

Introduction au problème du rayonnement dans les transferts couplés

Mouna EL HAFI ⁽¹⁾ et Pascal BOULET ⁽²⁾

(1) **RAPSODEE** – Ecole des Mines d’Albi

(2) **LEMETA** – Université de Lorraine



Les objectifs de cette journée thématique

● **Sommaire**

Pour cette introduction, qqs exemples, lancer la discussion (illustrations, méthodes numériques, csqs sur les échanges ... et sur les coûts informatiques...)

Pour la journée : des illustrations variées (fours, combustion, récepteurs solaires...)

Des « focus » sur des points bloquants (coût de calcul avec les gaz, ou la MMC)

● **Attendus et objectifs de la journée**

Les questions à se poser, les méthodes déjà testées, ce qui fonctionne...

Echanger sur notre expérience du problème

Discuter des difficultés particulières

Susciter des échanges et des collaborations

Couplage rayonnement - conduction

- Résoudre l'équation de l'énergie

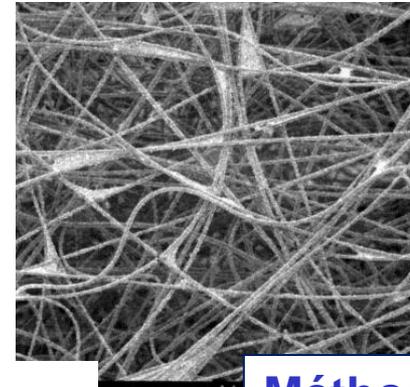
$$\text{div} (Q_c + Q_r) = 0$$

- Div(Qr) d'après l'ETR

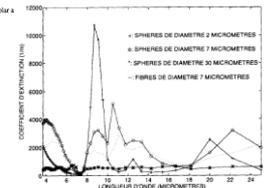
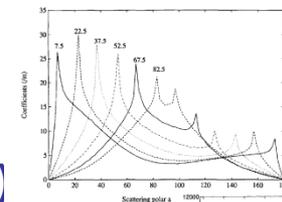
$$\frac{dL_\lambda(\Delta, s)}{ds} = \sigma_{a\lambda} L_{o\lambda}(T) - (\sigma_{a\lambda} + \sigma_{s\lambda}) L_\lambda(\Delta, s) + \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega' = 4\pi} \sigma_{s\lambda} P_\lambda(\Delta' \rightarrow \Delta) L_\lambda(\Delta', s) d\Omega'$$

Problème de base assez simple... 1D stationnaire... mais des propriétés radiatives complexes (diffusion fortement anisotrope)

+ un couplage qui peut devenir fort à plus haute température si les indices du milieu sont affectés par la température et que l'on a des variations importantes



Méthodes vues:
Multiflux, DOM,
MVF, ...



Version spéciale du coefficient d'extinction pour un milieu composé d'un type de particules. Cas traité: fibres de diamètre 7 µm, sphères de diamètre 2, 7 et 30 µm.

Couplage rayonnement – convection / transfert de chaleur et masse

● Rayonnement capital!

Une difficulté : l'évaporation qui modifie les diamètres de gouttes donc les propriétés radiatives (Mie). Couplage fort en extinction, faible en écran radiatif. Source spectrale complexe. Milieu semi-transparent absorbant, diffusant anisotrope et hétérogène.

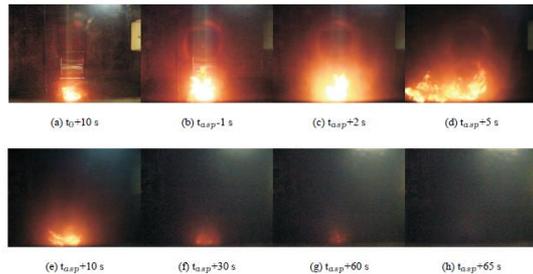


Figure 2: Fire suppression for early application : test ewm_14

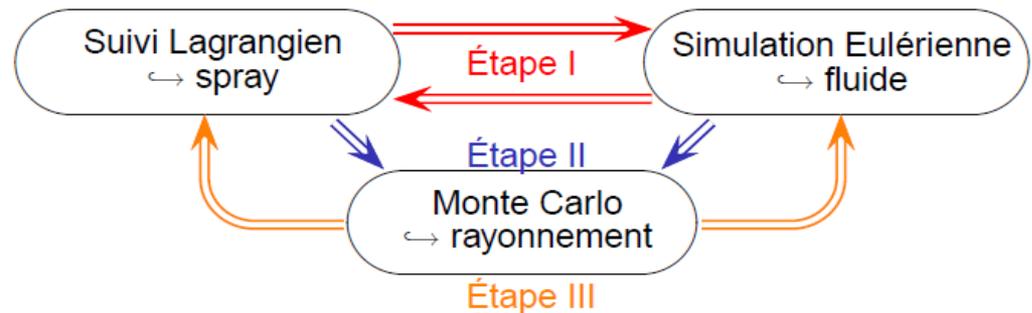
Application extinction

Approche de Collin (2006)



Ecran radiatif

Méthodes vues :
P1, MDA, MVF,
MMC,...

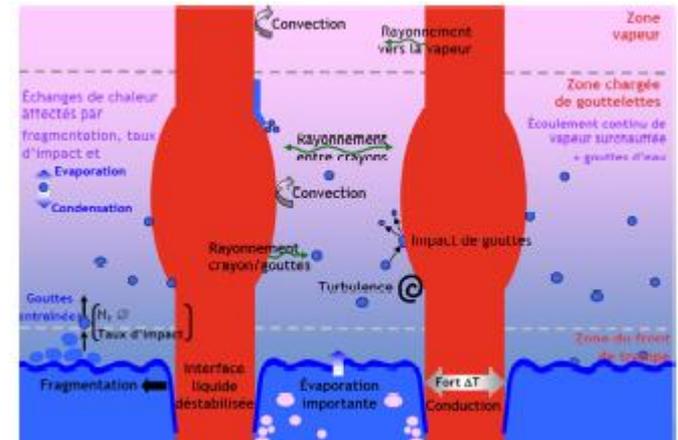


Couplage rayonnement – convection / transfert de chaleur et masse

● Rayonnement ... ici un des modes d'échange, souvent négligé

Difficulté: présence de vapeur et gouttes (non gris, absorbant-diffusant) complexité de l'écoulement multiphasique, haute température et forte évaporation ... temps de calculs contraints.

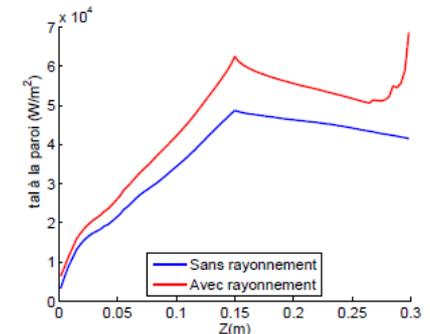
Solutions testées : P1, MDA, IDA
Réduction à 6 bandes (Gérardin, 2012)



Des temps de calculs augmentés... pour un effet limité...

Optimisation du module radiatif et du nb de boucles.

Interpolation des propriétés radiatives	Résolution P ₁	Lancer de rayon		Résolution IDA		Temps total de calcul
		Parois	Milieu	Parois	Milieu	
1.61s	4.66s	113.25s	612.23s	64.06s	424.81s	1220.62s



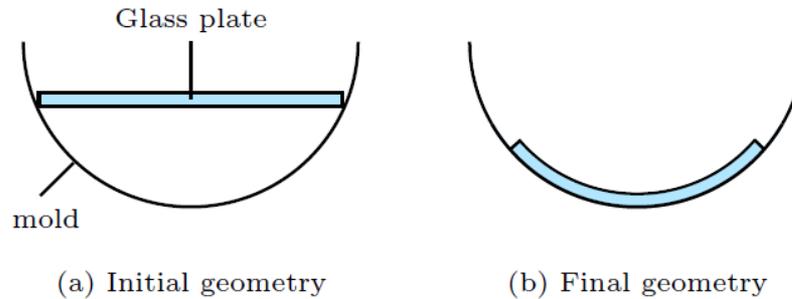
Flux extrait à la paroi : influence du rayonnement

Couplage rayonnement – conduction, CLs convectives + Thermomécanique!

● Variations spectrales fortes et dépendance en température

Temps de calculs potentiellement élevés et couplage fort!

B. Le Corre (2013)



Méthodes vues :
Rosseland,
MVF, MMC,...

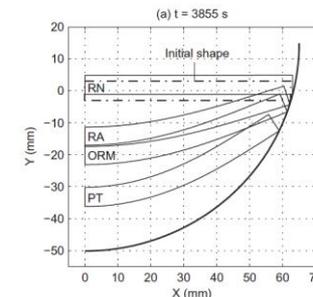
Mise en équations

$$\rho_m C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathcal{Q}_r + \mathcal{Q}_c)$$

+ Rayonnement par Rosseland ou... MMC (ORM) + Méca

10 bandes spectrales

Methods	CPU times (min)
Predefined temperature	24
Radiation neglected	25
Rosseland approximation	27
Monte Carlo	185

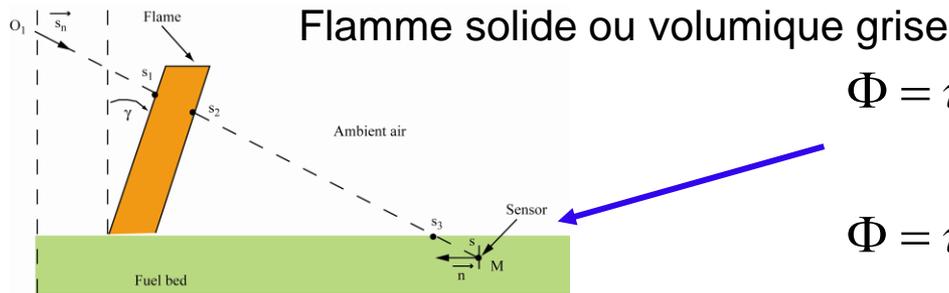


Couplage rayonnement – convection / transfert de chaleur et masse

● Ecoulement réactif, instationnaire, géométrie complexe

Des approches les plus simplifiées....

Méthodes vues :
de F_{ij} à MMC,...



Flamme solide ou volumique grise

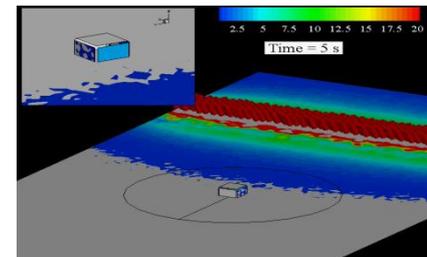
$$\Phi = \tau \epsilon \sigma T_f^4 S_f F_{f \rightarrow M} \quad ?$$

$$\Phi = \tau 4 \pi \kappa_f \frac{\sigma T_f^4}{\pi} V_f \mathfrak{S}_{f \rightarrow M} \quad ?$$

aux plus complexes....

Petit monde avec effets à distance par lancers de rayons

... mais flamme grise



Simulation d'un feu se propageant dans du chêne Kermès à $V_p = 40 \text{ m.min}^{-1}$

cf IUSTI

Des applications complexes...

● Difficultés possibles liées aux propriétés radiatives

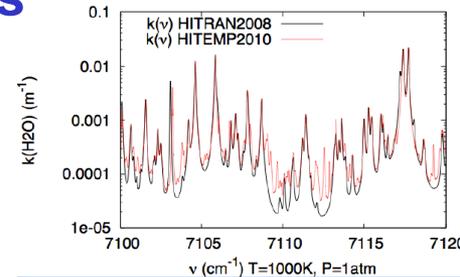
Milieux éventuellement anisotropes, hétérogènes

Absorption, émission, diffusion, diffusion anisotrope

Variation spectrales, milieux non gris? Combien de bandes?

Propriétés affectées par la température

Phénomènes d'évaporation, réactions, ou autre termes sources ou puits

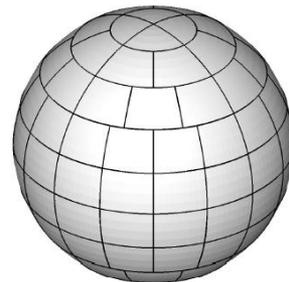


Quel niveau de complexité garder? Que peut-on simplifier?

● Maillages spécifiques au rayonnement

Discrétisation spatiale, directionnelle, spectrale

... et compatibilité ou interpolation avec la discrétisation pour les autres modes de transfert



Le problème : précision vs temps de calcul et capacité informatique

- **Couplage fort ou faible?**

« one-way » ou « two-way » (rayonnement affecte énergie et réciproquement)

- **Quel niveau de modèle radiatif?**

De Rosseland ou même « σT^4 » à MMC... toute une palette de solutions!

- **Mise à jour à chaque itération? « Recettes » numériques?**

Ou au contraire toutes les X itérations sur l'équation de l'énergie

Autres méthodes pour accélérer la convergence (solution approchée utilisée pour initialisation, autres...)