

ÉTUDE DES CONDITIONS EXTERNES SUR LES RÉGIMES DE COMBUSTION DANS UNE ENCEINTE VENTILÉE

H. Prétrel, B. Lafdal, N. Charaoui et S. Suard

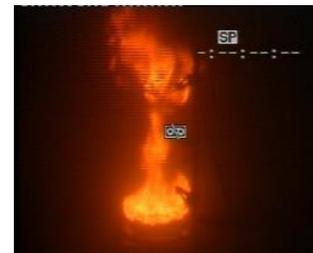
Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire – Centre de Cadarache - France

Sommaire

- Contexte : les régimes de combustion en milieu confiné
- Approche analytique avec l'approche du réacteur « bien mélangé »
- Approche expérimentale à échelle réduite
- Analyse des résultats
 - *Régimes de combustion*
 - *Durée de la période de combustion*
 - *Influence du facteur de ventilation*
 - *Modification de la loi de comportement du débit de perte de masse*
- Conclusions

Contexte

- ❑ **Incendie en milieu confiné et mécaniquement ventilé**
 - Feux de compartiments
 - *Source incendie - une enceinte - un réseau de ventilation*
 - Application dans les domaines industriels et nucléaire en particulier
- ❑ **Approche à grande échelle importante**
 - *Projets PRISME*
 - *Etude de la nature du foyer : feu de nappe, câble, armoire électriques,...*
- ❑ **Des régimes de combustion particuliers**
 - *Sous-ventilés : appauvrissement de la teneur en oxygène en raison de l'apport insuffisant de la ventilation par rapport*
 - *Régimes instables proches des conditions d'extinction*
 - *Dépendance du débit de pyrolyse avec les conditions extérieures (teneur en oxygène, flux externes, température)*



Etude des régimes de combustion dans une enceinte ventilée

- Approche analytique à partir du modèle du réacteur bien mélangé (« Well-stirred reactor »)
- Approche expérimentale à échelle réduite

Approche analytique (1)

□ Modèle « Well-Stirred reactor »

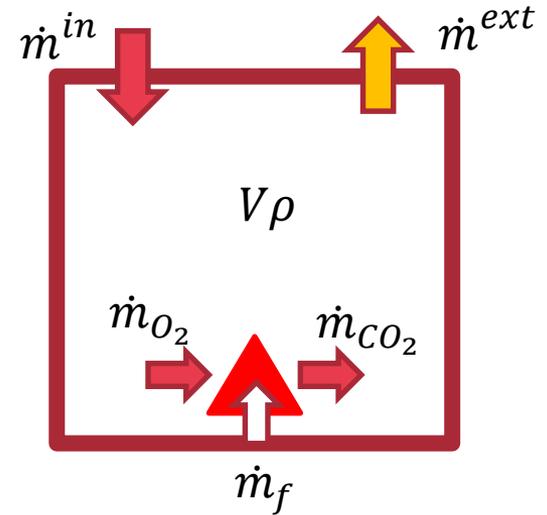
- Bilan d'énergie et de masse sur un volume de gaz homogène
- Grandeurs d'intérêt :
 - *Fraction massique d'espèce Y_i* ,
 - *Températures des gaz T (P)*
- Paramètres :
 - *Débit de ventilation*
 - *Caractéristique de l'enceinte (Volume, propriétés thermiques des parois,...)*
 - *Source incendie (MLR)*

□ Evolution temporelle de la fraction d'oxygène

$$m \frac{d}{dt} y_{O_2} = \underbrace{(y_{O_2}^0 - y_{O_2}) \dot{m}^{in}}_{\text{Apport}} - \underbrace{\dot{m}_f (y_{O_2} + r)}_{\text{Consommation}}$$

$$\frac{d}{d\tau} Y = (1 - Y) - \phi_o M \left(\frac{y_{O_2}^0}{r} Y + 1 \right)$$

$$M = \dot{m}_f / \dot{m}_f^0 \quad Y = y_{O_2} / y_{O_2}^0 \quad \tau = t \dot{q}^{in} / V$$



*Facteur de ventilation
(ou GER – Global Equivalence
Ratio de référence)*

$$\phi_o = r \cdot \dot{m}_f^0 / (y_{O_2}^0 \dot{m}^{in})$$

Approche analytique (2)

- Couplage avec la variation du taux de combustion

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{d\tau} Y = (1 - Y) - \phi_o M \left(\frac{y_{O_2}^o}{r} Y + 1 \right) \\ M = f(Y, T, \dots) \end{array} \right.$$

- Loi de comportement $M = f(Y, T, \dots)$

- **Modèle théorique de Quintiere** $M = g(Y) + h(T)$

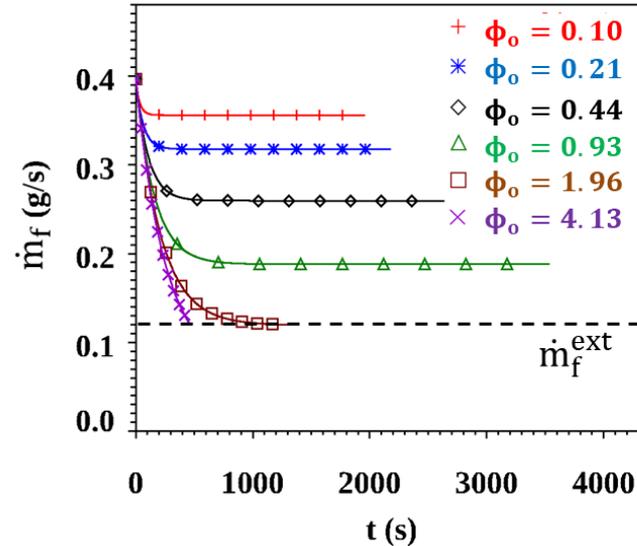
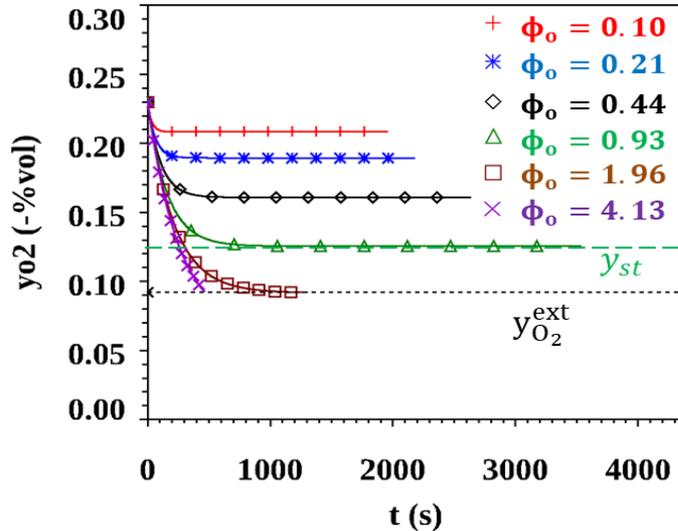
- **Effet de l'oxygène seul**

- *Formulation générique* $\Rightarrow \frac{M - M^{\text{ext}}}{1 - M^{\text{ext}}} = \frac{Y - Y^{\text{ext}}}{1 - Y^{\text{ext}}}$

- *Corrélation empirique de Peatross & Beyler* : $M^{\text{ext}}=0$; $Y^{\text{ext}}= 0,528$

Approche analytique (3)

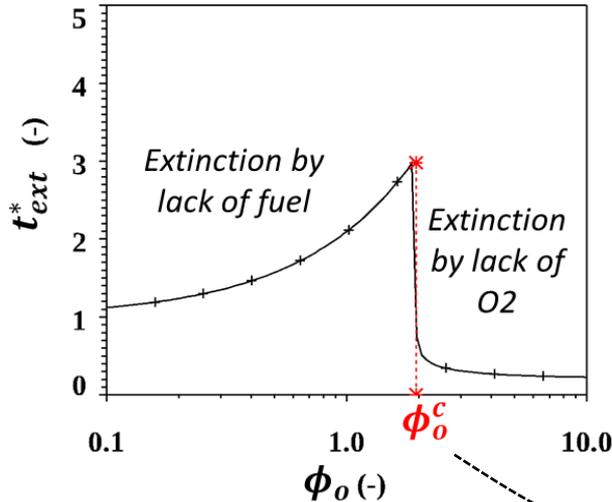
□ Evolution temporelle de la concentration en oxygène et du MLR



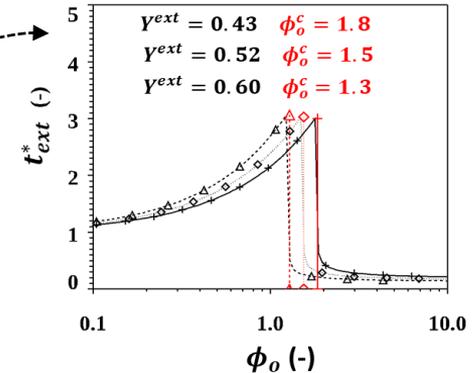
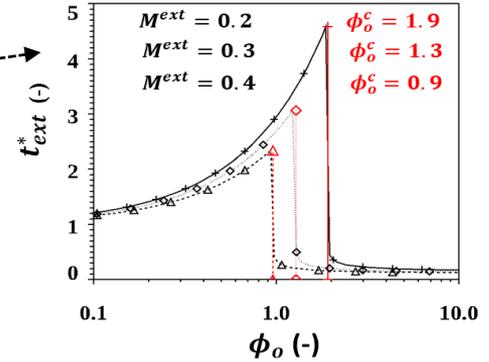
- Régimes stationnaires et instationnaires
- Modes d'extinction : manque de combustible/ manque d'oxygène
- Critère de transition : facteur de ventilation (GER)

Approche analytique (4)

□Durée de la phase de combustion



$$\phi_o^c = \frac{1 - \gamma^{ext}}{M^{ext} \left(1 + \frac{y_{O_2}^o}{r} \gamma^{ext} \right)}$$



Deux régimes :

- stationnaires et extinction par manque de **Comb.**
- **In**stationnaires et extinction par manque d'**O₂**
- Influence de M^{ext} et γ^{ext}

Approche expérimentale (1)

□ Dispositif à échelle réduite

■ Caisson

- $1,25 \times 1,5 \times 1 = 1,875 \text{ m}^3$
- *Parois : silicate de calcium et verre*

■ Réseau de Ventilation

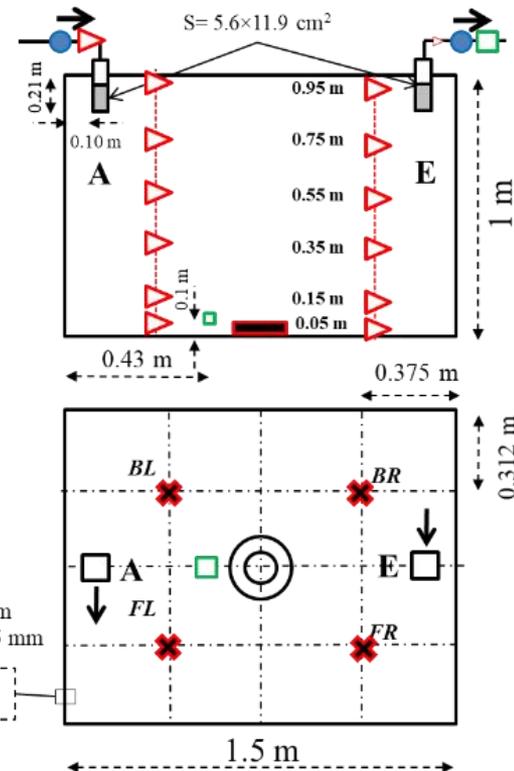
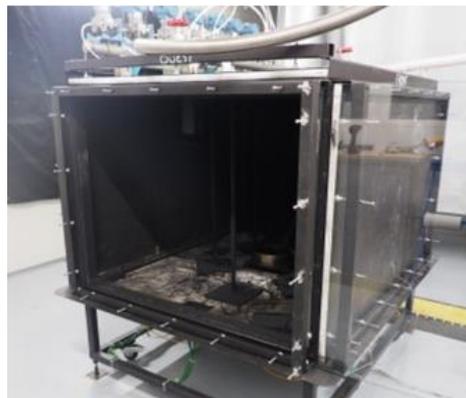
- *Extraction forcée*
- *Bouches en partie haute*

■ Source

- *Bac circulaire*
- *Dodecane $C_{12}H_{26}$*
- $\Delta H_c = 42 \text{ MJ/kg} / r = 3.48$

■ Métrologie

- *Pesée*
- *Température*
- *Concentration $O_2/CO_2/CO$*
- *Débit/ Pression*



Approche expérimentale (2)

□ Grille d'essai

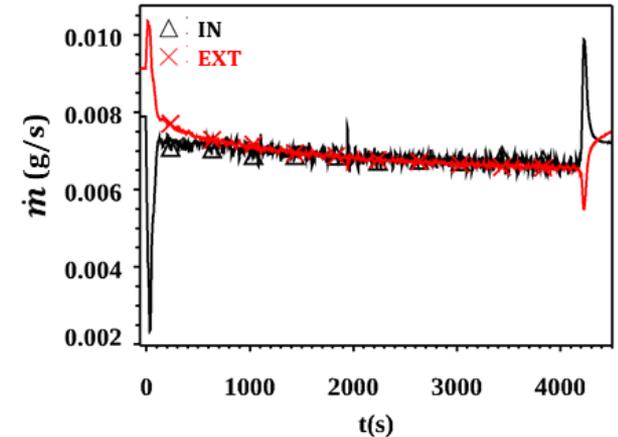
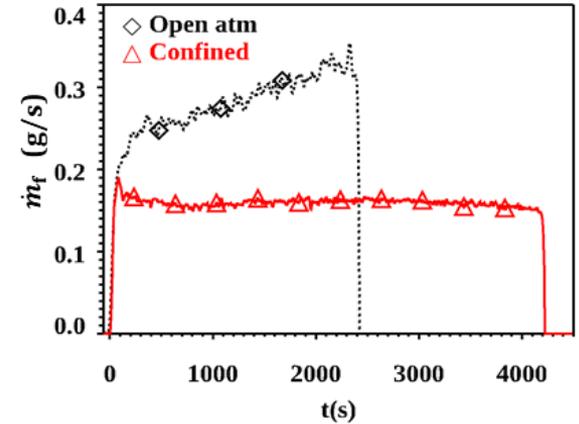
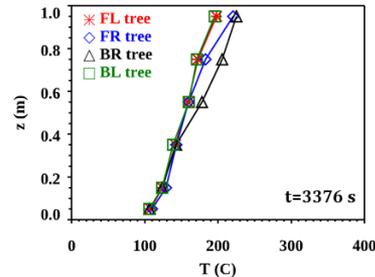
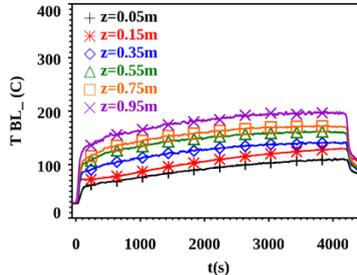
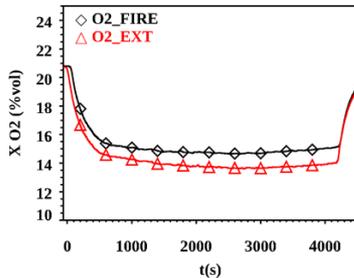
▪ Paramètres

- Diamètre du bac [0.11; 0.24] m $\rightarrow \dot{m}_f^o$
- Débit de ventilation [10; 80] m³/h $\rightarrow \dot{m}^{in}$

$$\phi_o = \frac{r \cdot \dot{m}_f^o}{y_{O_2}^o \dot{m}^{in}}$$

▪ Grandeurs étudiées

- Débit de perte de masse : **MLR**
- Concentration en oxygène : X_{O_2}
- Stratification thermique : T

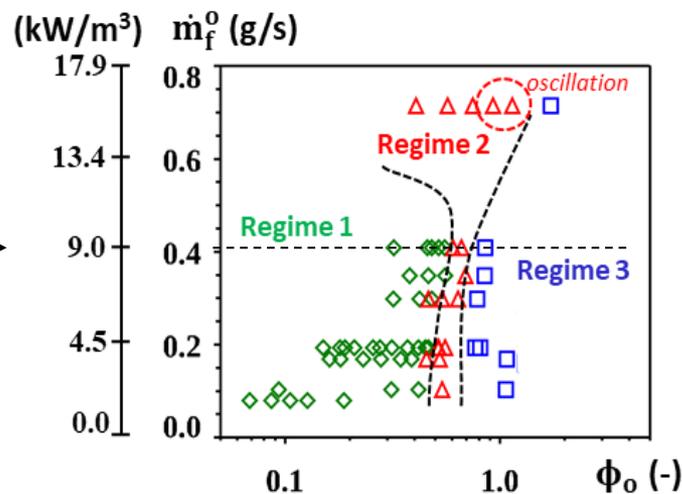
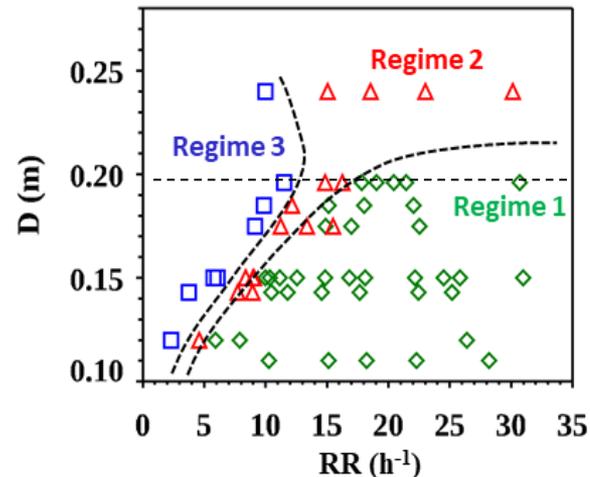
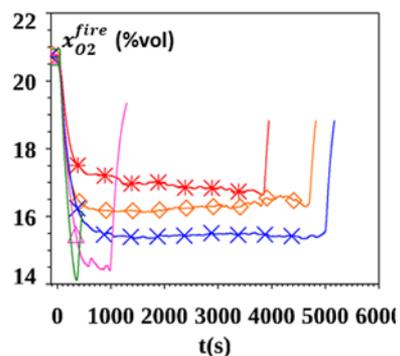
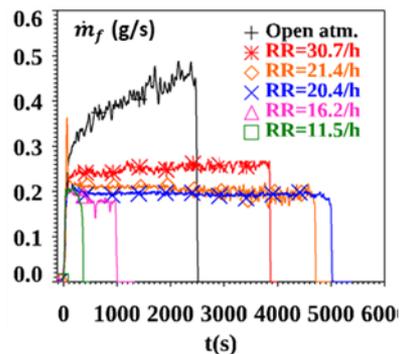


Résultats (1)

□ Régimes de combustion

- Régime 1
 - *état stationnaire*
 - *extinction par manque de combustible*
- Régime 2
 - *état stationnaire*
 - *extinction par manque d'oxygène*
- Régime 3
 - *état instationnaire*
 - *extinction par manque d'oxygène*

D=0.2 m

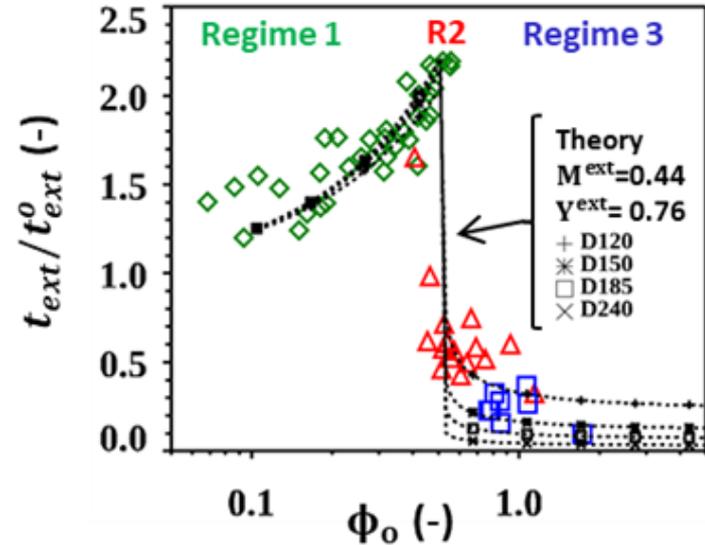


Résultats (2)

□ Durée de la phase de combustion

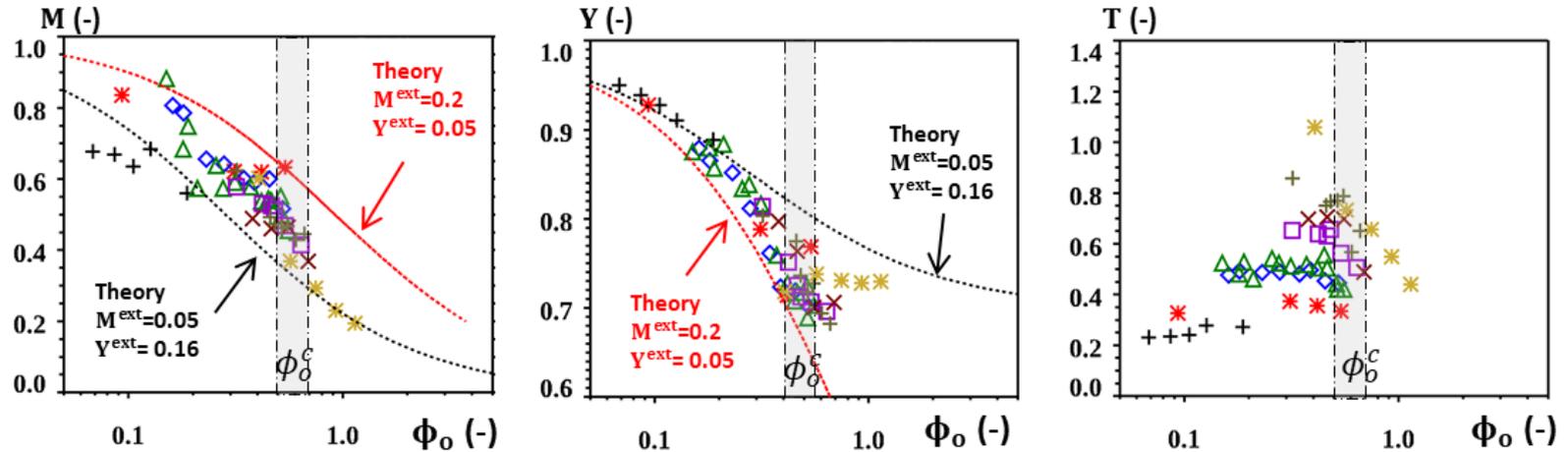
- Identification des 3 régimes
- Régime 2 → transition entre R1 et R3
- Bon accord avec la théorie
- Débit de perte de masse à l'extinction non nul
 $M^{ext} \neq 0$

Limite de la corrélation de Peatross & al.



Résultats (3)

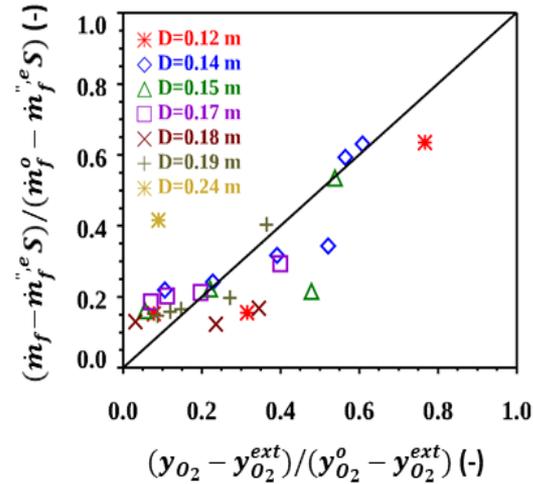
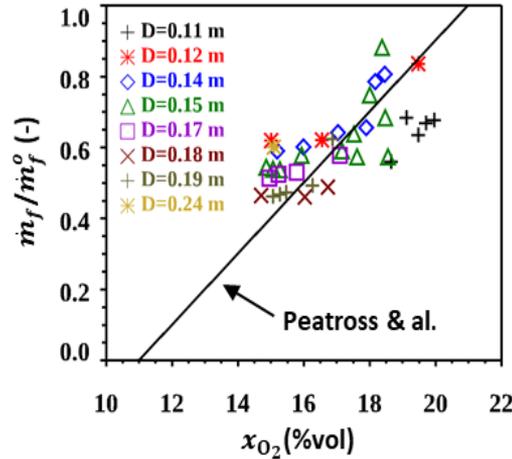
□ Influence du facteur de ventilation



- Influence du facteur de ventilation
- Bon accord avec la théorie
- Comportement spécifique de la température

Résultats (4)

Loi de comportement $M = f(T, Y, \dots)$



- Introduction of $M^{\text{ext}} \neq 0$
 $\gg M^{\text{ext}} = f(D)$ & $Y^{\text{ext}} = f(T)$?

$$\frac{M - M^{\text{ext}}}{1 - M^{\text{ext}}} = \frac{Y - Y^{\text{ext}}}{1 - Y^{\text{ext}}}$$

Conclusions

- ❑ Intérêt de l'approche « well-stirred reactor » pour les feux de compartiment
- ❑ Mise en évidence des régimes de combustion basés sur l'existence d'un régime stationnaire et le mode d'extinction
- ❑ Importance du facteur de ventilation (ou GER)
- ❑ Nécessité de la prise en compte d'un débit de perte de masse non nul à l'extinction
- ❑ Perspectives : poursuivre le développement de la loi $MLR=f(T, Y, \dots)$