



HAL
open science

Développement d'un modèle couplé conduction-rayonnement pour la caractérisation des propriétés thermiques de matériaux hétérogènes et semi-transparents à haute température

Léa Penazzi, Olivier Farges, Yves Jannot, Johann Meulemans, Vincent Schick

► **To cite this version:**

Léa Penazzi, Olivier Farges, Yves Jannot, Johann Meulemans, Vincent Schick. Développement d'un modèle couplé conduction-rayonnement pour la caractérisation des propriétés thermiques de matériaux hétérogènes et semi-transparents à haute température. 5èmes Journées Annuelles du GDR Tamaris, Jun 2023, Nancy, France. . hal-04171689

HAL Id: hal-04171689

<https://hal.science/hal-04171689>

Submitted on 26 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contexte & Objectifs

- Optimiser l'utilisation de **matériaux isolants** dans les procédés haute température (fours verriers).
- Développer une méthode de mesure pour caractériser les **propriétés thermiques** de ces matériaux à leurs températures de fonctionnement ($T > 1500^\circ\text{C}$).

Propriétés thermiques effectives vs intrinsèques

1^{ère} stratégie :

- Estimation de λ_{eff} avec un **modèle conductif pur** + 1^{ère} expérience
- Estimation des propriétés optiques (β) avec un **modèle radiatif** + 2^{ème} expérience

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{cond}} + \lambda_{\text{rad}} \quad \text{with} \quad \lambda_{\text{rad}} = \frac{16\sigma_{\text{SB}}n^2T^3}{3\beta}$$

- Estimation de λ_{eff} de la **mousse de silice** jusqu'à 1200°C .

↔ **Séparation des contributions** λ_{cond} et λ_{rad} avec l'estimation de β

⚠ **Limites** de l'approche :
+ le rayonnement est **important** + l'intervalle d'estimation est **réduit**

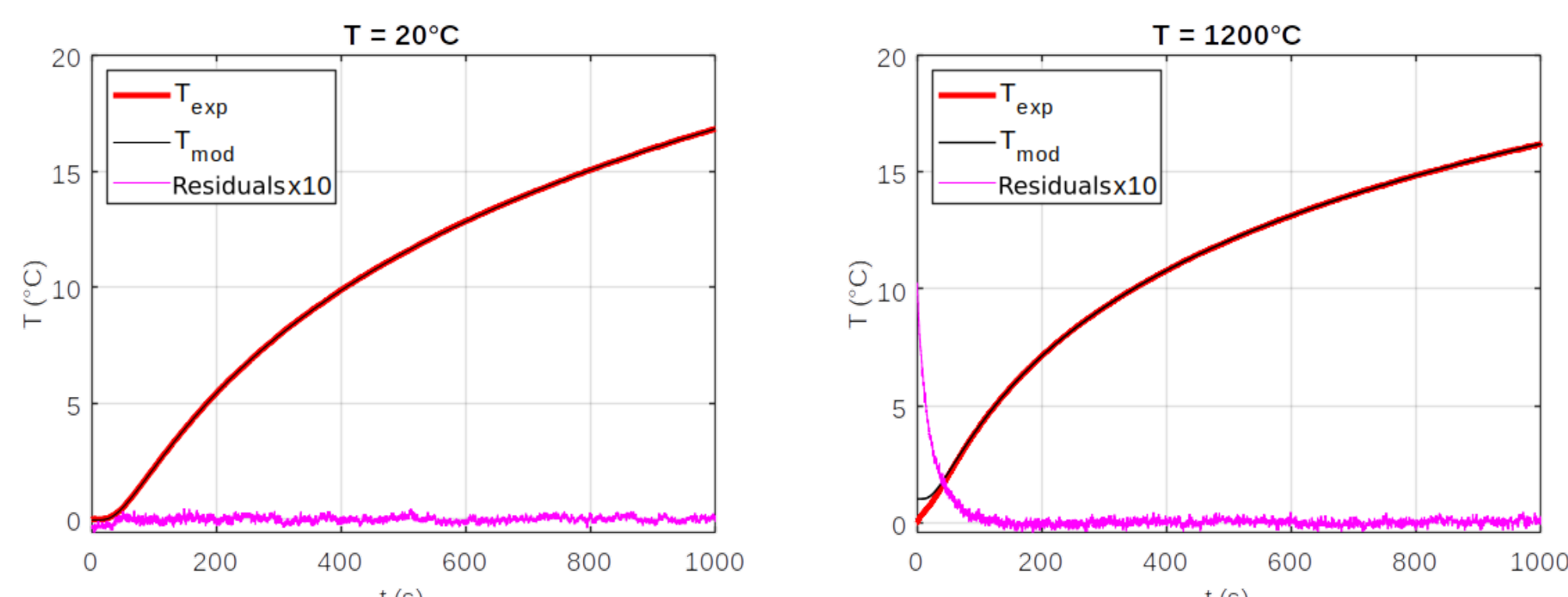


Figure 1: Tracés des évolutions de températures expérimentale (T_{exp}) et modèle (T_{mod}) à partir de estimations entre 0.2s et 1000s pour $T=20^\circ\text{C}$ (gauche) et 100s et 800s pour $T=1200^\circ\text{C}$ avec des résidus d'estimation $\times 10$ pour la mousse de silice basse densité (SG), $d=10\text{mm}$ [a].

Preuve de concept 1D stationnaire

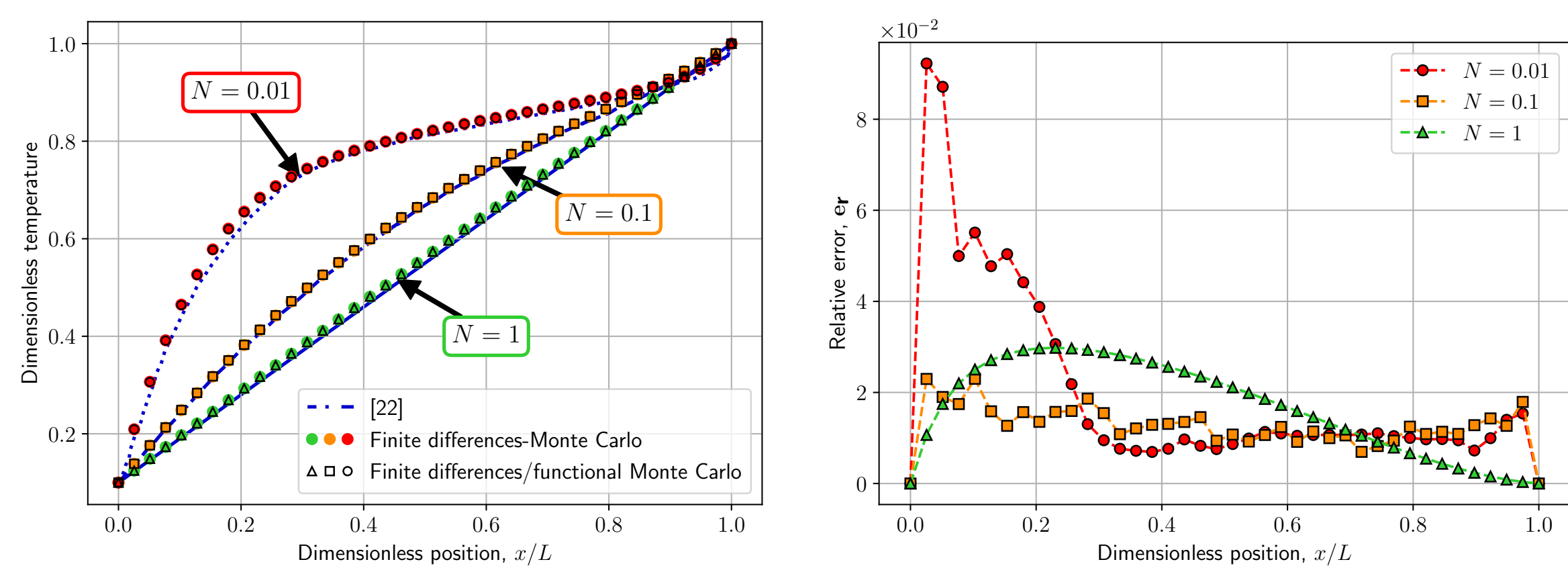


Figure 2: (Gauche) Profils de température adimensionnels ($\theta(\tau) = T(\tau)/T_{\text{right}}$) en fonction de l'épaisseur optique τ pour 3 valeurs du nombre de Stark (0.01, 0.1, 1) dans le cas d'un milieu absorbant pur avec des parois noires ($T_{\text{right}} = 10 \times T_{\text{left}}$) [d] - (Droite) Profils d'erreurs relatives correspondants.

- Conduction résolue avec la méthode des différences finies et terme source radiatif résolu par la méthode Monte Carlo.
- Estimation fonctionnelle du terme source** → Réduction du temps de calcul sans altérer la précision.

[a] Penazzi L. et al., *Influence of radiation heat transfer on parallel hot-wire thermal conductivity measurements of semi-transparent materials at high temperature*, International Journal of Thermal Sciences (2022).

[b] Sans M. et al., *Experimental characterization of the coupled conductive and radiative heat transfer in ceramic foams with a flash method at high temperature*, International Journal of Heat and Mass Transfer (2020).

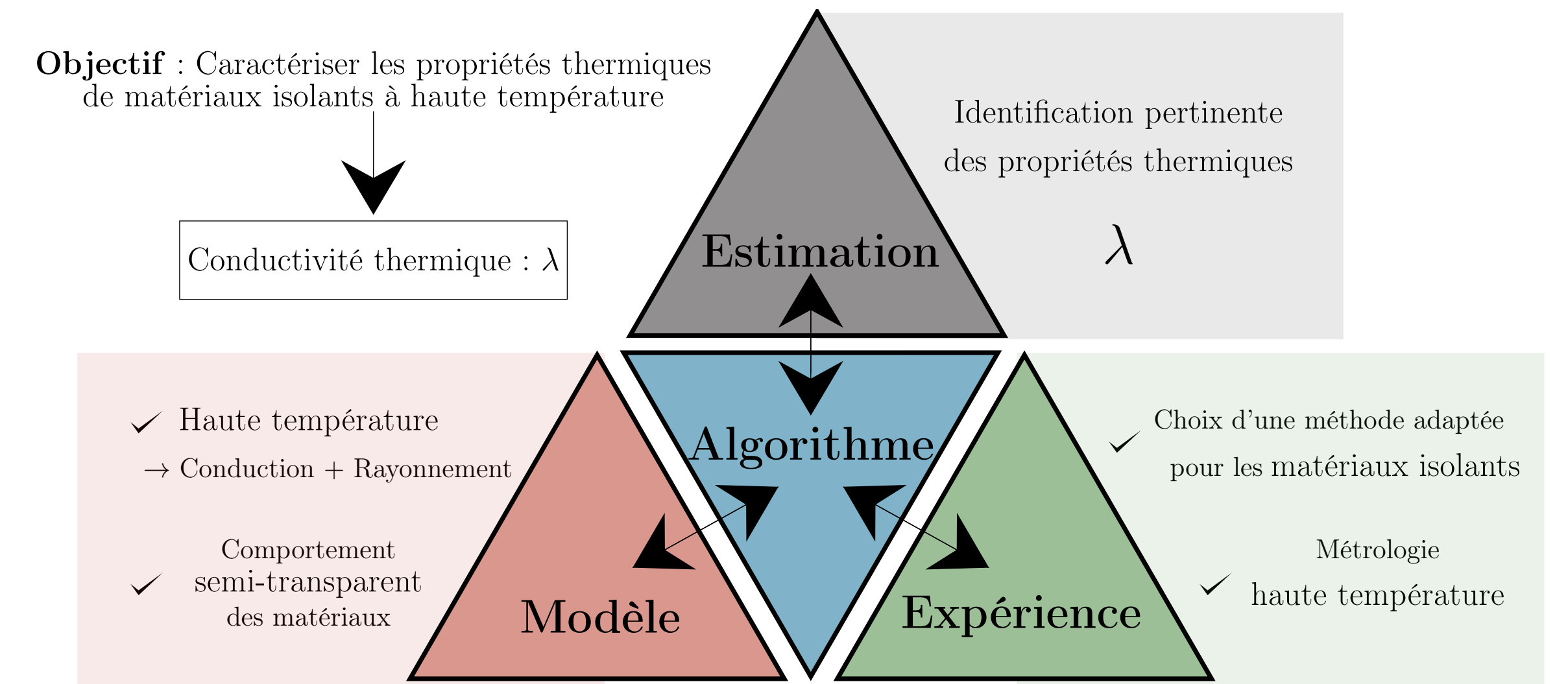
[c] Penazzi L. et al., *Toward the use of Symbolic Monte Carlo for conduction-radiation coupling in complex geometries*, RAD-19 - 9th International Symposium on Radiative Transfer (2019).

[d] Viskanta, R., and Grosh, R. J., *Heat Transfer by Simultaneous Conduction and Radiation in an Absorbing Medium*, ASME. J. Heat Transfer. (1962)

[e] Mishra, S. C. et al., *Application of the lattice Boltzmann method for solving the energy equation of a 2-D transient conduction-radiation problem*, International Journal of Heat and Mass Transfer (2005).

* lea.penazzi@univ-lorraine.fr

Méthodologie d'estimation



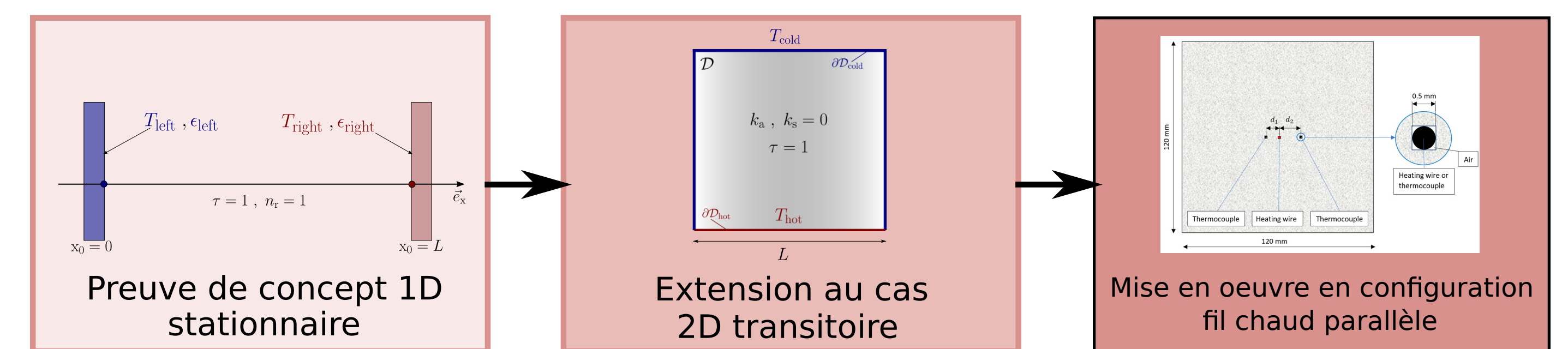
Développement d'un modèle couplé

2^{ème} stratégie :

Estimation des propriétés thermiques intrinsèques λ_{cond} and β avec un **modèle couplé conduction-rayonnement** + **unique expérience**

💡 **Modèle couplé basé sur la méthode Monte Carlo** :

- Résolution de problèmes de thermique **couplés et transitoires** dans le cadre de la caractérisation des milieux complexes [b]
- Prise en compte du **rayonnement volumique** dans les algorithmes Monte-Carlo couplés conduction-rayonnement [c]



Extension au cas 2D transitoire

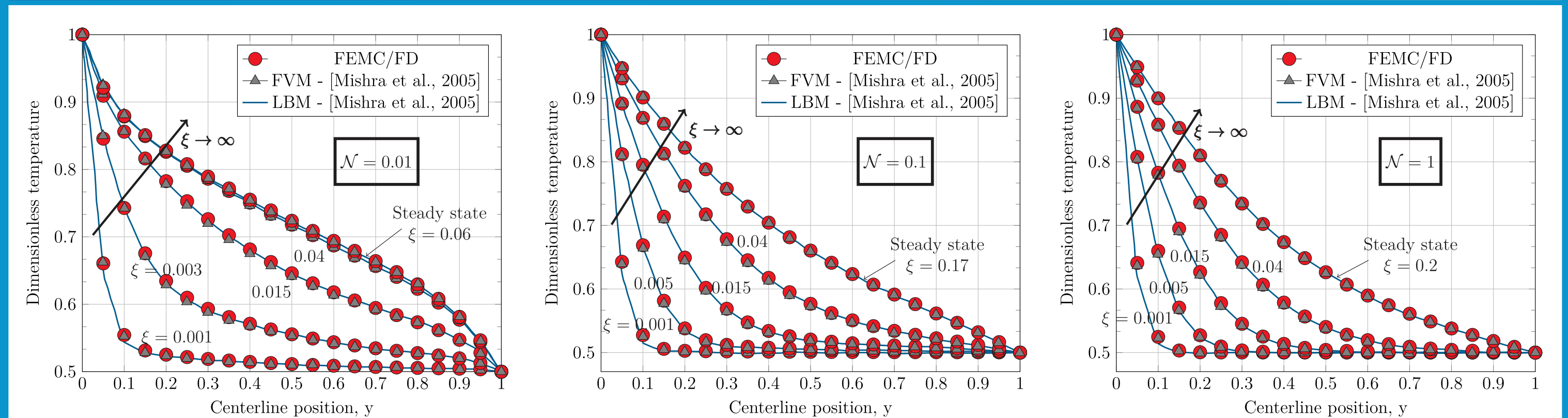


Figure 3: Profils de températures adimensionnelles selon la position centrale pour différents instants adimensionnels ($\xi = \alpha k_a^2 t$) pour différentes valeurs du nombre de Stark \mathcal{N} [e].

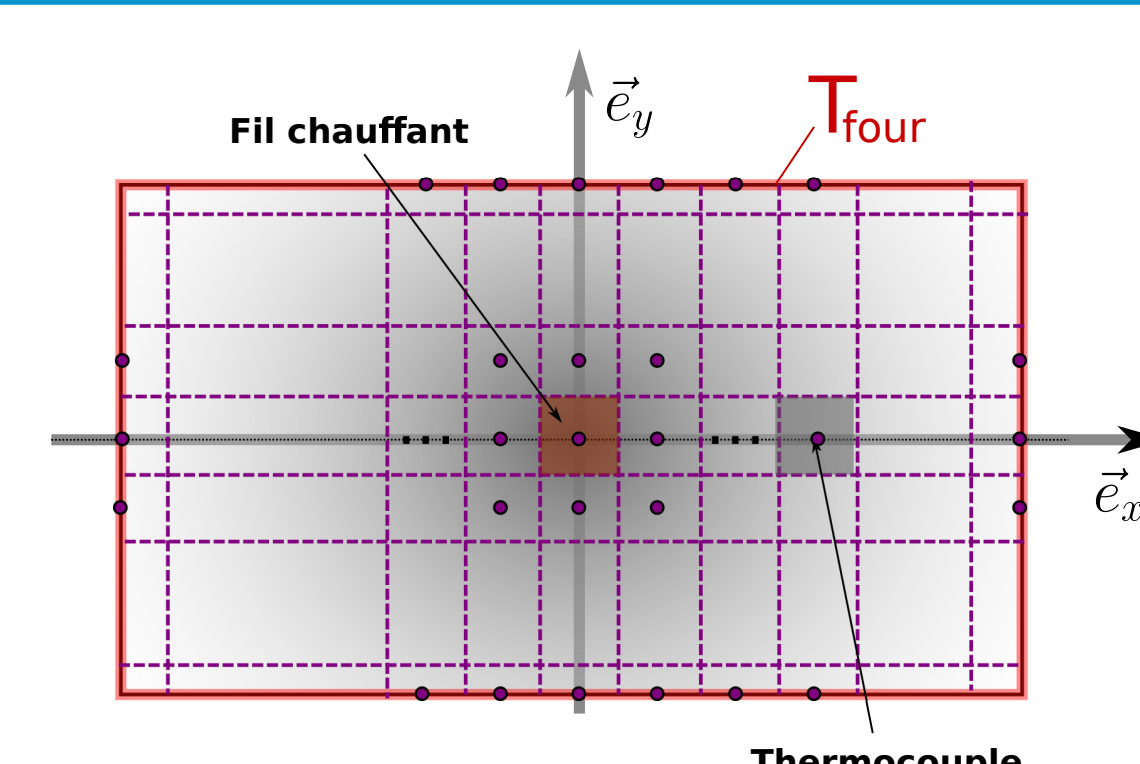
Réduction du temps de calcul par rapport à des méthodes "classiques" :

- Coefficients de la fonction obtenus en $4h^a$.
- 15 configurations différentes résolues en moins d'1min pour les cas stationnaires et 6min pour les transitoires [b].

^a Serveur de calcul EXPLOR (Université de Lorraine) Intel ®Xeon™E5 2.10 GHz

^b Intel®Core™i5-10210U CPU 1.60GHz

Perspectives en configuration fil chaud parallèle



- Modélisation directe** : Simulations 2D transitoires avec les caractéristiques des mesures réalisées sur les échantillons de mousse de silice [a].
- Étude de sensibilité** par rapport aux propriétés thermiques d'intérêt.