

Simulation numérique d'une flamme turbulente
dominée par les forces de gravité avec un modèle de
combustion de type flammelette instationnaire et un
modèle de rayonnement non-gris

Van Minh Le , Alexis Marchand, Rui Xu, Thomas Rogaume, Franck Richard,
Jocelyn Luche, Arnaud Trouvé



Introduction

- ❑ Objectif général: Développer et améliorer la simulation numérique des flammes turbulentes représentatives des problèmes d'incendie.

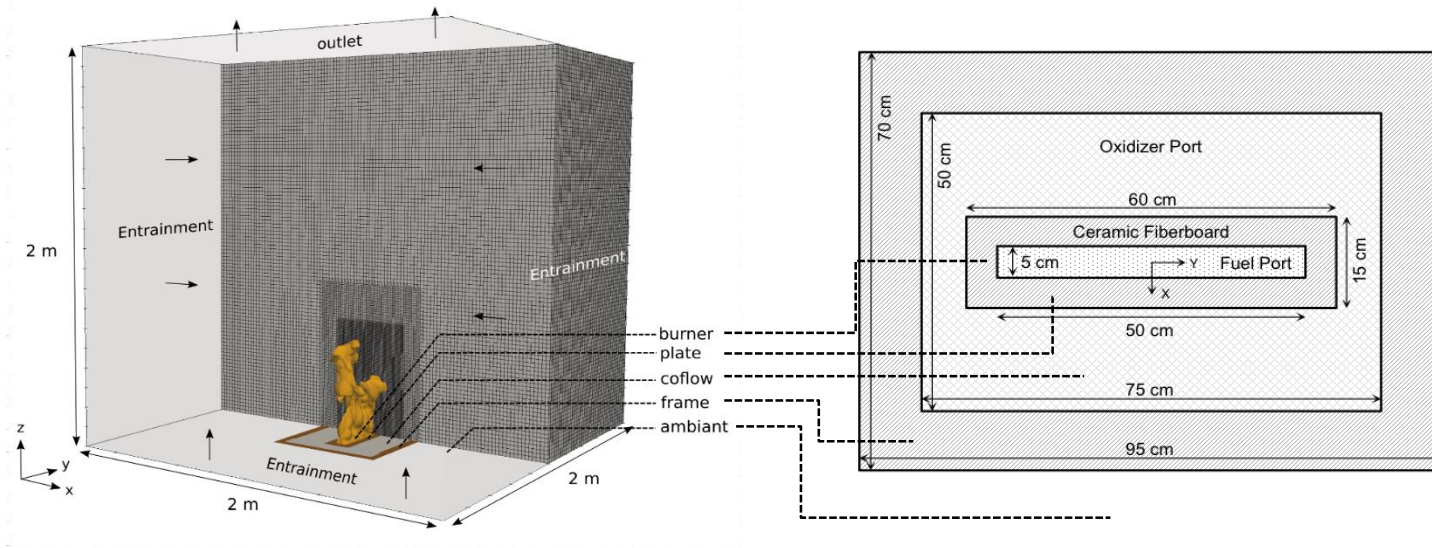
- ❑ Objectif en détail:

- Une meilleure description de la chimie de la combustion
- Capturer des phénomènes d'allumage et d'extinction à cause de la perte de chaleur radiative.

Le mécanisme de chimie
cinétique détaillé

Flammenette instationnaire

Configuration expérimentale



❑ Carburant

- Méthane
- 1 g/s (6 cm/s)

❑ Co-courant

- Air pur (21% O₂ et 71% N₂)
- 85 g/s (25 cm/s)

❑ Flamme

- Hauteur = 50 cm
- la vitesse de dégagement de chaleur = 50 kW

❑ Mesure

- Dans le cas l'air dilué par N₂, mesurer le taux de O₂ quand la flamme est éteinte

- ❑ Target experiment for MaCFP (<http://www.iafss.org/macfp/>)

Configuration numérique

Simuler le brûleur en ligne turbulent dans FireFOAM utilisant l'approche LES

❑ Taille de domain: $2 \times 2 \times 2$ ($m \times m \times m$)

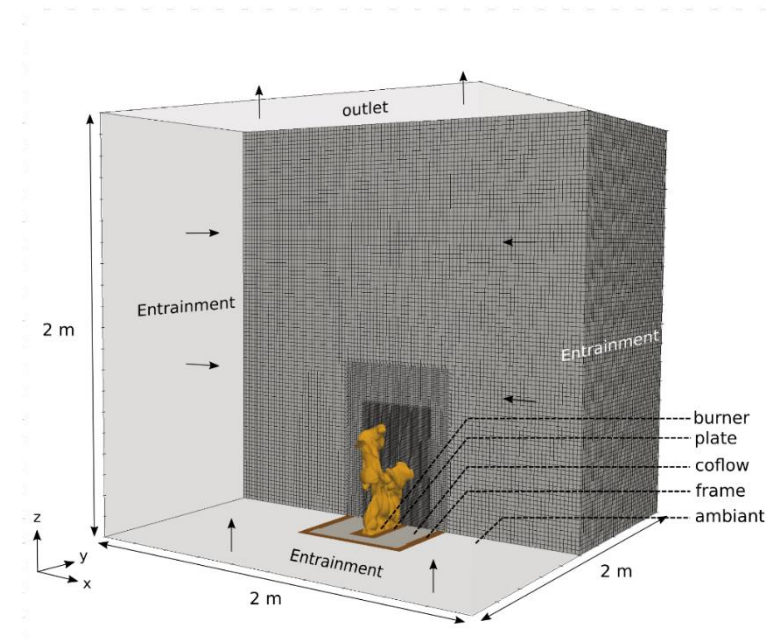
❑ Le maillage: 3 blocs

○ $\Delta x_1 = 4.167 \text{ mm}$

○ $\Delta x_2 = 8.333 \text{ mm}$

○ $\Delta x_3 = 16.67 \text{ mm}$

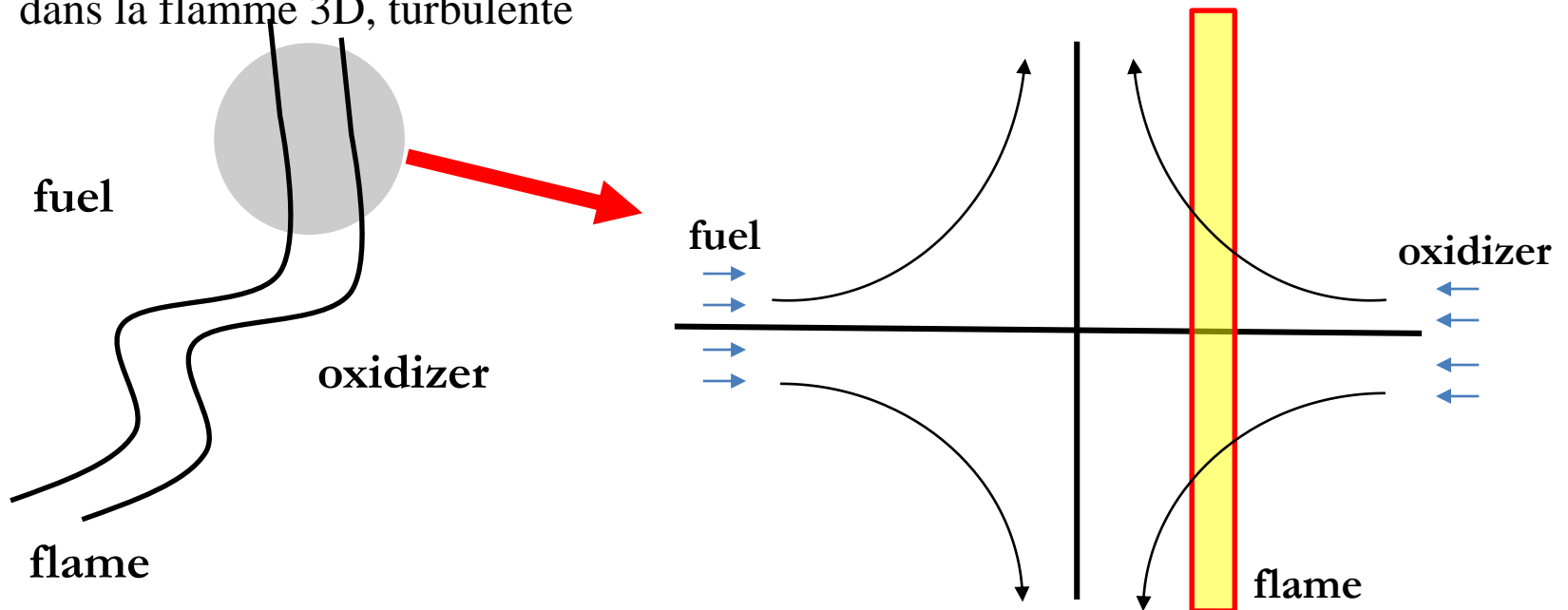
❑ Le nombre de maillage total: 4.4 millions



Brûleur en ligne turbulent

Modèle de combustion: le modèle de flamelette instationnaire

- ❑ Si on connaît la structure de flammelette 1D, laminaire => On va connaître localement la structure de flamme 3D, turbulente
- ❑ Utilisez un solveur spéciale comme: Cantera, CHEMKIN, libOpenSMOKE, **FlameMaster**
- ❑ Générer la structure de flammelet, capturer les des phénomènes d'extinction / d'allumage à cause de la perte de chaleur radiative. Ramener cette information dans la flamme 3D, turbulente



3D turbulent flame

1D laminar flame = Flammelette

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire

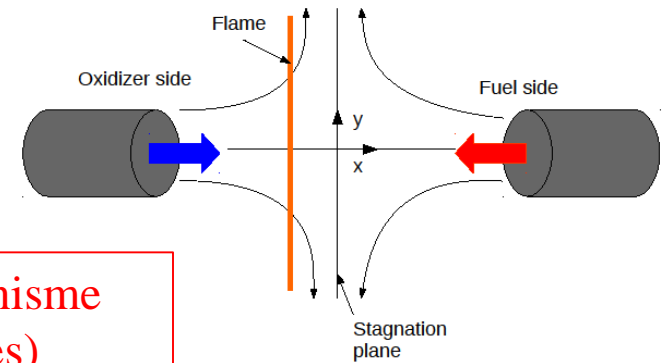
Équation de transport d'espèces:

$$\rho \frac{\partial Y_k}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho \chi \frac{\partial^2 Y_k}{\partial Z^2} - \dot{\omega}_k = 0$$

Terme instationnaire

La loi de Arrhenius, le mécanisme chimique GRI 3.0 (53 espèces)

1D: Espace-Z, la fraction de mélange



La flamme laminaire de diffusion à contre-courant

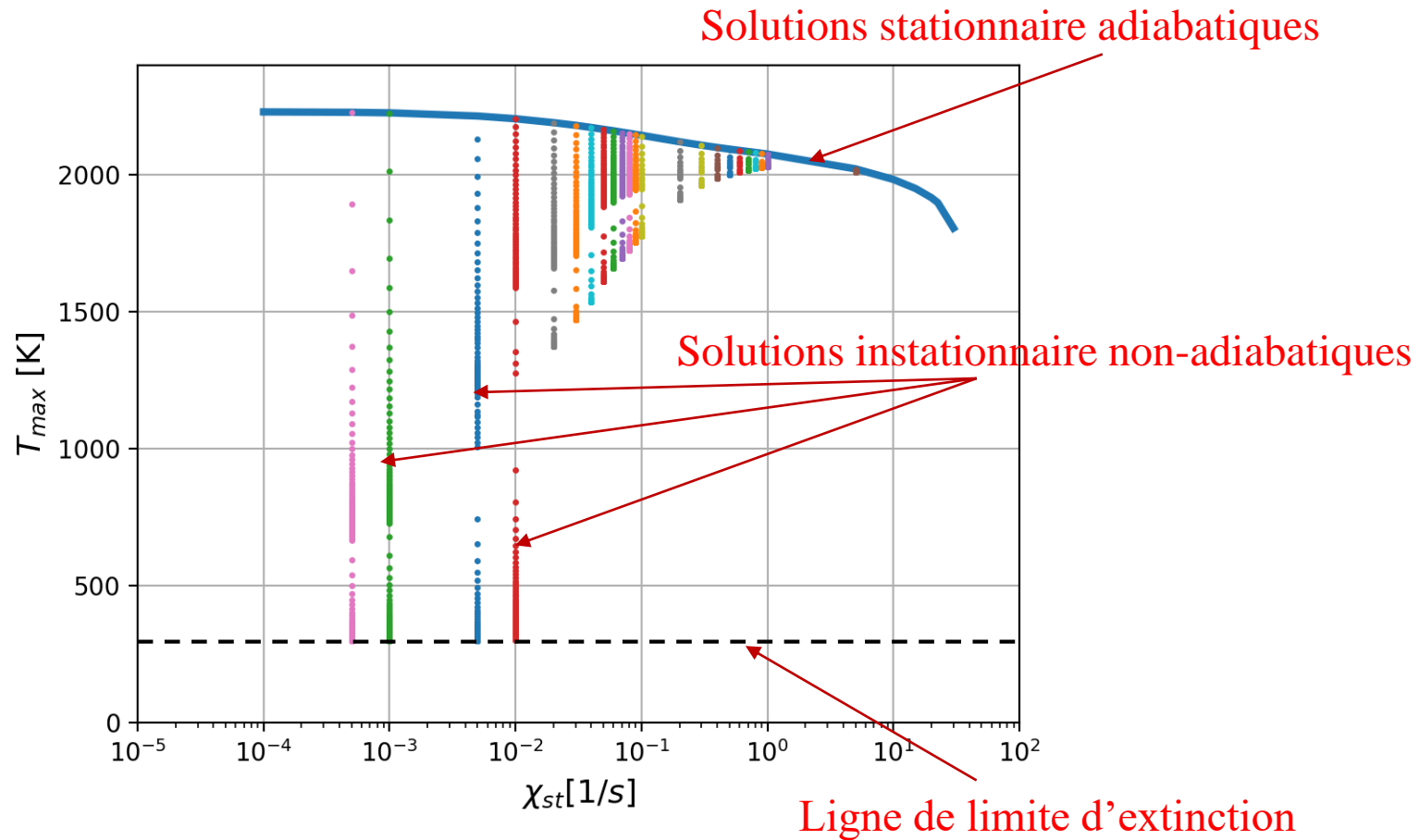
Équation de transport d'énergie:

$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho \chi \left(\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \frac{1}{C_p} \frac{\partial C_p}{\partial Z} \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + \frac{1}{C_p} \sum_{k=1}^n h_k \dot{\omega}_k - \dot{Q}_{rad} = 0$$

→ Solution $q(Z, \chi_{st}, \Delta h)$

Gris, WSGG 25 bandes

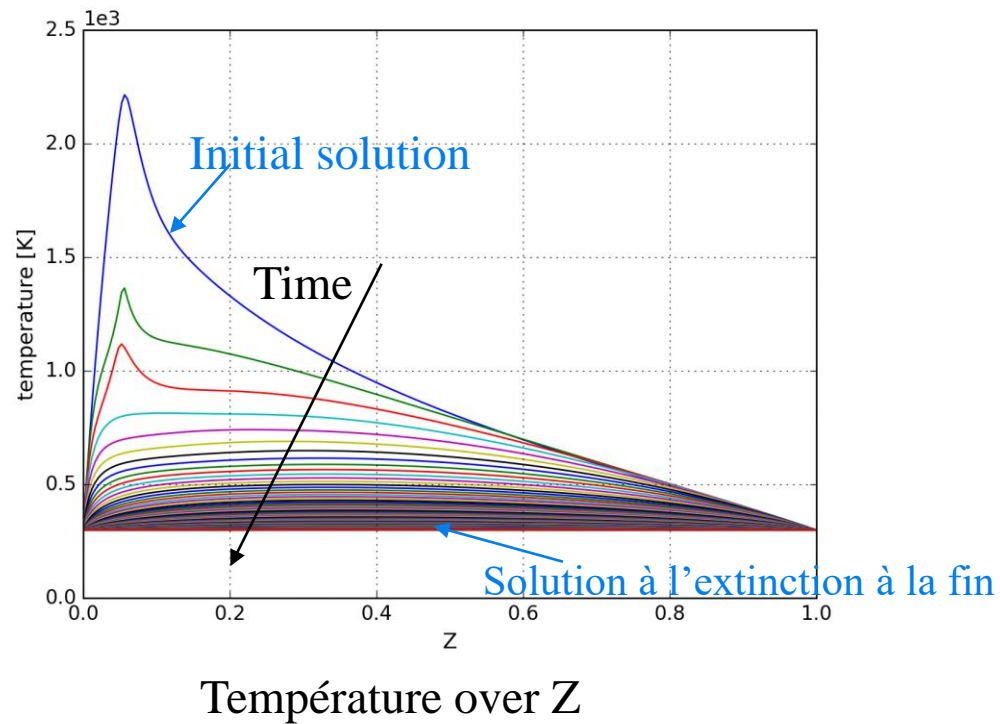
Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire



Méthane - Air: 21 % O₂ ---- 71 % N₂

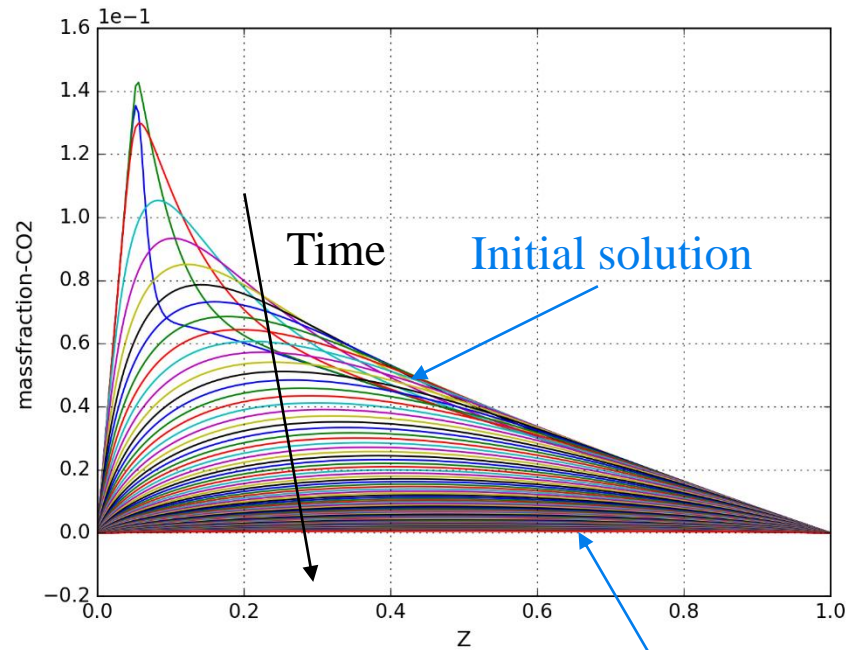
Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire

À la valeur faible de χ_{st}



Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire

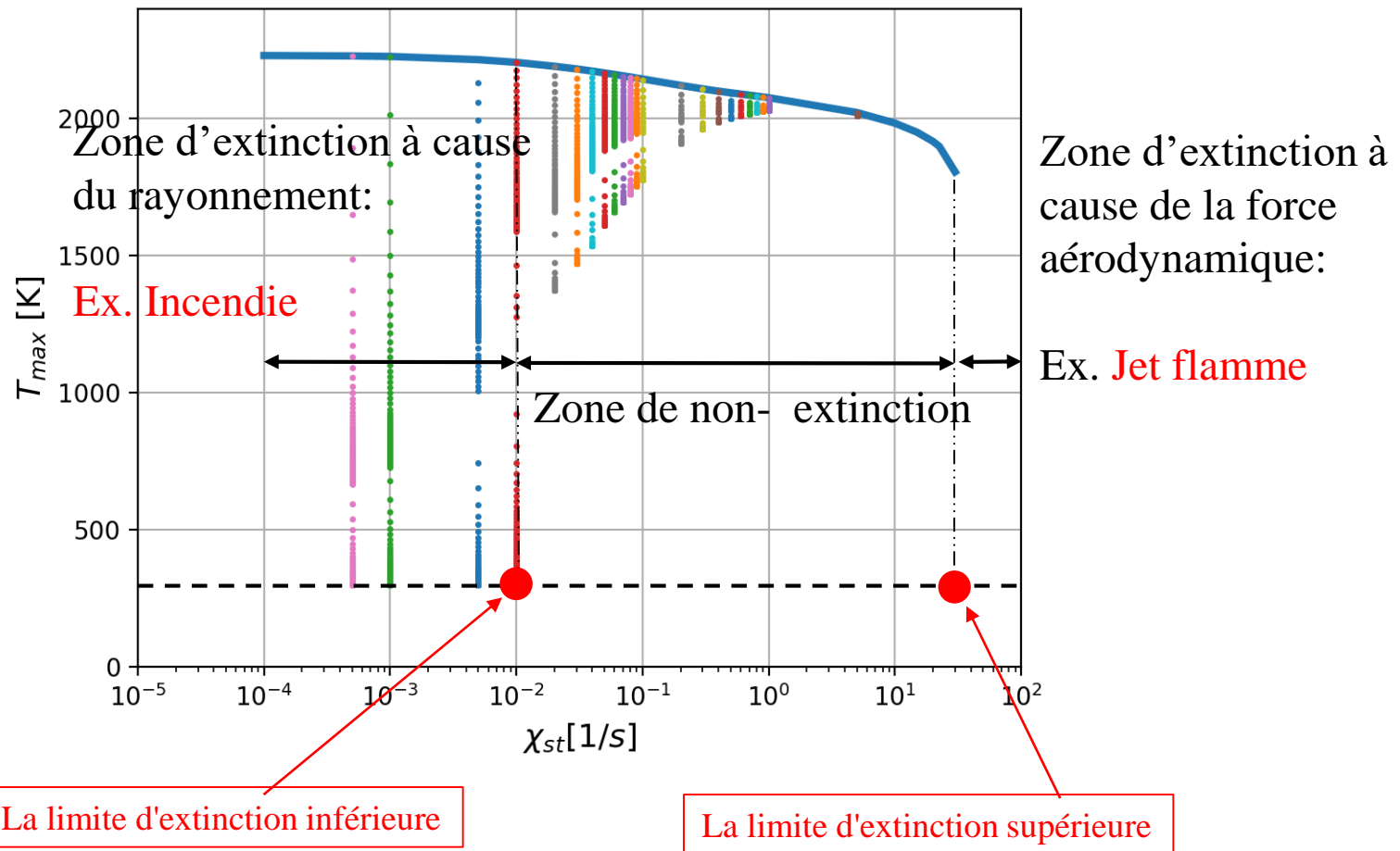
À la valeur faible de χ_{st}



Fraction de masse de CO₂

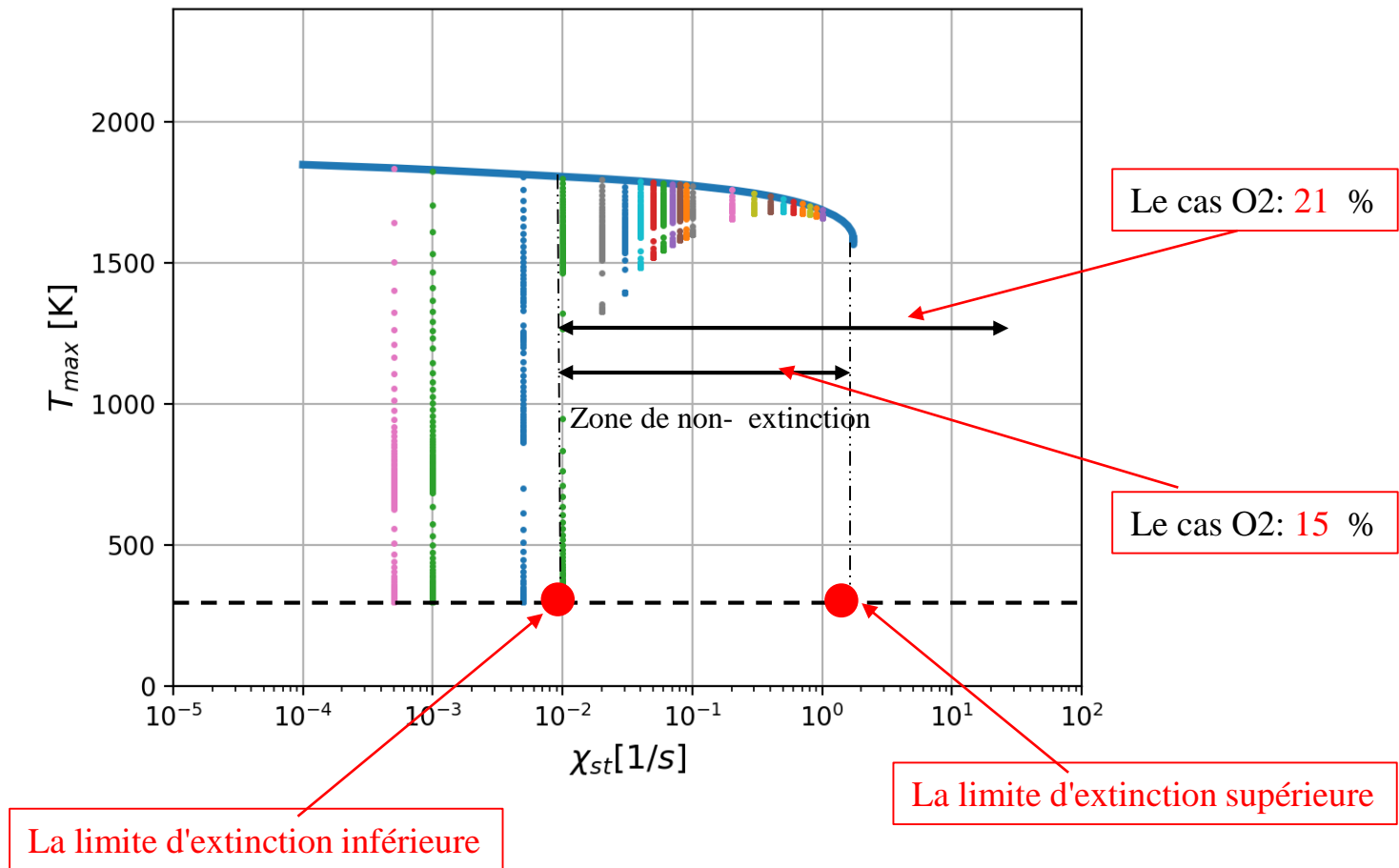
Solution à l'extinction à la fin,
Mélange pur, non-flamme

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire



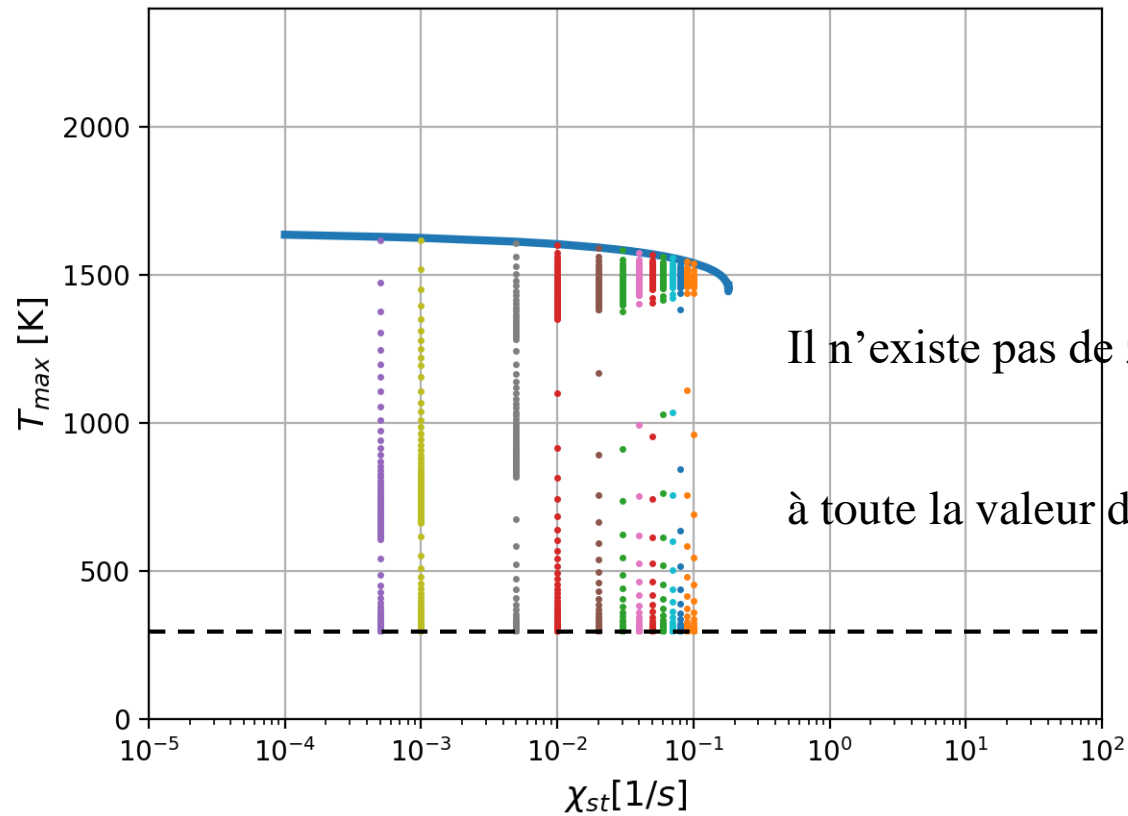
Méthane - Air: 21 % O₂ ---- 71 % N₂

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire



Méthane – Air dilué: 15 % O2 ---- 75 % N2

Modèle de combustion: le modèle de flamelette instationnaire



Méthane – Air dilué: 12.4 % O₂ ---- 77.6 %
N₂

Les donnée expérimentale du brûleur en ligne turbulent :
12.0 – 12.4 %

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire

Relation entre la valeur instantanée q et la valeur de LES-filtré \tilde{q} :

$$\tilde{q} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} \int_0^1 q(Z, \chi_{st}, \Delta h) \cdot P(Z) P(\chi_{st}) P(\Delta h) dZ \cdot d\chi_{st} \cdot d\Delta h$$

le β - PDF présumé, paramétré par \tilde{Z} et \tilde{Z}_v dans CFD code

le Dirac Delta fonction, paramétré par $\tilde{\chi}_{st}$

le Dirac Delta fonction, paramétré par \tilde{h}

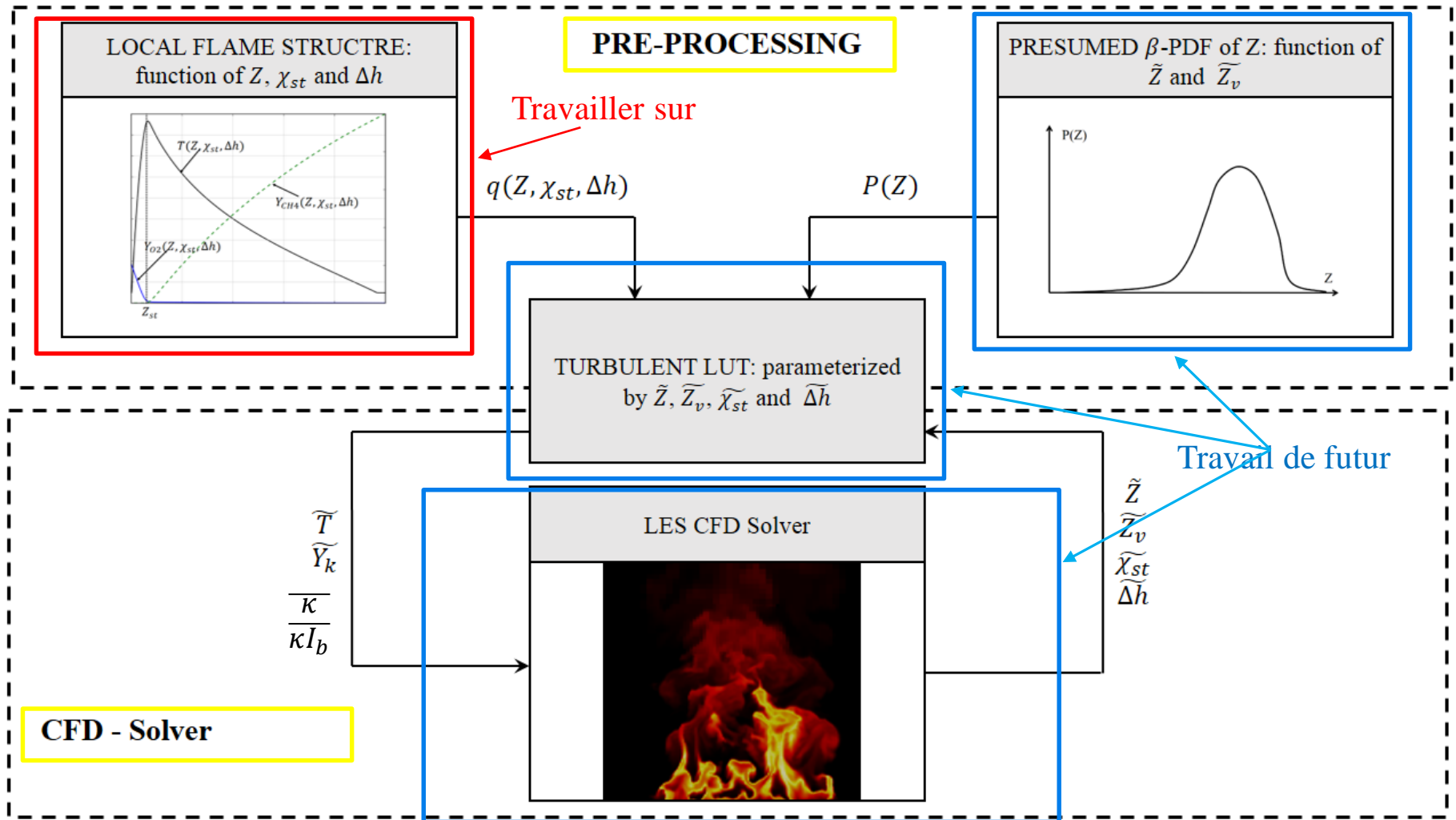
$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{Z}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{Z}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{\rho} \left(\nu + \frac{\nu_{sgs}}{Pr_{sgs}} \right) \frac{\partial \tilde{Z}}{\partial x_i} \right)$$

$$\tilde{Z}_v = C_v \Delta^2 |\nabla \tilde{Z}|^2$$

$$\tilde{\chi}_{st} \approx \tilde{\chi} = 2(D + D_{sgs}) \Delta^2 |\nabla \tilde{Z}|^2$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{h}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{h}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{\rho} \left(\nu + \frac{\nu_{sgs}}{Pr_{sgs}} \right) \frac{\partial \tilde{h}}{\partial x_i} \right) - \nabla \cdot \overline{q'''}$$

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire



❑ Conclusions:

- Introduire le chimie détaillé dans les solutions de flammelette.
- Flammelet solutions peut bien représenter le phénomène d'extinction à cause de la perte de chaleur radiative.
- Flammelette solutions peut capturer bien le taux de O₂ **12.4 %** qui cause la flamme éteinte quand l'air est dilué par N₂

❑ Perspectives:

- Continuez le travail: Introduire les phénomènes d'extinction dans flammelle 1D, laminaire à la flamme 3D, turbulente.

Merci!

Modèle de combustion: le modèle de flammelette instationnaire

À la valeur faible de χ_{st}

