



Journées d'Etude en Rayonnement Thermique  
du 5 au 6 Février 2009

## Transferts de chaleur couplés dans les parois composites basées sur le matériau bois

I. Traoré, A. Kaemmerlen, D. Lacroix, B. Monod, G. Jeandel

Nancy-Université



Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée  
LEMTA , Nancy Université , CNRS

- 1 Objectifs
- 2 Modèle de paroi multicouche
- 3 Etude des cas test en régime permanent
- 4 Conclusion et perspectives

# Plan

- 1 Objectifs
- 2 Modèle de paroi multicouche
- 3 Etude des cas test en régime permanent
- 4 Conclusion et perspectives

## Programme de recherche et d'expérimentation de l'énergie dans le bâtiment (PREBAT - ANR)

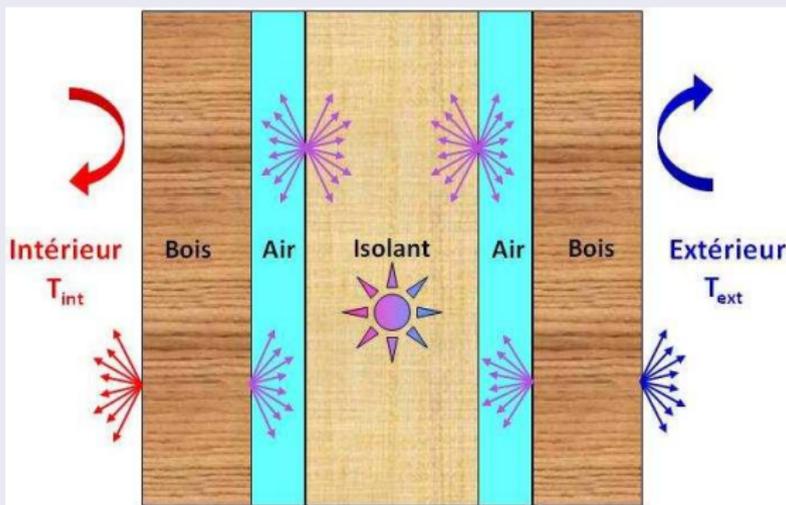
### **Projet : TRANSferts dans les parois des BATiments BOIS (TRANSBATIBOIS)**

- Comprendre et caractériser les phénomènes physiques (thermodiffusion, transferts non-Fickien, transferts au sein de la lame d'air, etc.)
- Intégrer ces phénomènes dans un outil d'aide à la conception permettant de simuler :
  - les transferts dans une paroi multicouche
  - la consommation énergétique de l'enveloppe en hiver
  - la température intérieure de l'enveloppe en été

# Plan

- 1 Objectifs
- 2 Modèle de paroi multicouche**
- 3 Etude des cas test en régime permanent
- 4 Conclusion et perspectives

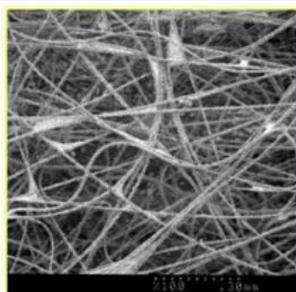
## Modèle de paroi multicouche



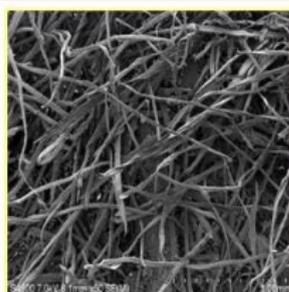
- conduction dans le bois massif
- conduction, convection et rayonnement dans l'air
- conduction et rayonnement dans l'isolant fibreux

## Caractéristiques thermiques des isolants du bâtiment

- Isolant en laine de verre ou de roche :  
 $\rho : 15 \text{ kg/m}^3$  et  $C_p : 800 \text{ J/(kg K)}$
- Isolant en laine de bois :  
 $\rho : 150 \text{ kg/m}^3$  et  $C_p : 2700 \text{ J/(kg K)}$
- Bois massif :  
 $\rho : 500 \text{ kg/m}^3$  et  $C_p : 1500 \text{ J/(kg K)}$



Laine de verre



Isolant à base de bois

## Equations gouvernant les phénomènes physiques

- Équations de Navier-Stokes dans l'air (écoulement bidimensionnelle laminaire sans modèle de turbulence) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v u)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial y} - \rho g \quad (3)$$

- Équation de conservation d'énergie dans tout le domaine :

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u C_p T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v C_p T)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S \quad (4)$$

## Couplage entre les modes de transferts

$$S = S_r + S_h \quad (5)$$

$$S_r = -\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_r \quad (6)$$

$$S_v = -h_v \vec{\nabla} \cdot \vec{g}_v \quad (7)$$

- Couplage avec l'Équation de Transfert Radiatif (ETR) :

$$\frac{dL_\lambda(\vec{\Omega})}{ds} = -(\kappa_\lambda + \sigma_\lambda)L_\lambda(\vec{\Omega}) + n_\lambda^2 \kappa_\lambda L_\lambda^0(T) + \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega'=4\pi} \sigma_\lambda P_\lambda(\Omega', \Omega) L_\lambda(\vec{\Omega}) d\Omega' \quad (8)$$

- Couplage avec l'équation bilan sur l'évaporation :

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot (\vec{g}_w + \vec{g}_v) + S_w \quad (9)$$

$$\vec{g}_w = -D_\phi \vec{\nabla} \phi \quad (10)$$

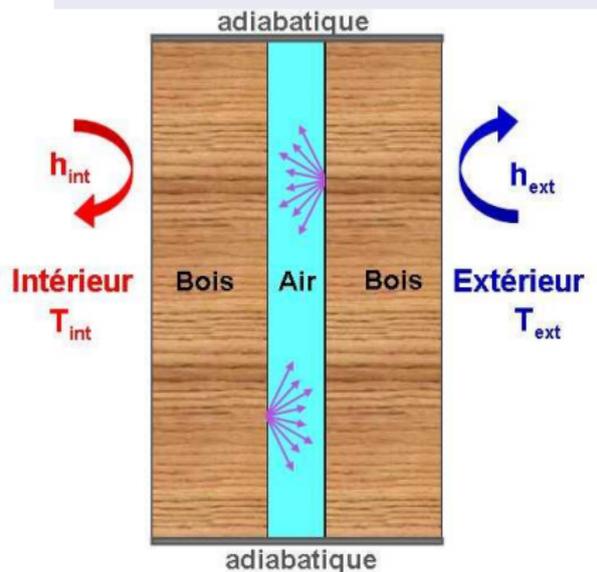
$w$  : teneur en eau

$\phi$  : humidité relative

# Plan

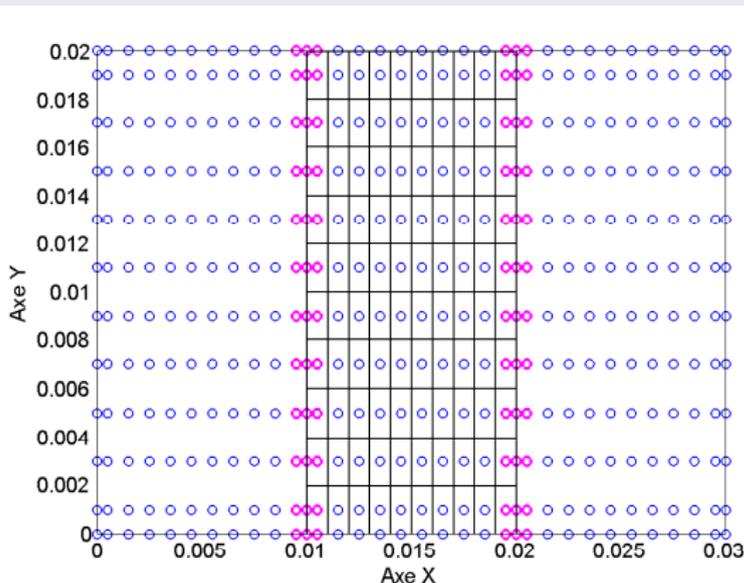
- 1 Objectifs
- 2 Modèle de paroi multicouche
- 3 Etude des cas test en régime permanent**
- 4 Conclusion et perspectives

## Lame d'air entre deux parois bois



- Hauteur des parois : 2 m
- Epaisseur lame d'air : 1 cm
- Epaisseur bois : 2 cm
- Parois grises :  $\epsilon_w = \epsilon_e = 0.5$
- Air : milieu gris non diffusant
- $T_{int} = 20^\circ\text{C}$  et  $T_{ext} = -5^\circ\text{C}$
- $h_{int} = h_{ext} = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- Géométrie 2D

## Maillage du domaine

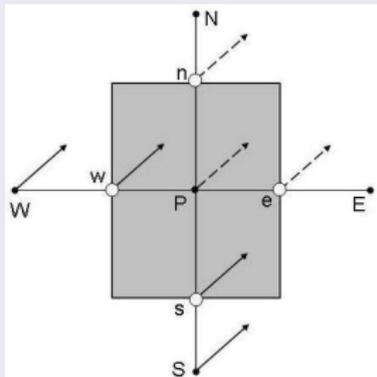


- Grandeurs scalaires (températures et pressions) : centre des mailles
- Grandeurs vectorielles (vitesses) : faces des cellules
- Hypothèse du contact parfait : continuité du flux aux interfaces

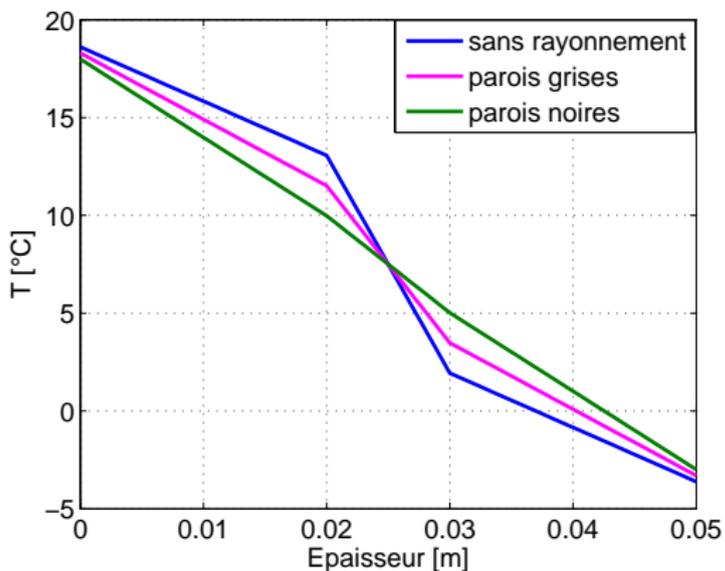
## Méthode de résolution des équations

Méthode des volumes finis (MVF) :

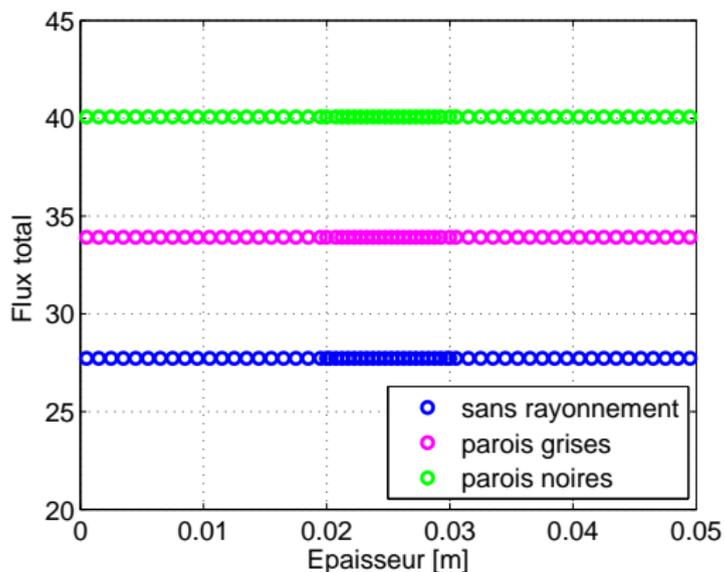
- Discrétisation spatiale  $(x,y)$  :  $(20+20+20) \times 60$
- Discrétisation angulaire  $(\theta, \phi)$  :  $4 \times 8$
- Dynamique : schéma QUICK associé à l'algorithme SIMPLER
- Radiatif : schéma STEP avec des conditions aux limites radiatives de type diffuses aux parois



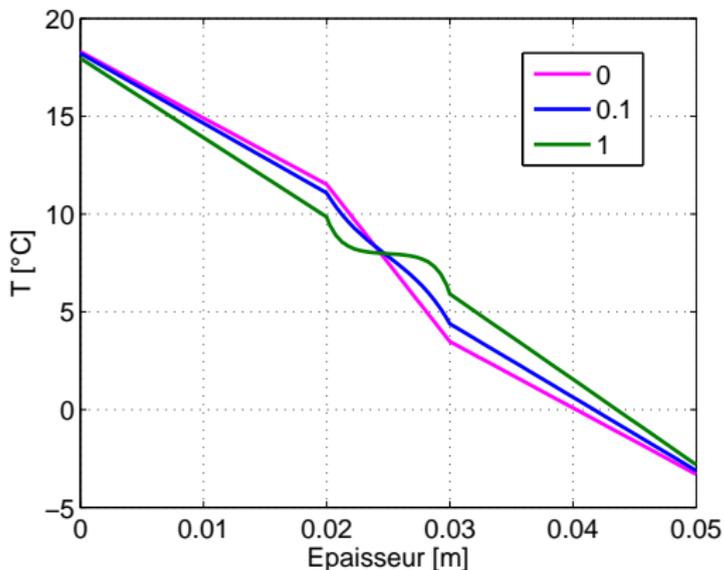
## Evolution de la température pour différents cas



## Evolution du flux total ( $\text{W/m}^2$ ) pour différents cas

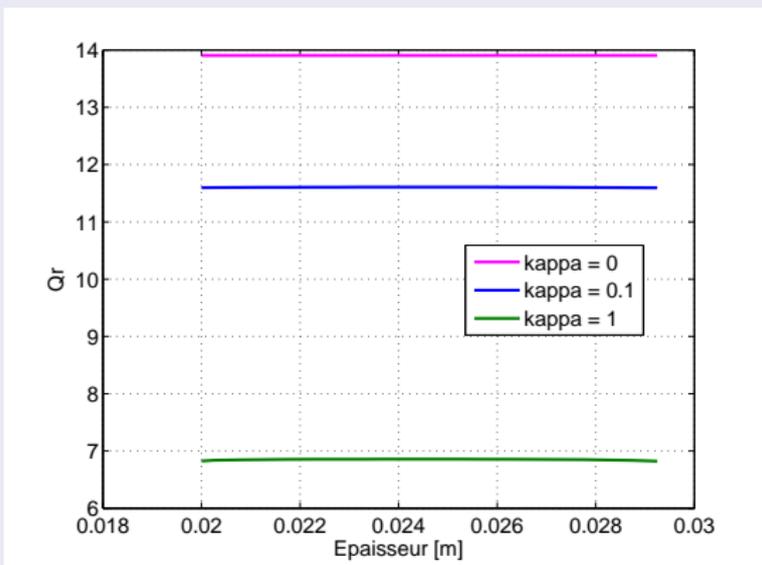


## Température pour différentes valeurs de $\kappa$ ( $\text{m}^{-1}$ )



cas des parois grises (émissivité 0.5)

## Flux radiatif (W/m<sup>2</sup>) dans le fluide

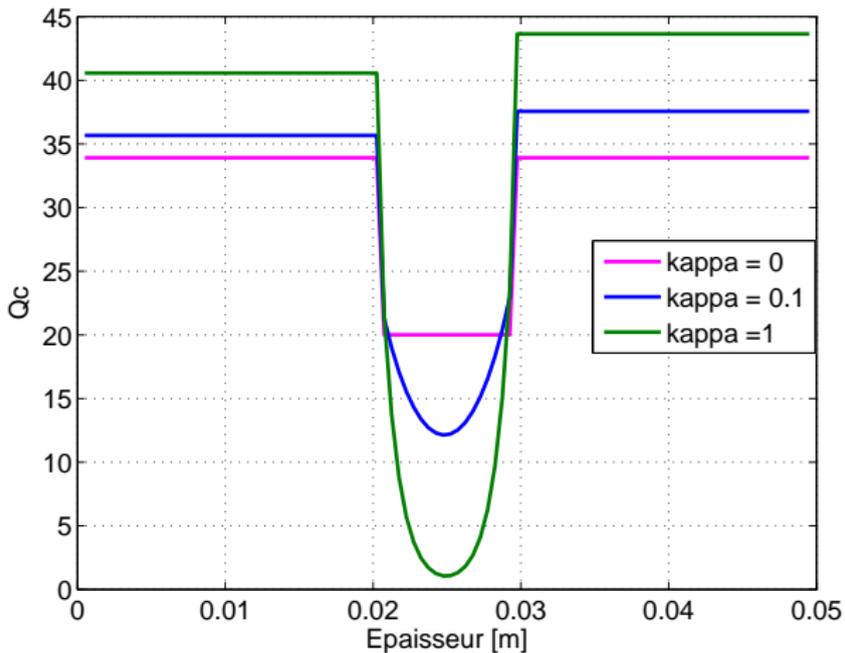


Pour  $\kappa = 0$  :

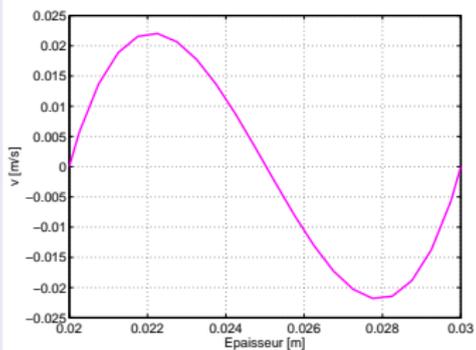
$$Q_r = \frac{\sigma(T_w^4 - T_e^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_e} - 1} \quad (\text{analytique}) \quad (11)$$

A.N :  $Q_r = 13.6 \text{ W/m}^2$

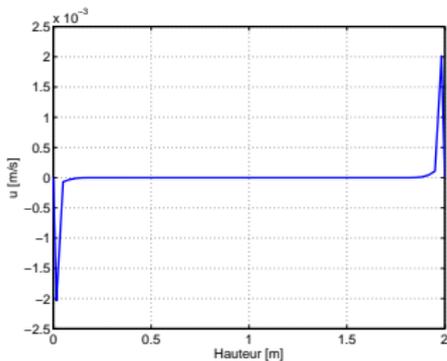
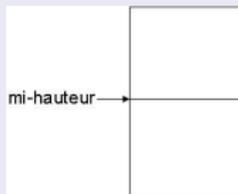
## Flux conductif ( $\text{W/m}^2$ ) (parois grises)



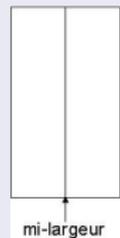
## Champ de vitesse dans le fluide



composante verticale de la vitesse



composante horizontale de la vitesse



# Plan

- 1 Objectifs
- 2 Modèle de paroi multicouche
- 3 Etude des cas test en régime permanent
- 4 Conclusion et perspectives**

## Perspectives

- Résolution des équations en régime instationnaire en tenant compte de l'isolant fibreux dans la multicouche
- Couplage avec le transfert de masse (via le code du LERMAB) en tenant compte de l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques
- Comparaison des résultats avec le logiciel WUFI
- Validation des résultats de simulation de transfert de chaleur et de masse dans l'enveloppe avec les mesures
- Étude de sensibilité des paramètres

Merci pour votre attention