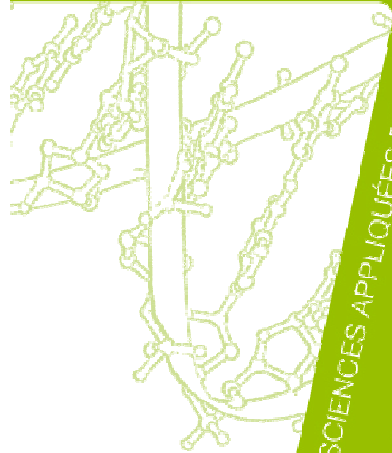
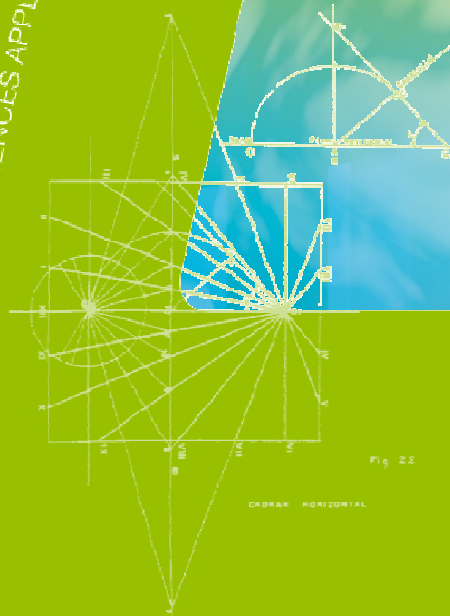


RECHERCHE



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



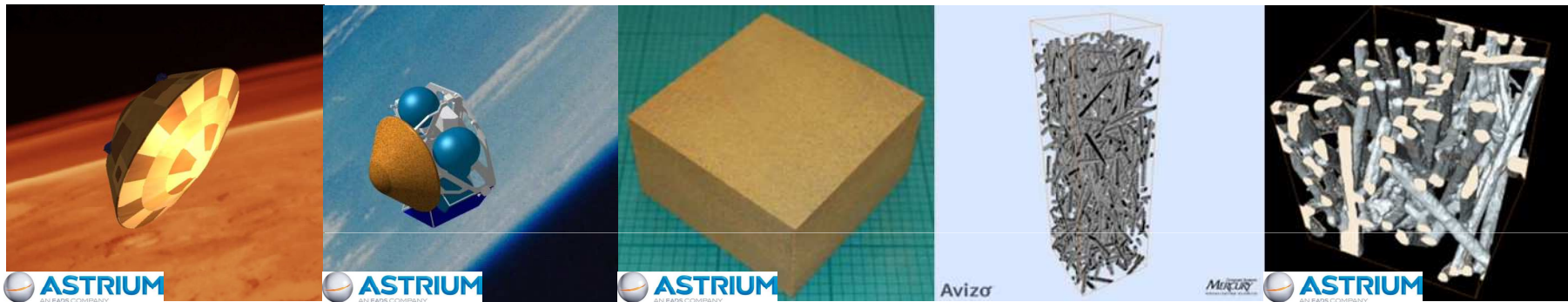
membre de
UNIVERSITÉ DE LYON



Thèse CIFRE avec ASTRIUM ST

Filiale d'EADS

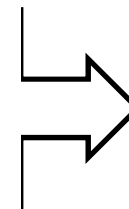
Leader européen de l'industrie spatiale, n°3 mondial



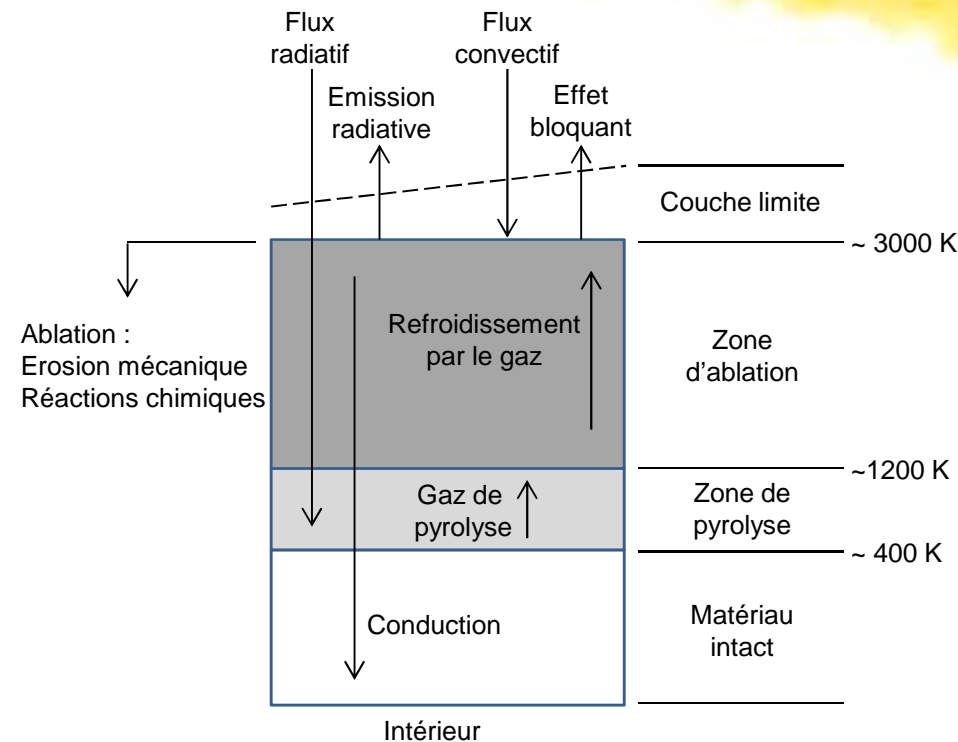
Développement de nouveaux systèmes de protections thermiques (TPS)

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

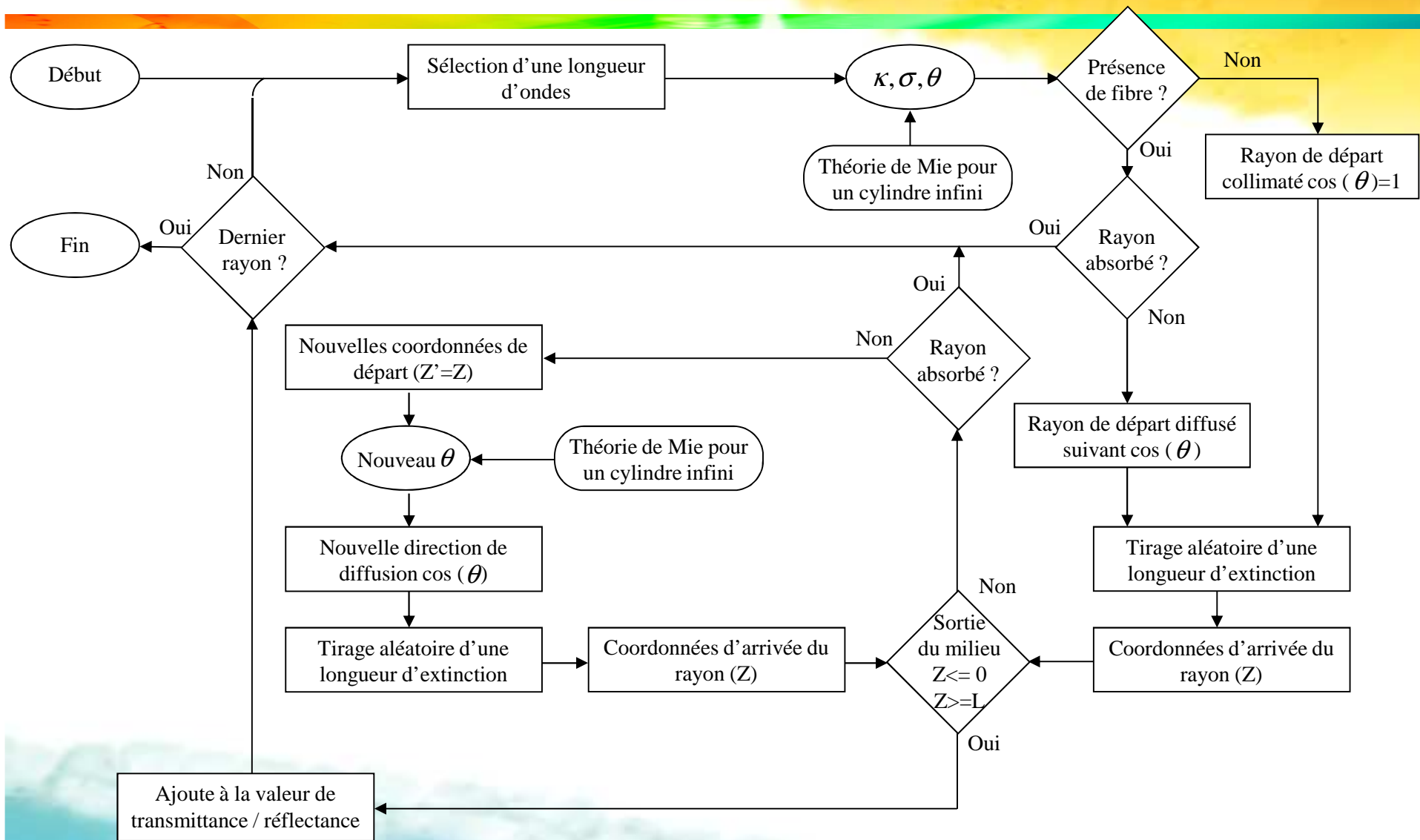
1.1- Modèle Monte Carlo

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 :

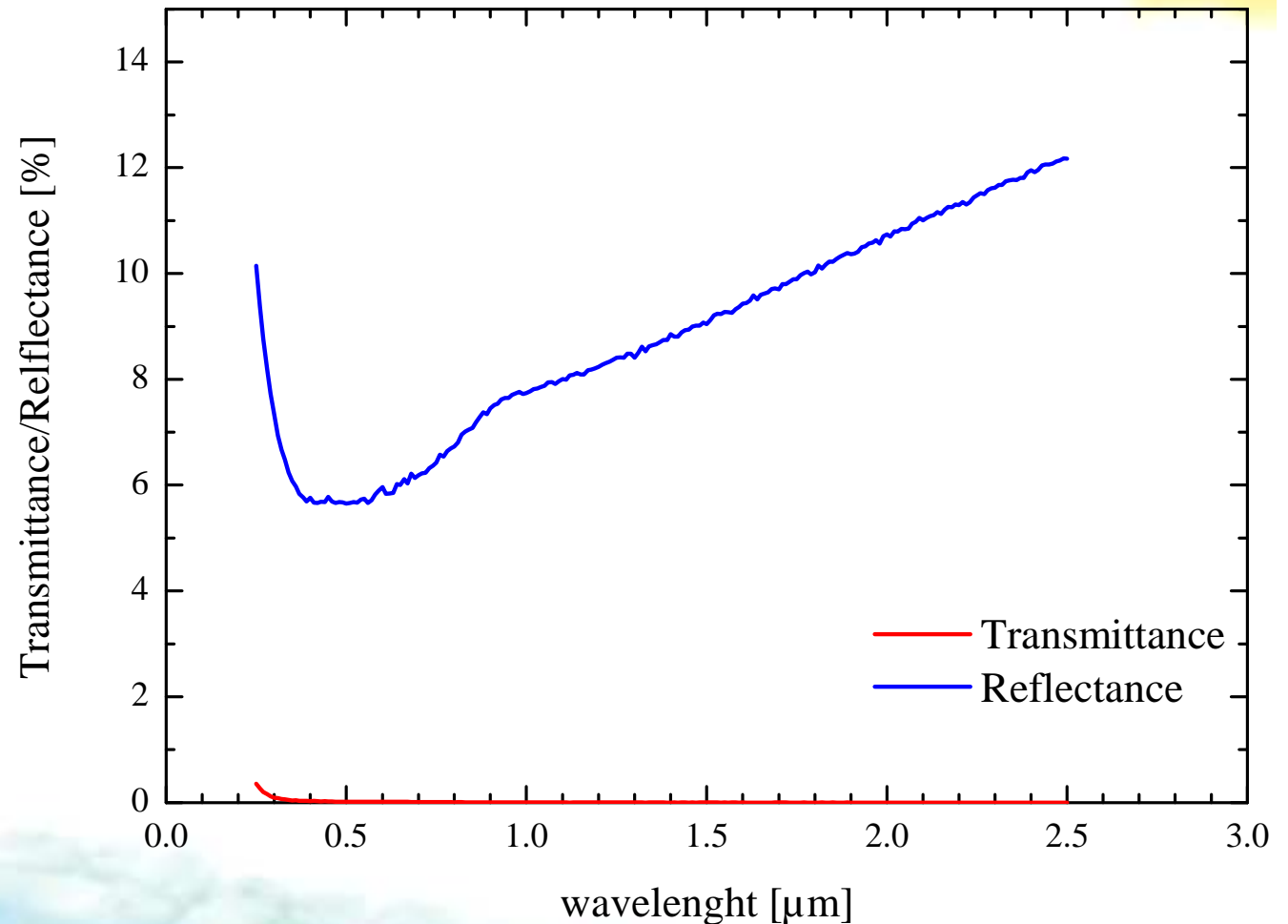
**Propriétés optiques
des suies**

**Fibres orientées
perpendiculairement
aux rayons incidents**

**Fraction volumique
de fibre : 11%**

**Diamètre des fibres :
10 μm**

**Epaisseur
échantillon: 3 mm**



Transmittance/réflectance normale hémisphérique

Echantillon :

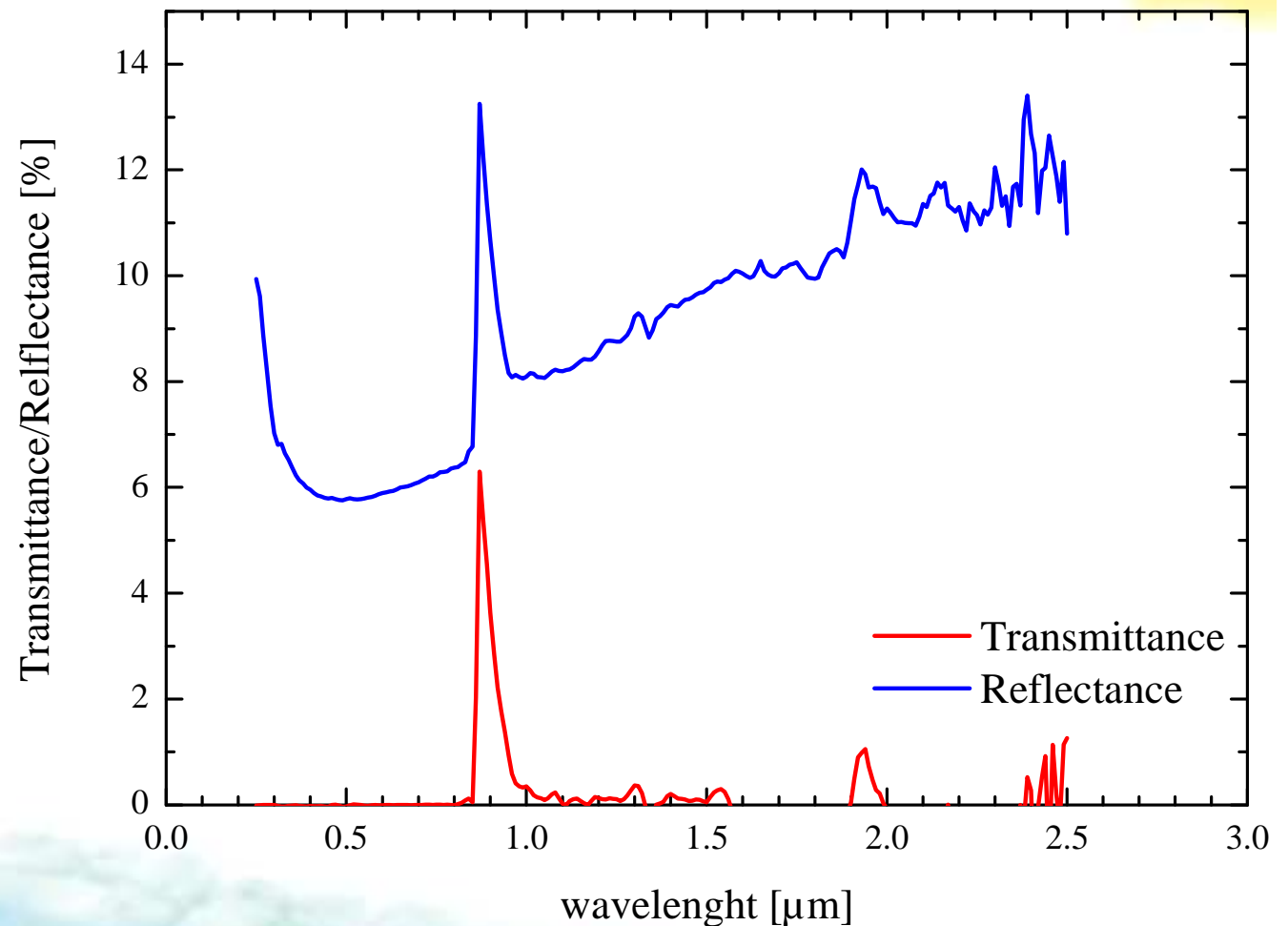
Feutre carbone
non imprégné

Fibres orientées
principalement
perpendiculairement
aux rayons incidents

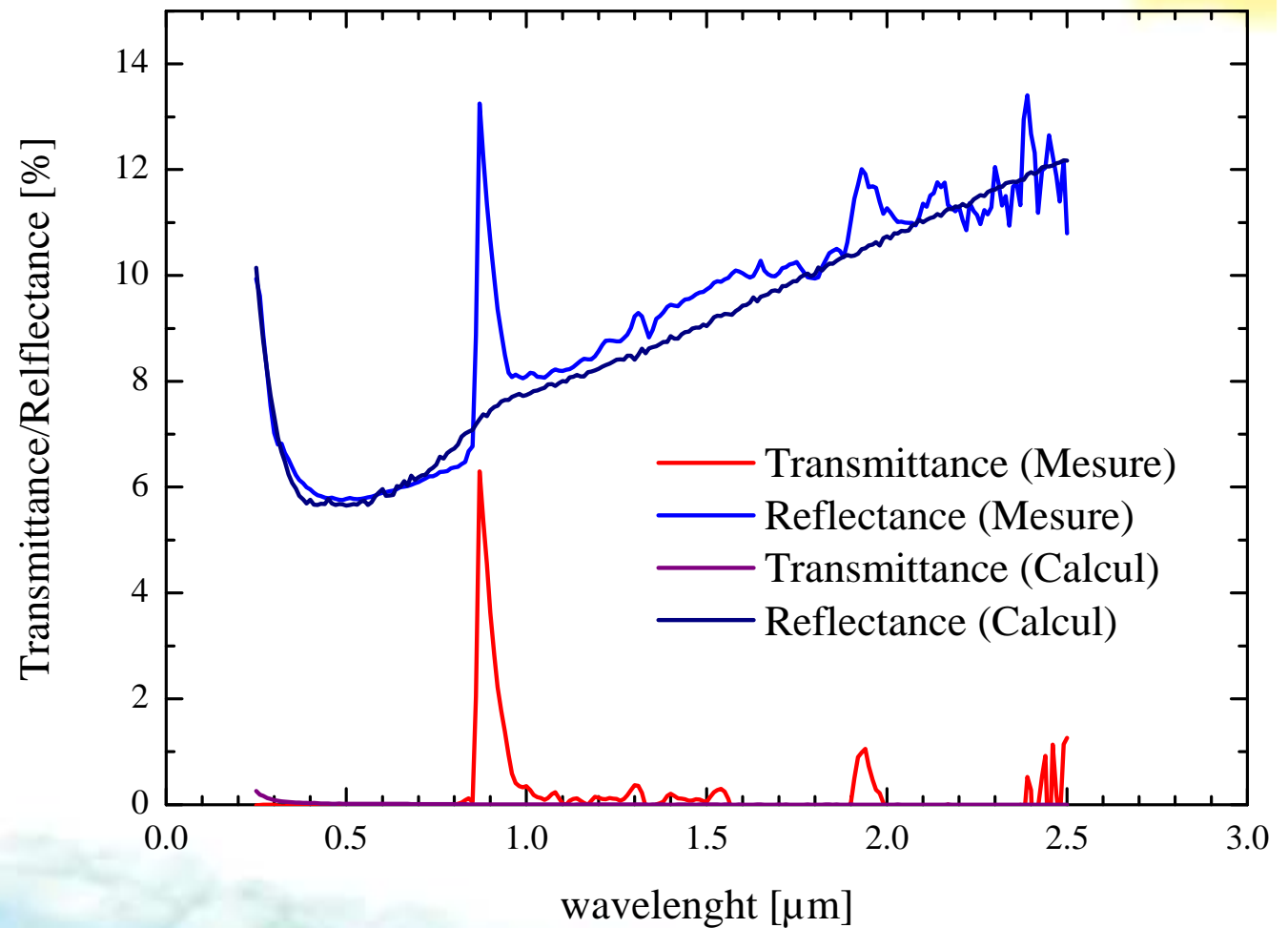
Densité : 180 g/cm³

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 :

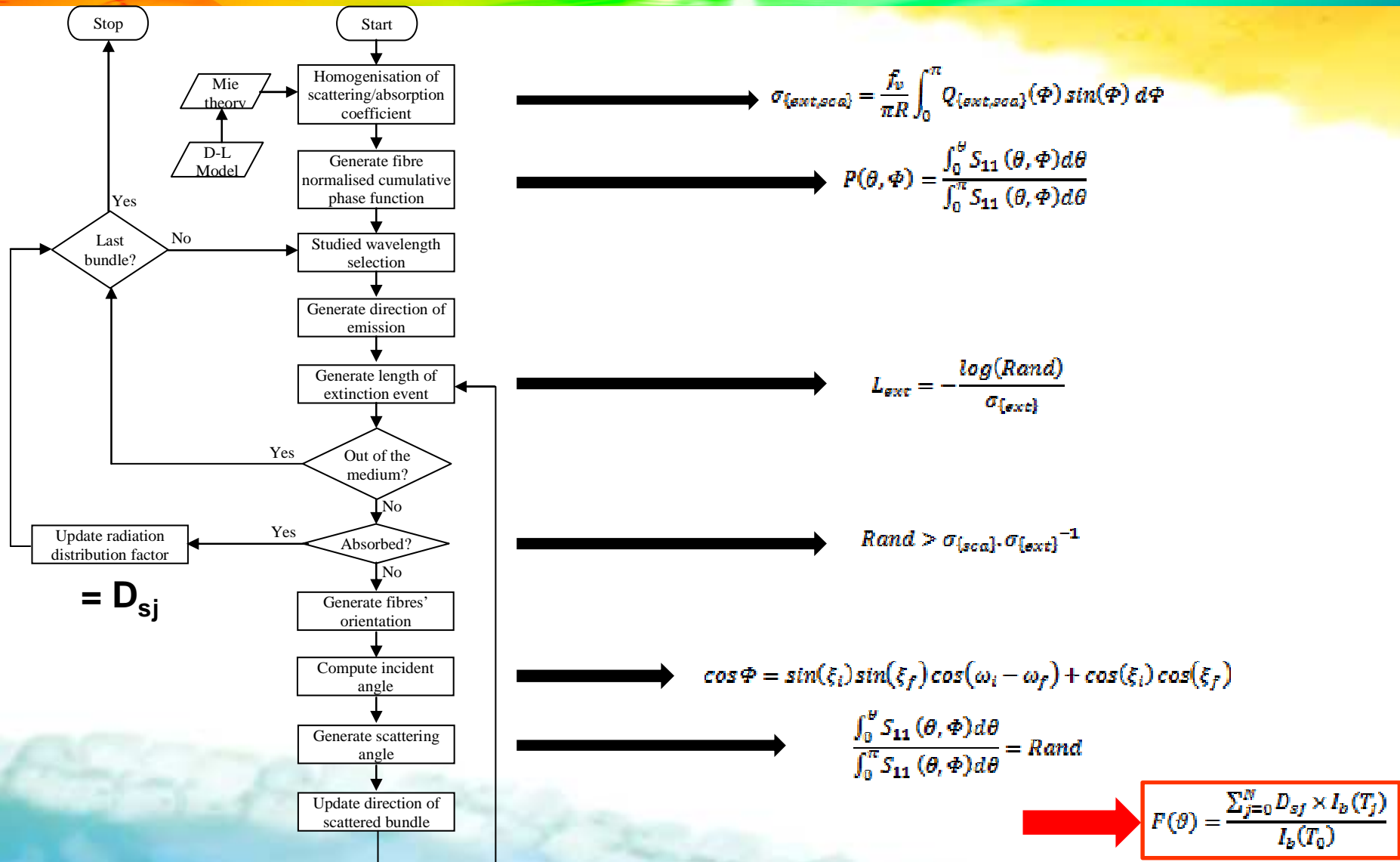
$$\rho_\perp = \frac{(n\beta - 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\beta^2}{(n\beta + 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\beta^2}$$

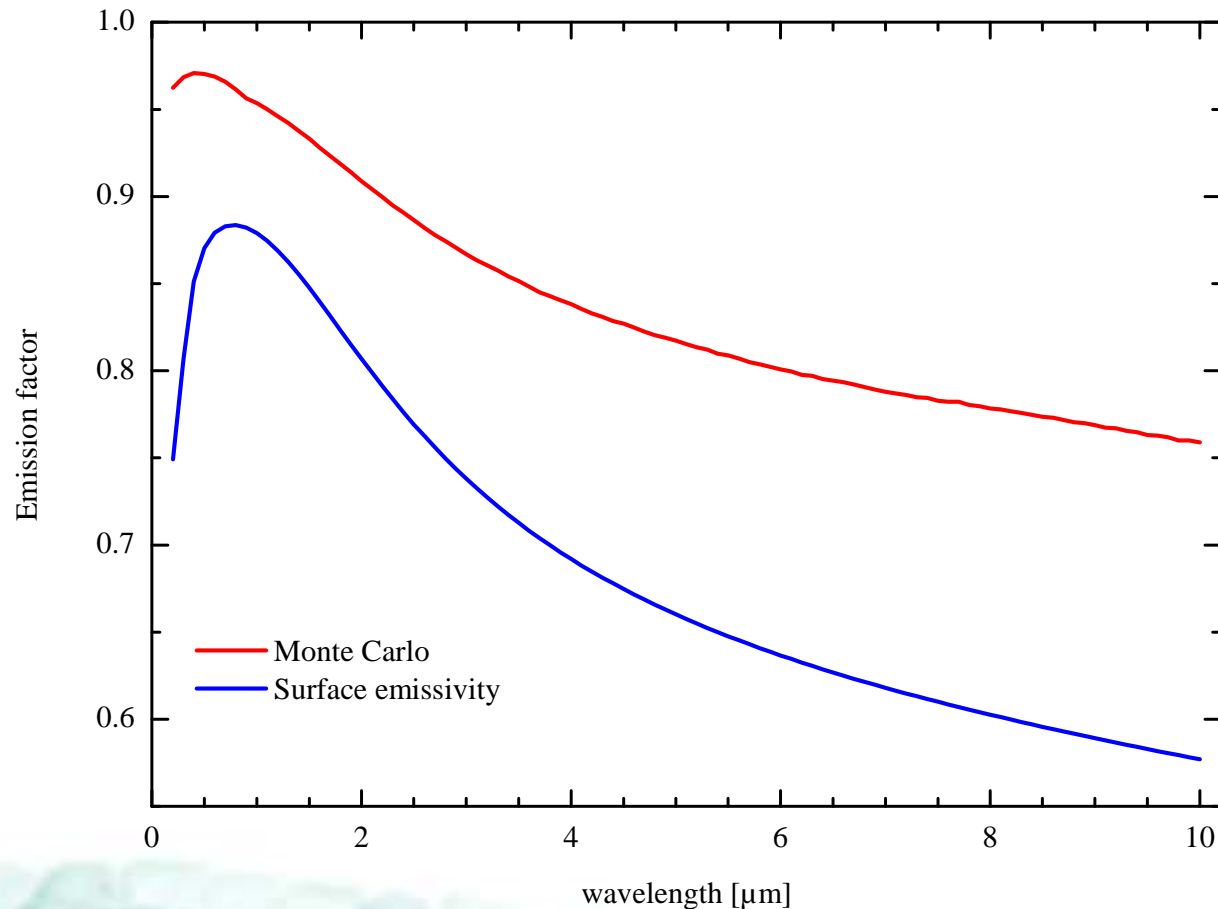
$$\rho_\parallel = \frac{(n\gamma - 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\gamma^2}{(n\gamma + 1)^2 + n^2 + k^2 - n^2\gamma^2}$$

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

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

2.2 - Modélisation – Monte Carlo facteur d'émission directionnel





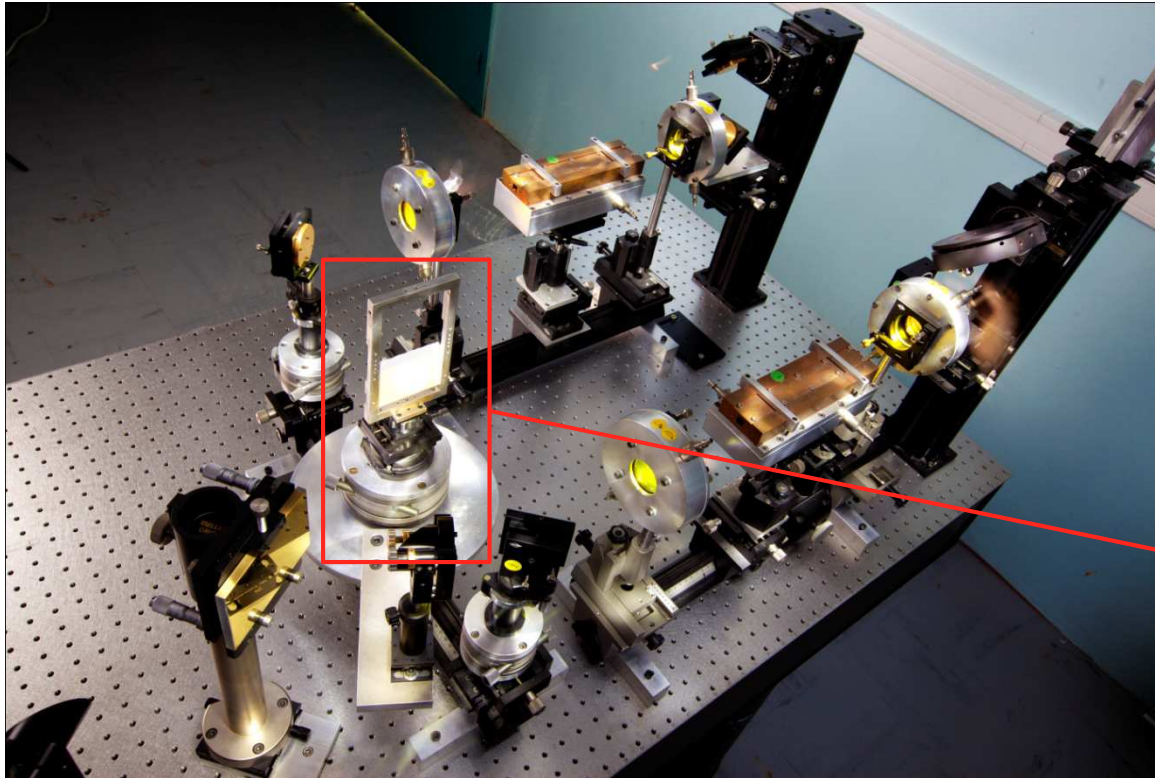
2.5 Milliards de tirs :

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

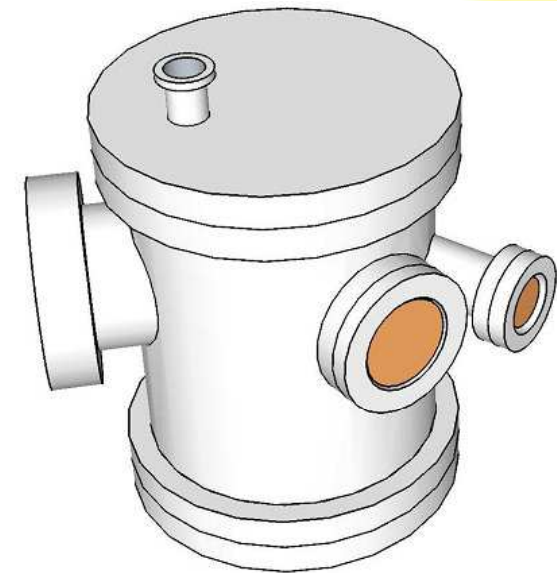
- parallèle sur 5 nœuds

~ 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)**