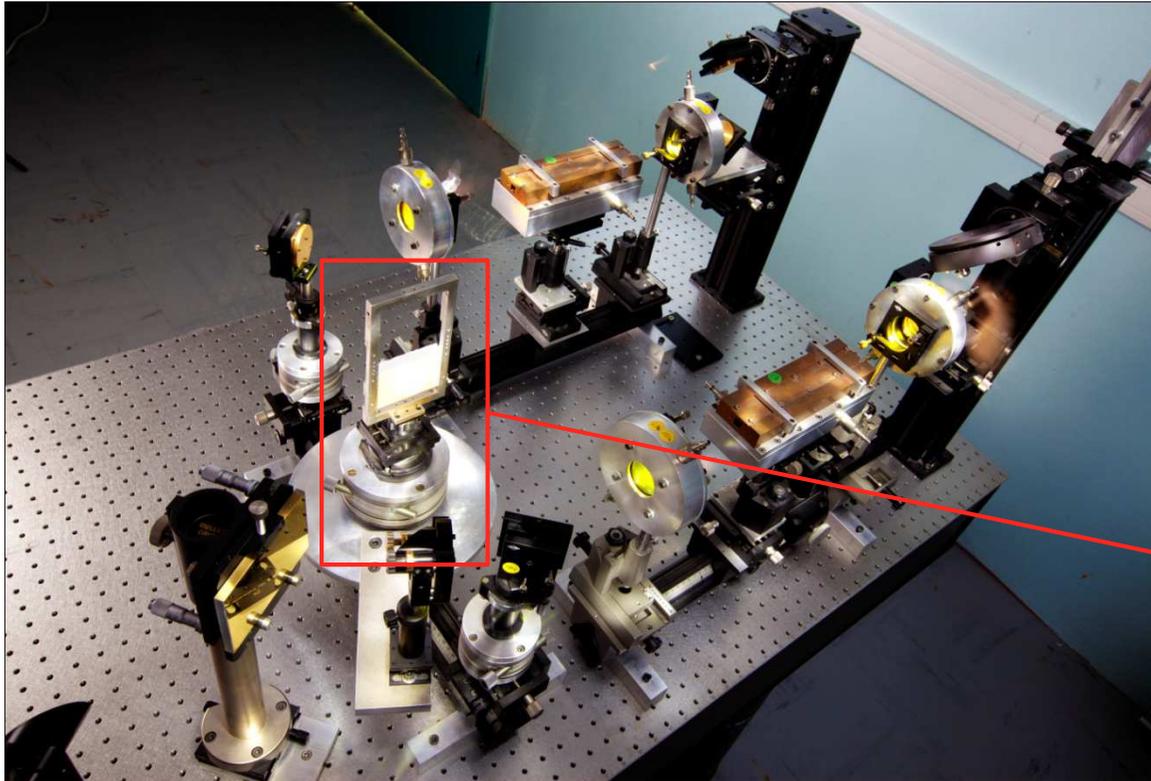
**2.5 Milliards de tirs :**

**- Intel Xeon E5620 CPU  
dualcore à 2.40 GHz**

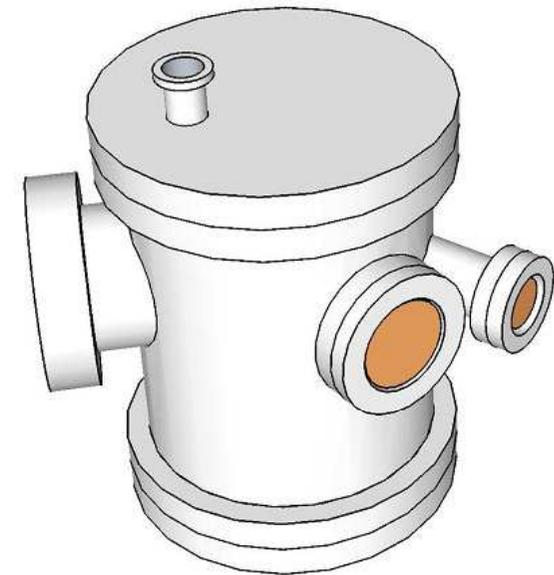
**- parallèle sur 5 nœuds**

**~ 20 minutes**

### Mesure d'émission sur matériaux en fibres de carbone à très hautes températures



**Echantillon isotherme**



**Enceinte à vide pour protéger l'échantillon des réactions à hautes températures avec l'oxygène**

**Transmittance matrice carbone nulle et réflectance faible (6 à 12 %)**

↳ **Identification paramétrique difficile  
Optiquement épais**

**Comportement d'un corps opaque ?**

↳ **Non, résultats du modèle d'émissivité surfacique trop éloignés de  
la réalité (10 à 25 % d'erreur)**

**Calcul Monte Carlo coûteux en temps de calcul**

↳ **Nécessité de développer un code précis mais plus rapide dans une  
optique d'identification paramétrique (indice de réfraction)**