



**HAL**  
open science

## Modélisation et intégration temporelle d'un problème thermique couplé par la méthode de Monte-Carlo

Thomas Villemin, Olivier Farges, Gilles Parent, Rémy Claverie, Julien Bouyer

► **To cite this version:**

Thomas Villemin, Olivier Farges, Gilles Parent, Rémy Claverie, Julien Bouyer. Modélisation et intégration temporelle d'un problème thermique couplé par la méthode de Monte-Carlo. Congrès Annuel de la Société Française de Thermique, Jun 2021, Belfort, France. hal-03246232

**HAL Id: hal-03246232**

**<https://hal.science/hal-03246232>**

Submitted on 2 Jun 2021

**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.



# Modélisation et intégration temporelle d'un problème thermique couplé par la méthode de Monte Carlo

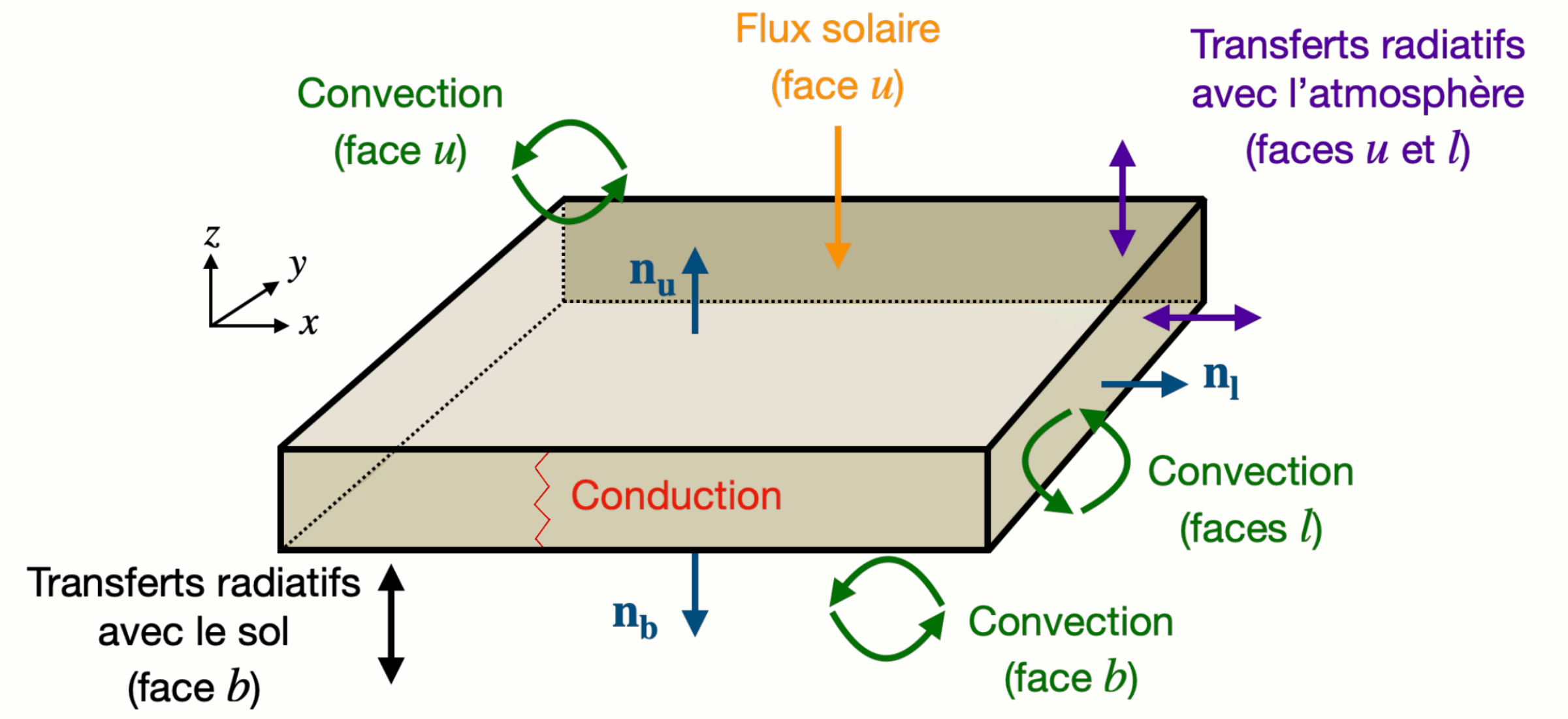
Thomas Villemin (1,2,\*), Olivier Farges (1), Gilles Parent (1), Rémy Claverie (2) & Julien Bouyer (2)



## Contexte

- Rendement électrique d'un panneau photovoltaïque **diminue** avec l'augmentation de la température des cellules
- Besoin d'une **modélisation pertinente** du bilan d'énergie :
  - ▶ **Intégration** de nombreux paramètres climatiques
  - ▶ Simulation en **régime transitoire**
- Application du modèle à partir de **données climatiques expérimentales** :
  - ▶ Rayonnement solaire global, vitesse du vent, température de surface et température de l'air

- Géométrie et transferts thermiques : 1 m × 1 m × 0,035 m



## Objectifs

- Modéliser la température en un point sonde donné sur une période de 24 h
- Observer l'influence des différents paramètres : thermiques et climatiques

## Hypothèses

- Plaque plane disposée **horizontalement** par rapport au sol
- **Rayonnement solaire global** incident sur la face supérieure uniquement
- **Corrélations** de convection forcée en régime turbulent

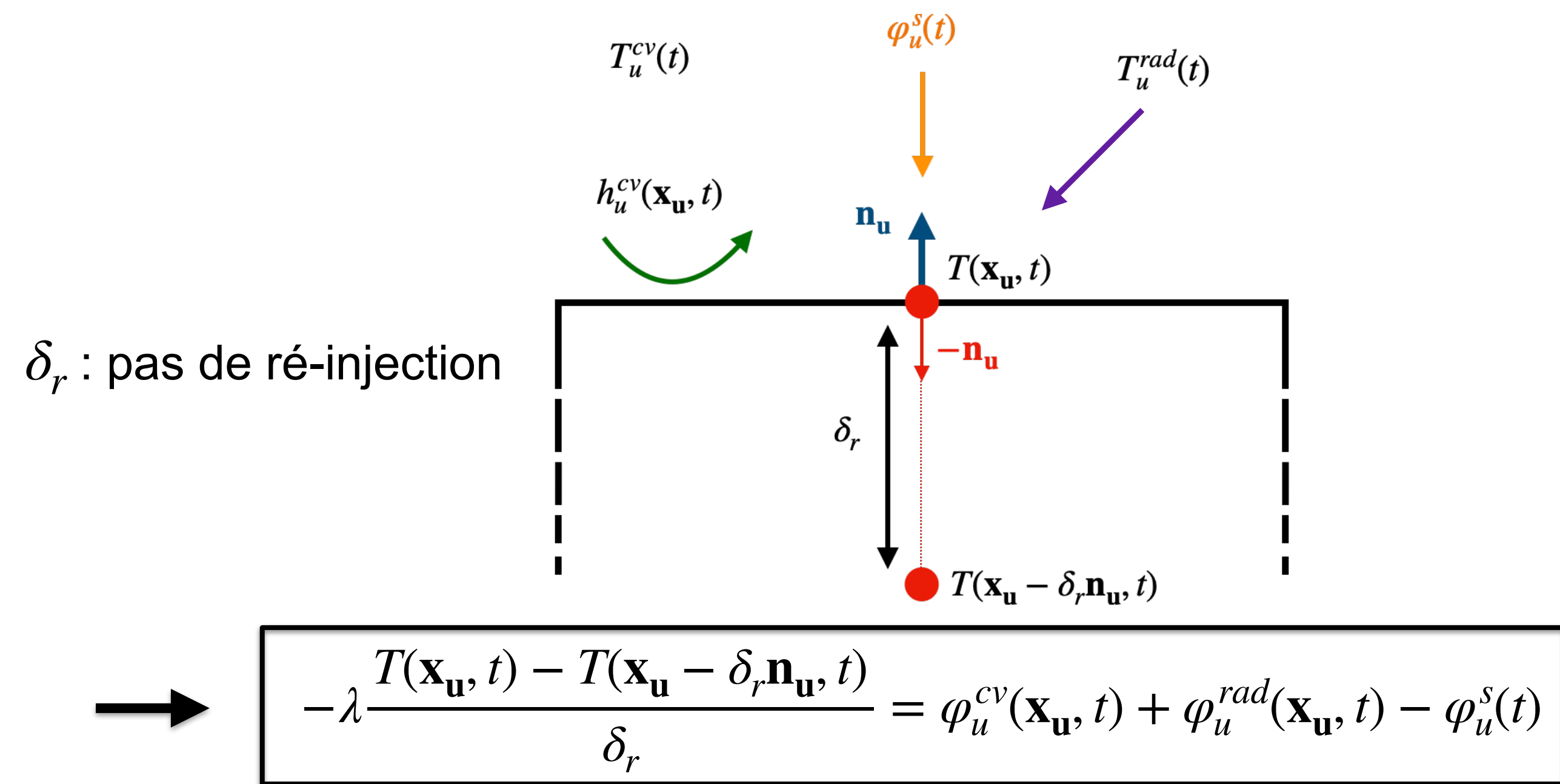
- Problème couplé → équation de la chaleur en régime instationnaire :

$$\begin{aligned} \mathbf{x} \in \mathcal{D}, t \in [t_i, t_F] : \rho c_p \frac{\partial T(\mathbf{x}, t)}{\partial t} &= -\nabla \cdot (-\lambda \nabla T(\mathbf{x}, t)) \\ \mathbf{x}_u \in \partial \mathcal{D}_u, t \in [t_i, t_F] : -\lambda \nabla T(\mathbf{x}_u, t) \cdot \mathbf{n}_u &= \varphi_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t) + \varphi_u^{rad}(\mathbf{x}_u, t) - \varphi_u^s(t) \\ \mathbf{x}_b \in \partial \mathcal{D}_b, t \in [t_i, t_F] : -\lambda \nabla T(\mathbf{x}_b, t) \cdot \mathbf{n}_b &= \varphi_b^{cv}(\mathbf{x}_b, t) + \varphi_b^{rad}(\mathbf{x}_b, t) \\ \mathbf{x}_l \in \partial \mathcal{D}_l, t \in [t_i, t_F] : -\lambda \nabla T(\mathbf{x}_l, t) \cdot \mathbf{n}_l &= \varphi_l^{cv}(\mathbf{x}_l, t) + \varphi_l^{rad}(\mathbf{x}_l, t) \\ \mathbf{x} \in \partial \mathcal{D}, t = t_i : T(\mathbf{x}, t = t_i) &= T_i(\mathbf{x}) \end{aligned}$$

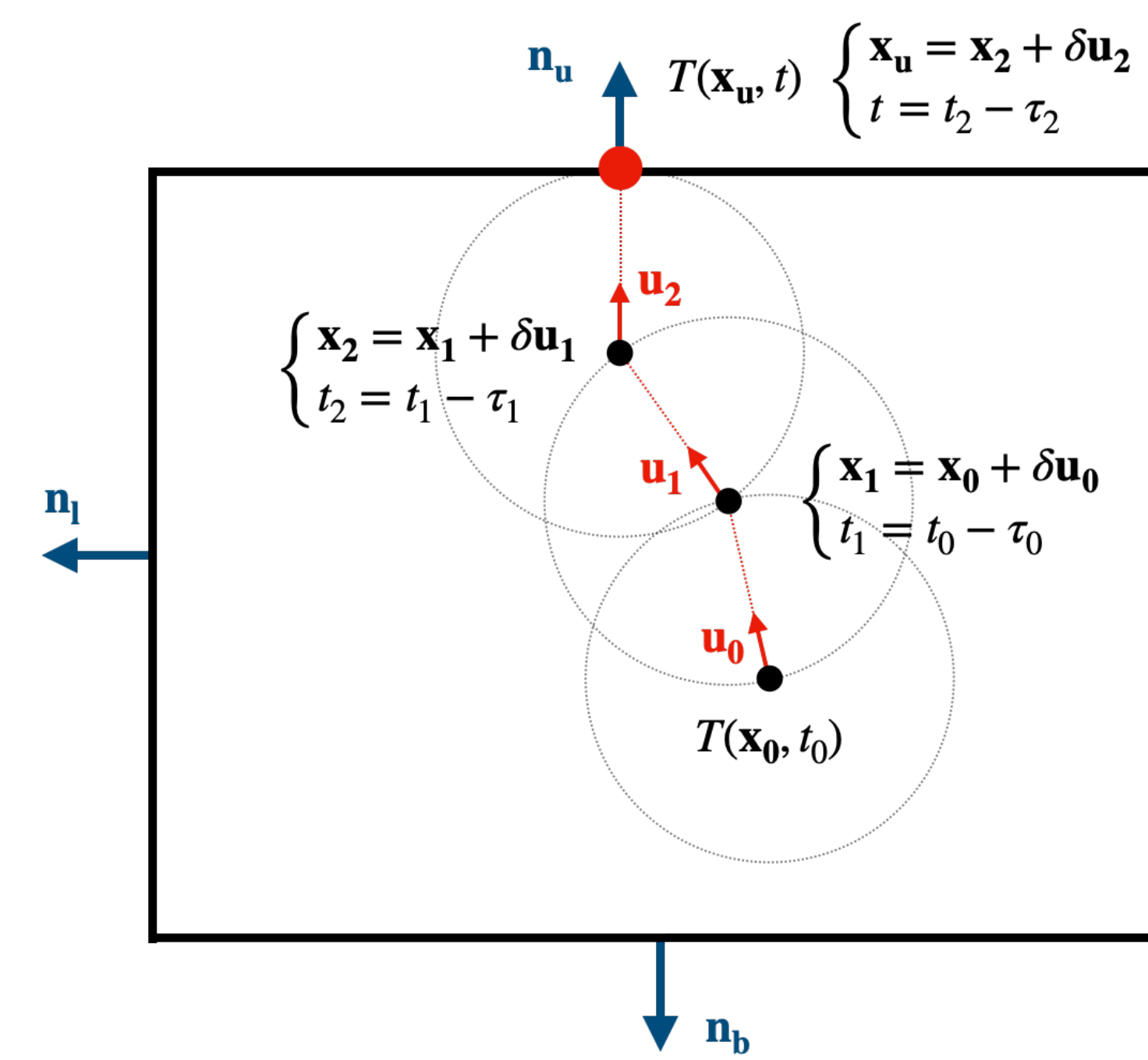
## Méthode

### Monte Carlo

- Interprétation **probabiliste** du bilan d'énergie :  $T(\mathbf{x}, t) = E[X] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$
- **Couplage** des modes de transferts aux interfaces du solide :
  - ▶ Convection
  - ▶ Rayonnement
  - ▶ Conduction (dans le solide)
- **Continuité** des flux aux interfaces et marche en conduction en 3D :



- Algorithme **Walk on Sphere** à pas constant  $\delta$  pour la conduction 3D dans le solide :



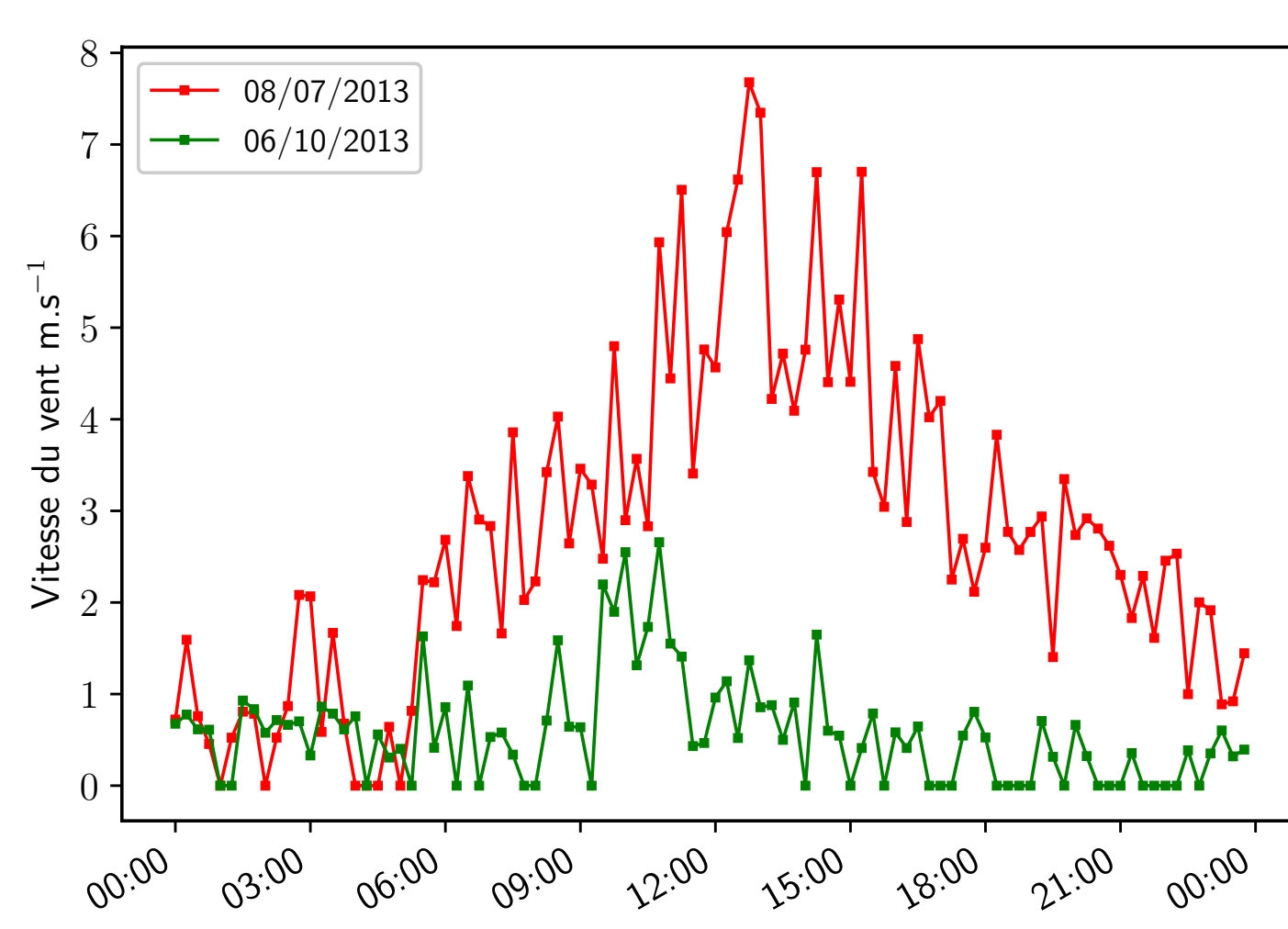
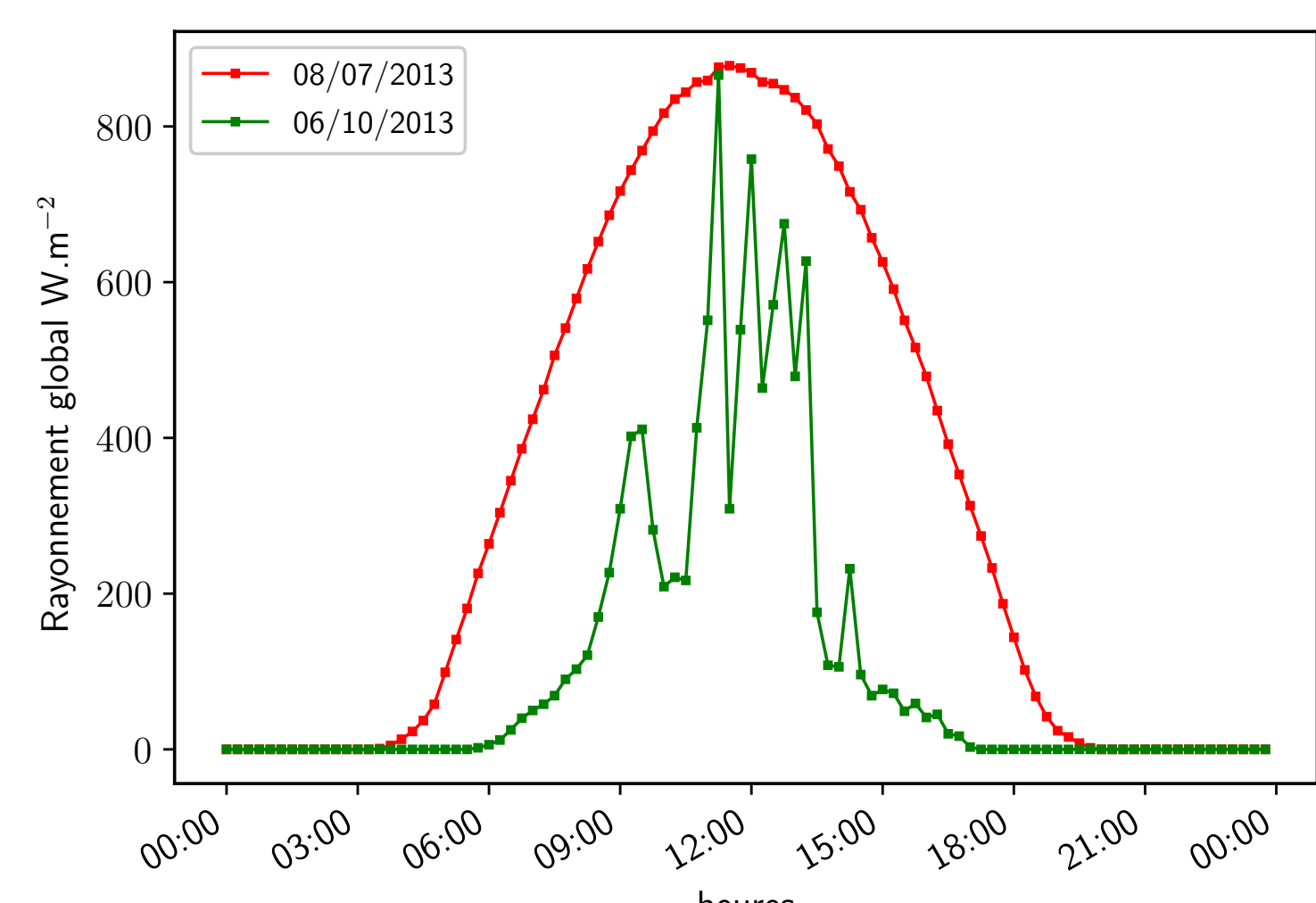
- ▶ La marche aléatoire en conduction dépend des propriétés thermiques de la plaque :  $\lambda, \rho, c_p$  et du pas de déplacement  $\delta$
- ▶ Utilisation de la librairie Star-Engine développée par la start-up Mésio-Star (<https://www.meso-star.com/fr/>)

$$T(\mathbf{x}_u, t) = \frac{h_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t)}{\lambda \delta_r + h_u^{rad}(t) + h_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t)} T_u^{cv}(t) + \frac{h_u^{rad}(t)}{\lambda \delta_r + h_u^{rad}(t) + h_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t)} T_u^{rad}(t) + \frac{\lambda \delta_r}{\lambda \delta_r + h_u^{rad}(t) + h_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t)} T(\mathbf{x}_u - \delta_r \mathbf{n}_u, t) + \frac{\varphi_u^s(t)}{\lambda \delta_r + h_u^{rad}(t) + h_u^{cv}(\mathbf{x}_u, t)}$$

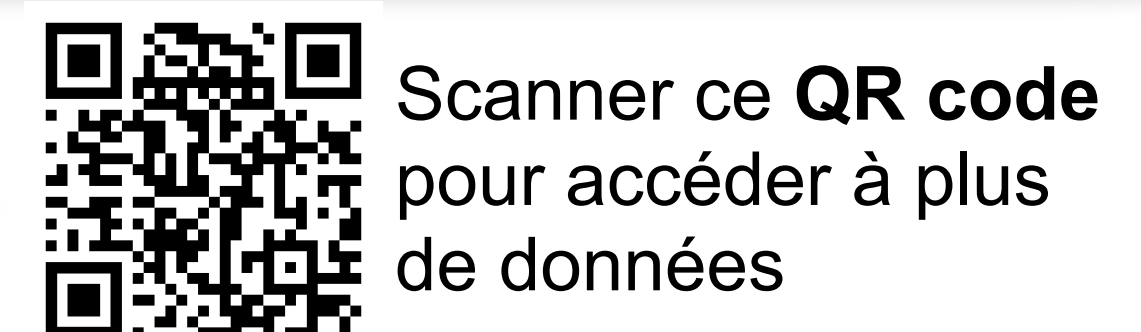
## Résultats

### Données d'entrée

- Sélection de 4 **matériaux** pour interpréter les résultats :
  - ▶ Bois
  - ▶ Béton
  - ▶ Titane
- ▶ « **PV équivalent** » : propriétés thermiques équivalentes aux 5 couches d'un panneau photovoltaïque usuel
- Données climatiques issues de la **plateforme expérimentale** du Cerema :
  - ▶ Sélection de 2 journées typiques : 06/10/2013 (partly cloudy) and 08/07/2013 (sunny)
  - ▶ Mesures du rayonnement global horizontal, de la vitesse du vent, de la température du sol et de la température de l'air



### Résultats des simulations



- Point sonde placé au centre de la face inférieure de la plaque
- Résultats pour la journée du 06/10/2013 and 08/07/2013
- ▶ Impacts **global** et **local** du rayonnement solaire sur les profils de températures
- ▶ Variations ponctuelles de températures dues aux **fluctuations du vent**

## Conclusions et Perspectives

- Le modèle simule le **bilan d'énergie en 3D** et en régime **transitoire**
- Intégration de la **complexité** et des nombreux **paramètres climatiques**
- **Preuve de concept** et **confrontations futures** aux données expérimentales
- Exploitation du modèle dans le cadre du **projet ANR PROOF** (ANR-19-CE22-0008)