

MODÈLE DE PROPAGATION D'UN FEU DE FORÊT EN LOW MACH NUMBER

Sommaire

2

- Introduction
 - ▣ Présentation du modèle
 - ▣ Du code de calcul
- Problématique
- Solutions
 - ▣ Identifier la formulation de l'équation de pression dans FF
 - ▣ Stratégie de passage vers un modèle « Low Mach »
- Conclusion

Introduction

3

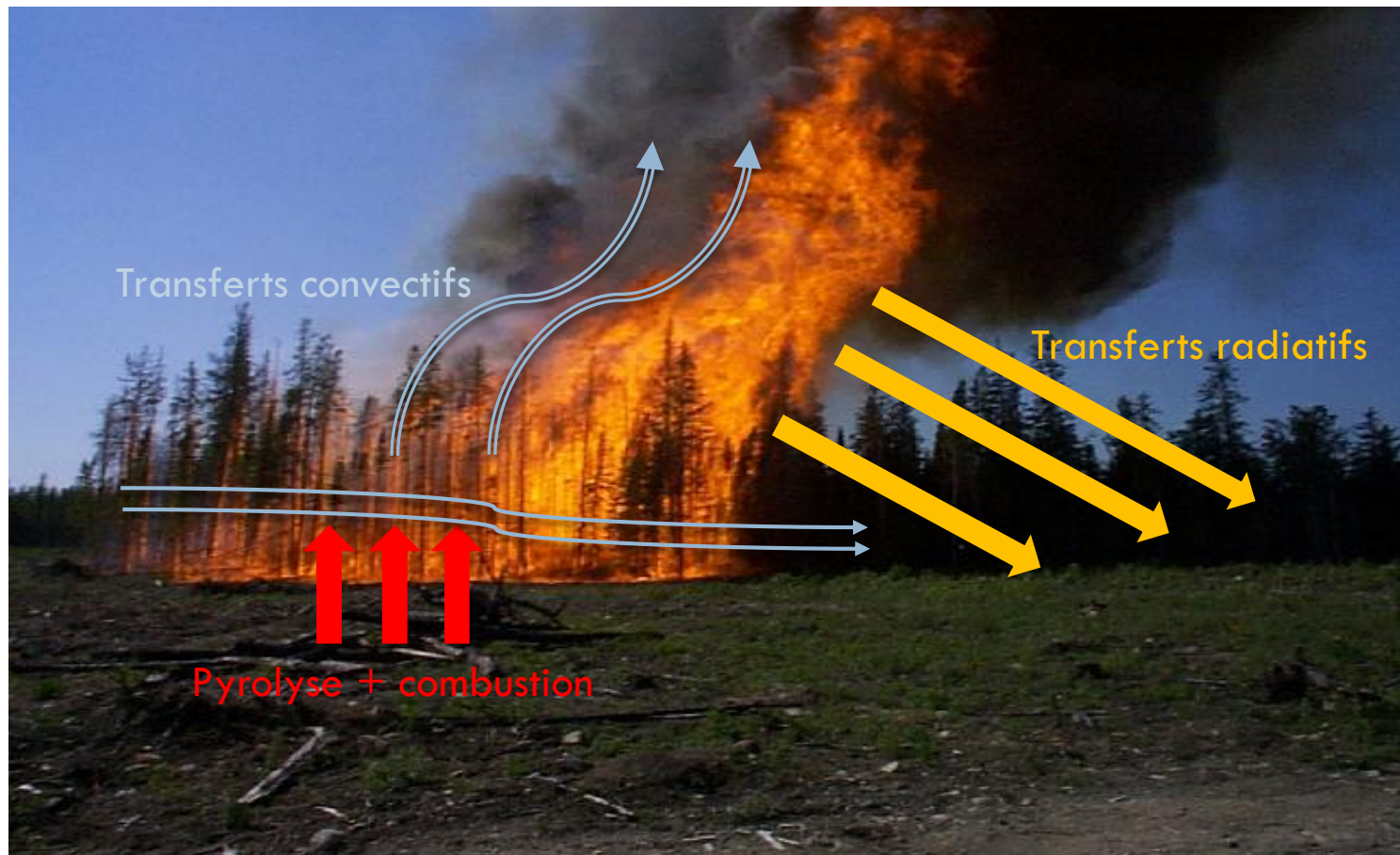
□ **Présentation du modèle**

- Modèle multiphasique basé sur les travaux de Grishin
- Représenter la physique complète d'un feu se développant dans une strate végétale

Introduction

4

□ Présentation du modèle



Introduction

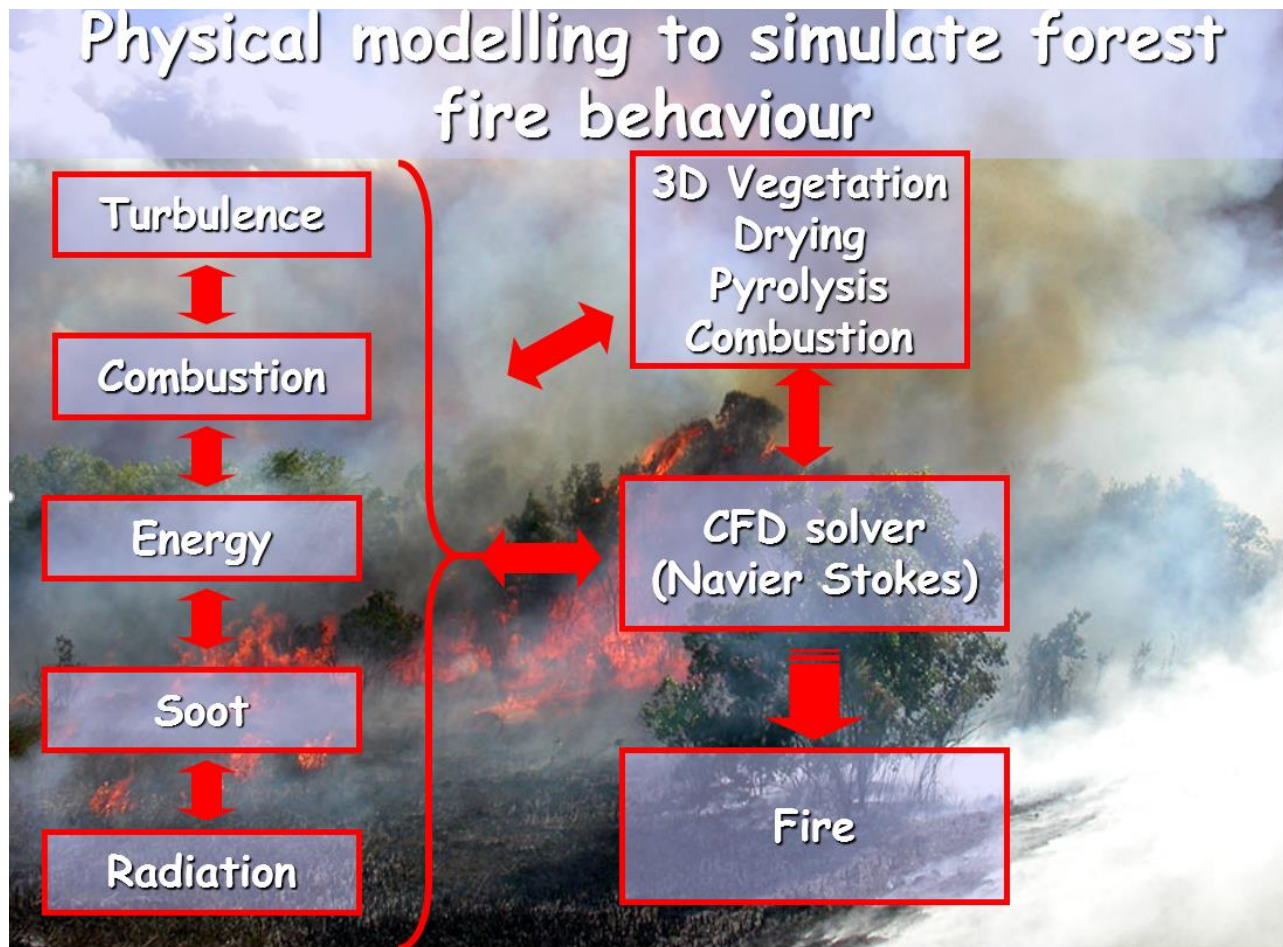
5

□ Code de calcul

- Basé sur les codes de CFD OpenFOAM et FireFOAM
- Intègre les phénomènes physiques :
 - Equations de Navier-Stokes
 - Transport des espèces
 - Echanges thermique
 - Combustion
 - Dégradation végétale (déshydratation et pyrolyse)
- Formulation : Full compressible

Introduction

6



Problématique

7

- ❑ Afin de correctement simuler les différents processus physique :
 - ❑ Résolution fine i.e longueur d'extinction du rayonnement dans la strate végétale
 - ❑ Δx une fraction de $\frac{4}{\alpha_s \sigma_s}$
- ❑ Résolution fine + Δt ($\approx 10^{-4} s$) adapté au full compressible ($CFL \approx 0,1$) $\Rightarrow$ possibilités d'apparition d'ondes de pression
- ❑ Passage vers une formulation Low Mach sur l'équation de pression

Solutions

8

□ Identifier la formulation de l'équation de pression dans FireFOAM

D'après l'équation de Navier-Stokes, la décomposition PISO et l'équation de continuité, la formulation doit être la suivante :

$$\text{Termes source de masse} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} \nabla p) = \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} [H]) + \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} \bar{\rho} g) + \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$$

- Avec a_{ii}^{-1} l'inverse de la diagonale de la matrice issue de la discrétisation de l'équation de quantité de mouvement dans FireFOAM et $[H]$ la matrice des éléments non diagonaux.

Solutions

9

□ Identifier la formulation de l'équation de pression dans FireFOAM

▣ Cependant, la formulation donnée dans la FireFOAM est la suivante :

$$gh\alpha_q \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\rho}{RT} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{RT} - \frac{\bar{\rho}}{RT} gh \right) + \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} [H]) - \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} gh \nabla \bar{\rho}) = \nabla \cdot (\bar{\rho} \{a_{ii}^{-1}\} \nabla (p - \bar{\rho} gh)) + \text{termes source de masse}$$

- Les termes en noirs sont les termes que l'on avait précédemment dans l'équation de continuité sauf $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ qui n'apparaît pas.
- Les termes en rouges sont ont été rajouté dans FireFOAM, après recombinaison de ceux-ci et réinjection de l'équation d'état « full compressible » $\rho = \frac{p}{RT}$ on obtient :

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} = \{a_{ii}^{-1}\} \bar{\rho} gh \Delta \bar{\rho}$$

Solutions

10

- ❑ **Identifier la formulation de l'équation de pression dans FireFOAM**
 - ❑ Introduction de diffusion artificielle
 - ❑ Dans le but de lisser les ondes de pression
 - ❑ Or rajout de l'équation d'état donc comportement full compressible ➡ apparition des ondes de pression
 - ❑ Nécessité de passer sur une formulation Low Mach

Solutions

11

□ Stratégie de passage vers un « low Mach »

□ Impossibilité de supprimer simplement les termes rajoutés dans FireFOAM.

□ On supprime $gh\alpha_q \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\rho}{RT} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{RT} - \frac{\bar{p}}{RT} gh \right)$

Afin de faire disparaître la compressibilité

□ On crée la matrice en ajoutant le terme en implicite afin de guider le solveur vers une solution pour laquelle la convergence est aisée. La matrice est dès lors bien conditionnée

```
fvm::ddt(psi_, p_rgh)
```

□ On soustrait ce même terme en explicite cette fois :

```
fvc::ddt(psi_, p_rgh)
```

□ et on ajoute $\frac{\partial \bar{p}}{\partial t}$ sans utiliser l'équation d'état des gaz parfait sous la forme :

$$\text{Avec } \psi = \frac{\rho}{p}$$

$$\text{et } \rho = \frac{p_{ref}}{RT}$$

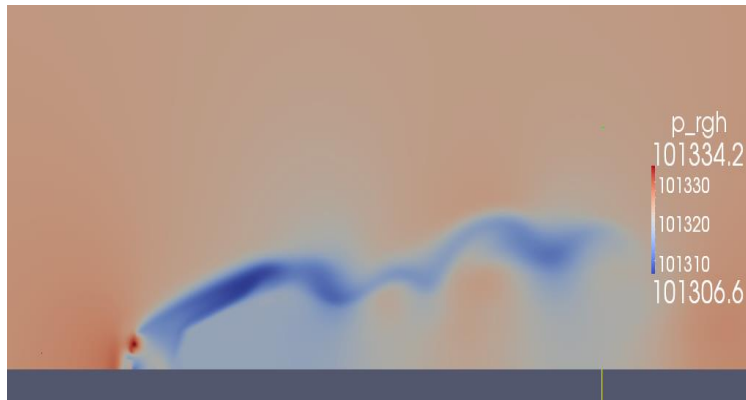
```
fvc::ddt(alpha_g, rho)
```

Solutions

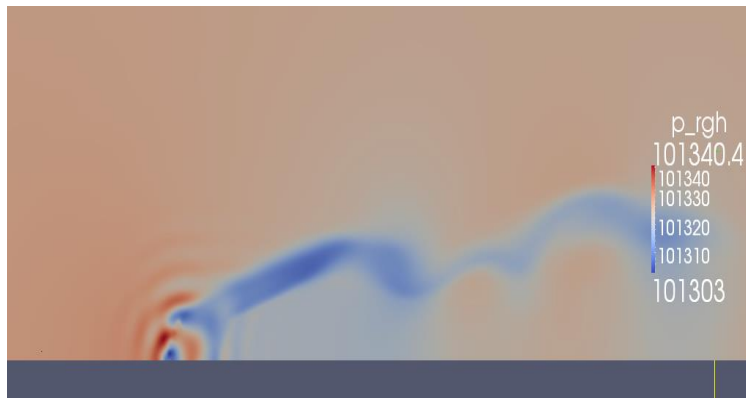
12

□ Stratégie de passage vers un « low Mach »

Voici une comparaison des deux solveurs :



Formulation Low Mach



Formulation « full compressible »

$$\alpha_s \sigma_s = 16 m^{-1}$$

$$\Delta x = 5.10^{-2} m$$

$$\Delta t = 1.10^{-4} s$$

$$t = 12 s$$

Conclusions

13

- ❑ Maillage fin + pas de temps « acceptable » ➡ Possibilité d'apparition d'ondes de pression
- ❑ Diffusion artificielle pas suffisante
- ❑ Formulation de l'équation de pression dans FireFOAM
- ❑ Formulation de l'équation de pression ➡ $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} \neq \text{implicite}$
 - ❑ Matrice mal conditionnée
 - ❑ Nécessité de passer par la méthode numérique présentée pour contourner le problème