



**Effet de l'Air Alimentant la Flamme sur le Risque de la
Ré-inflammation des Fumées dans un Milieu Confiné Sous-ventilé**

B. Manescau, J. P. Garo, B. Coudour

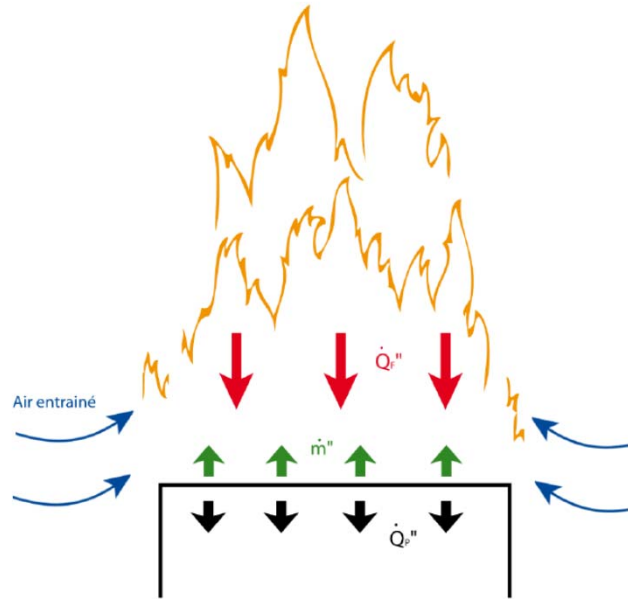
H. Y. Wang

<https://equipex-gap-prometee.ensma.fr/installations-banc/pericles/>



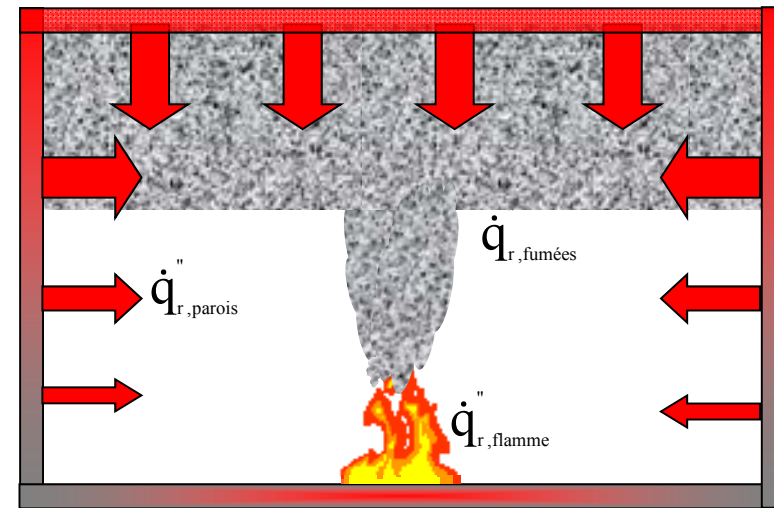
En milieu ouvert

Transfert de chaleur dominant



En milieu fermé

Compétition entre transfert de chaleur et alimentation d'air



Bilan énergétique à la surface du combustible condensé :
$$-\lambda \frac{dT_s}{dn} = \dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{rad} - \dot{m}_F'' L_v$$

Débit massique de la pyrolyse :
$$\dot{m}_F'' = \frac{\rho D}{L} Nu \ln \left[\frac{1 - Y_{F,\infty}}{1 - Y_{F,i}} \right]$$

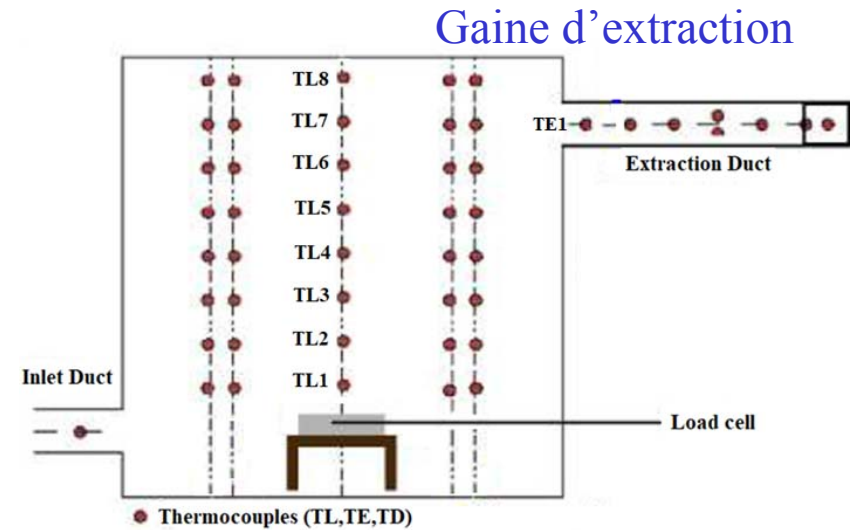
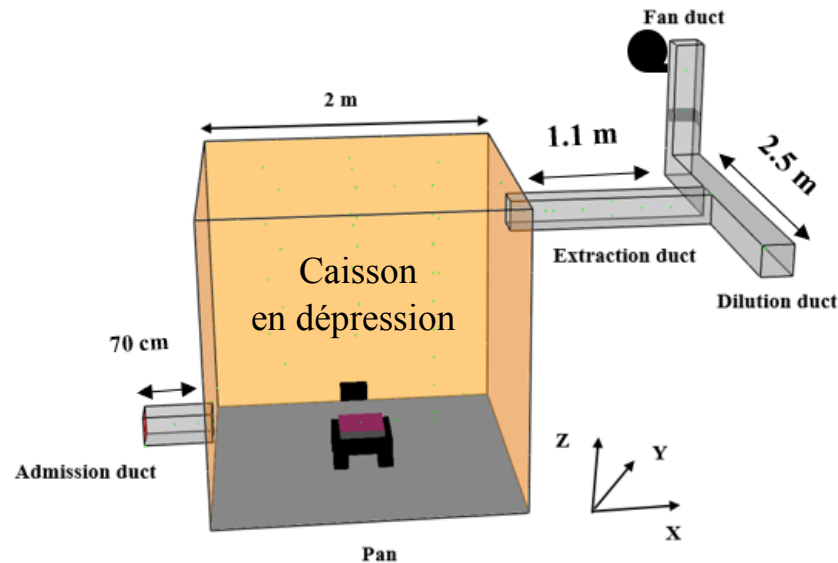
$$Y_{F,i} = \frac{MW_F}{MW_m} \exp \left[-\frac{L_v MW_F}{R_u} \left(\frac{1}{T_{liq,F}} - \frac{1}{T_E} \right) \right]$$

OBJECTIF

Simulations
expérimentales et numériques



Impact de la fermeture d'admission d'air
sur la ré-inflammation des fumées



DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Echelle Réduite : $L = W = H = 2 \text{ m}$

Diamètre du foyer : $D=23, 30, 40 \text{ cm}$

Combustible Liquid : Heptane (98°C), Dodécane (220°C)

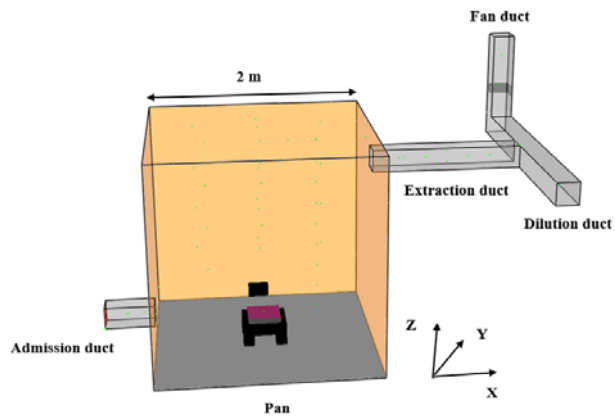
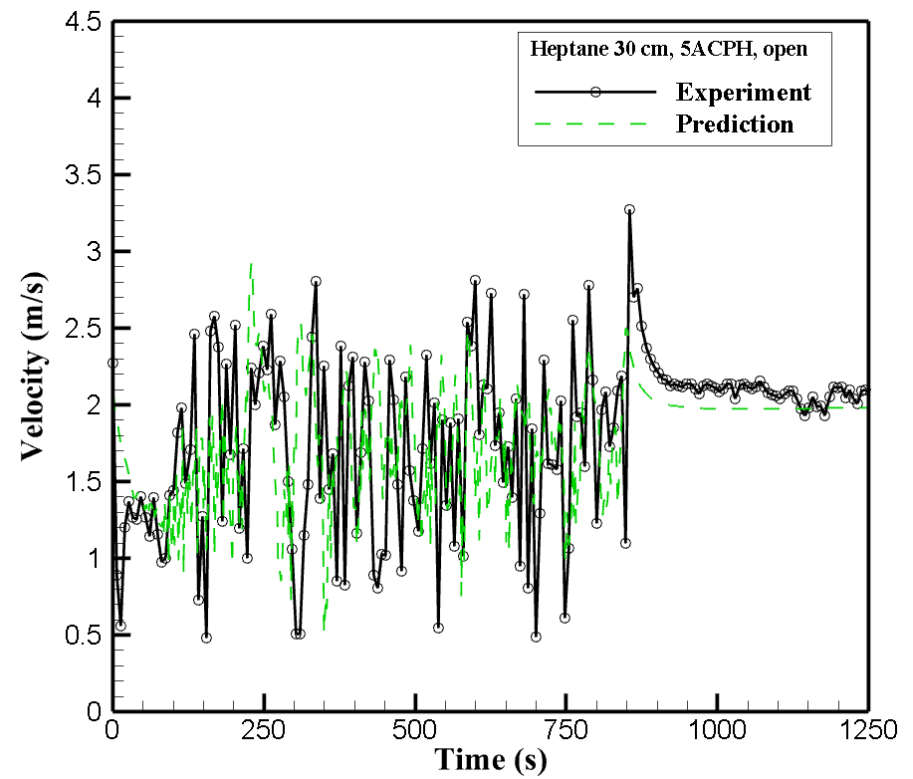
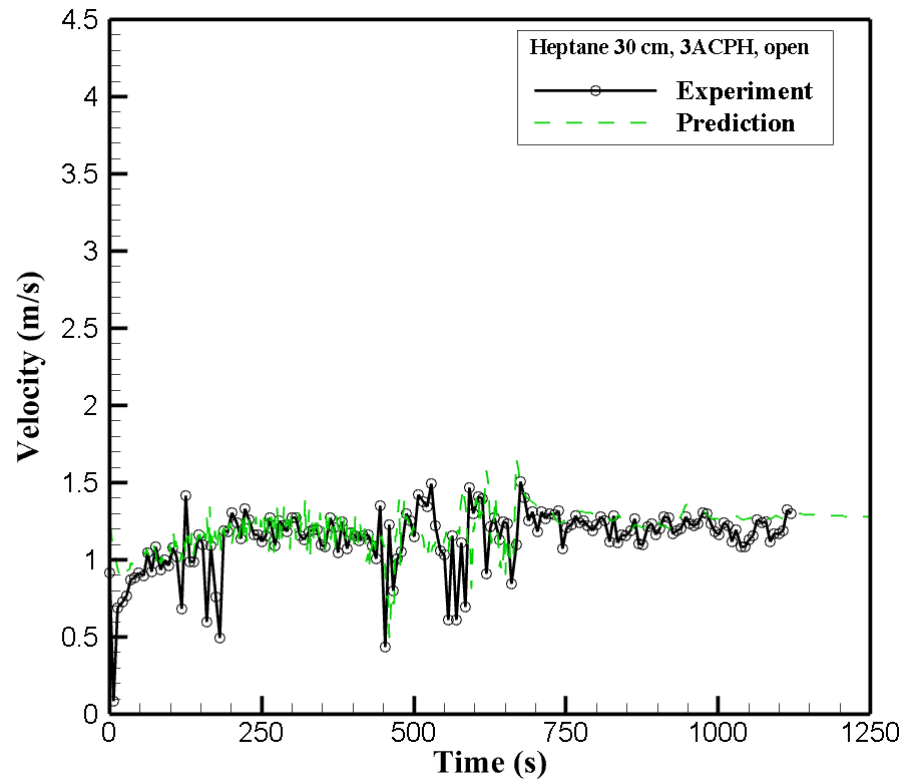
Taux de renouvellement horaire : 3 – 5 ($24-40 \text{ m}^3/\text{h}$)

Débit massique d'air total :

$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{admission}} + \dot{V}_{\text{fuite}}$$

$$\dot{V}_{\text{fuite}} = A_L \cdot \text{sign}(\Delta P) \sqrt{2|\Delta P| / \rho_\infty}$$

Vitesse d'air à l'entrée de la gaine d'admission



Avec admission d'air ouverte :

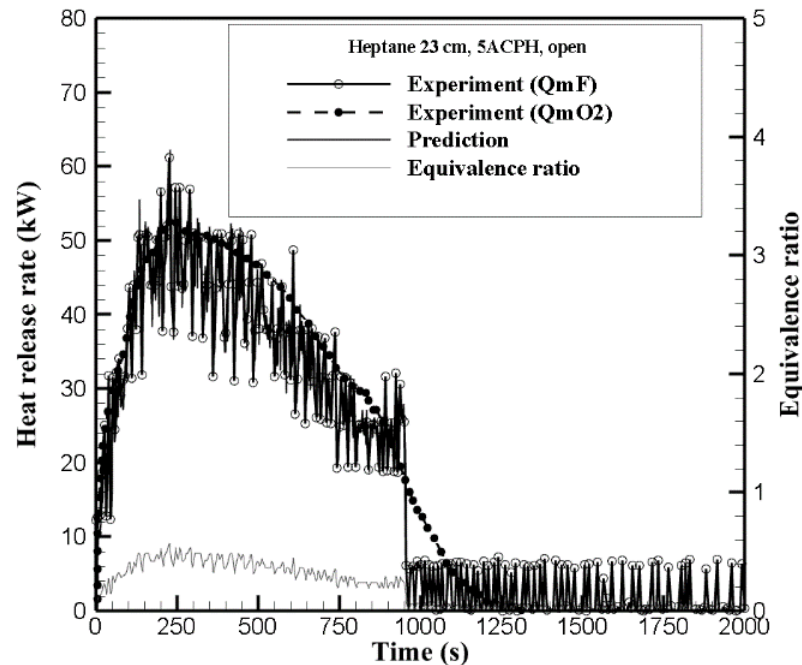
$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{admission}} + \dot{V}_{\text{fuite}}$$

Avec admission d'air fermée :

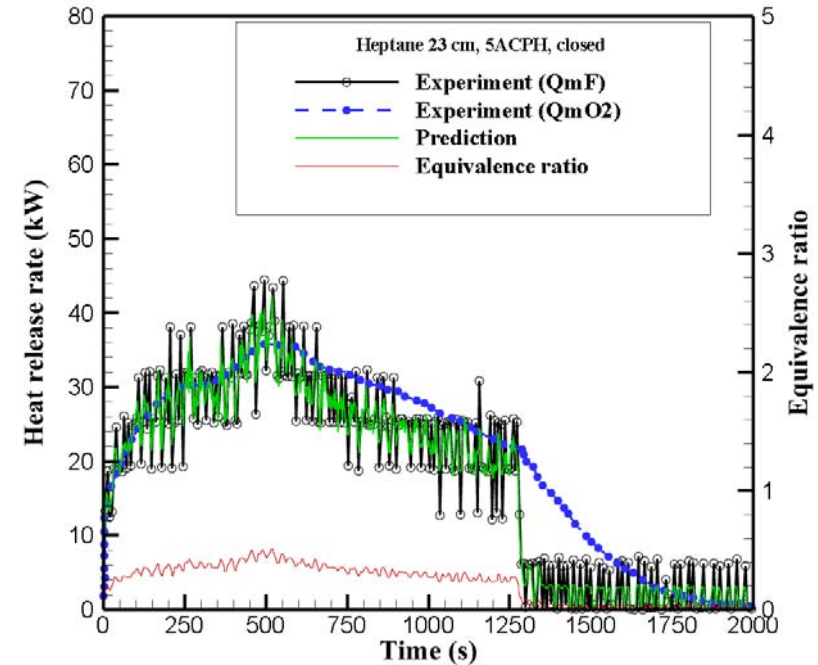
$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{fuite}}$$

Impact d'admission d'air sur l'évolution de la puissance du feu bien ventilé (heptane)

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée



Avec fermeture de l'admission d'air

Puissance théorique : $\dot{Q}_{\text{thé}} = \dot{m}_F \Delta H_c$ (30% réduction)

Puissance effective : $\dot{Q}_{\text{eff}} = (Y_{O_2, \infty} \dot{m}_A) \Delta Y_{O_2} \Delta H_o$ (30% réduction)

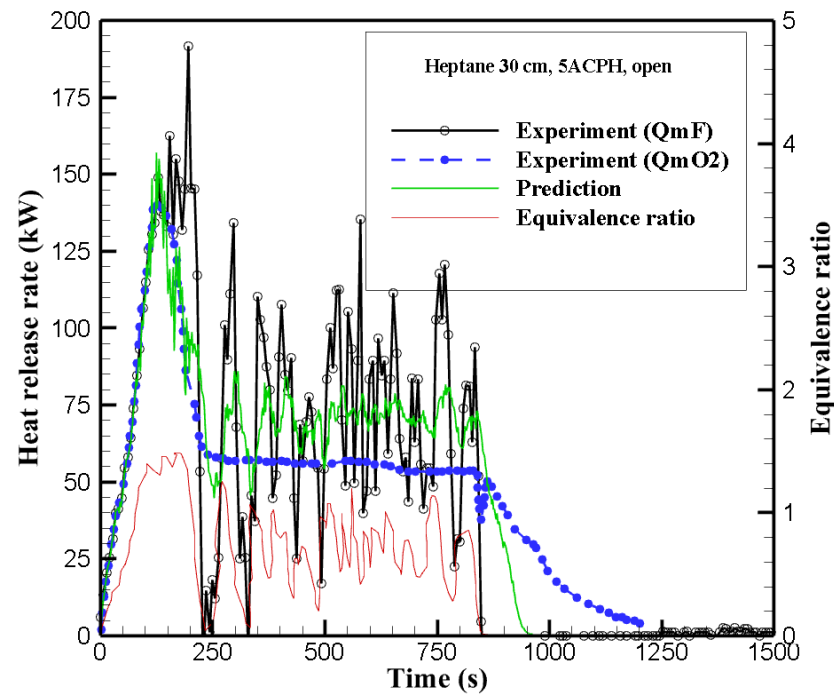
Feu bien ventilé : $\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_{\text{thé}} - \dot{Q}_{\text{eff}} = 0$ (réaction parfaite)

Richesse Globale : $\phi = \dot{m}_F s / \dot{m}_A < 0.7$

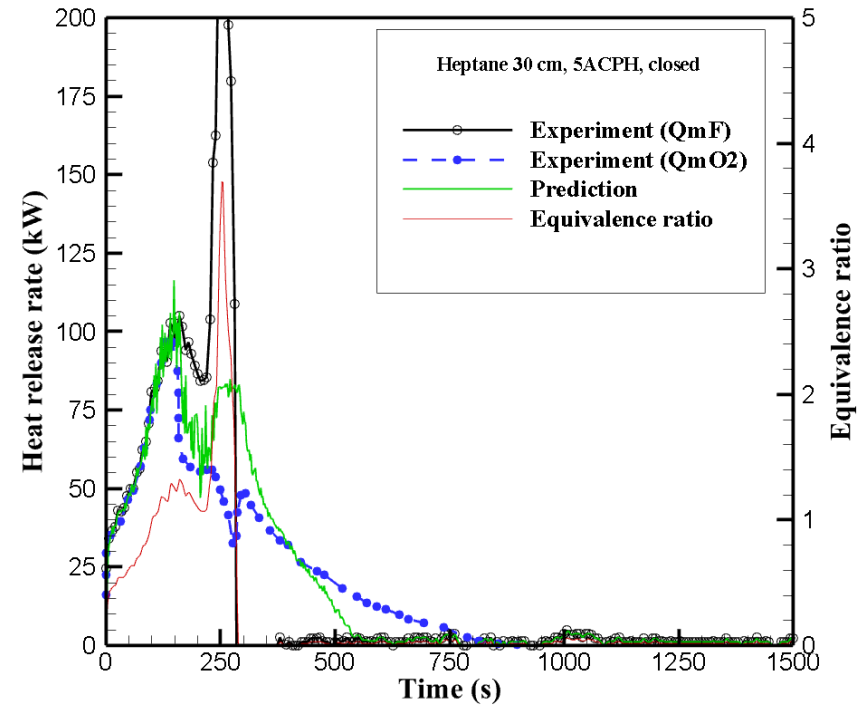
Durée du feu : 25% prolongation

Impact d'admission d'air sur l'évolution de la puissance du feu sous-ventilé (heptane)

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée



Avec fermeture de l'admission d'air

Puissance théorique : $\dot{Q}_{\text{thé}} = \dot{m}_F \Delta H_c$ (5% augmentation)

Puissance effective : $\dot{Q}_{\text{eff}} = (Y_{O_2, \infty} \dot{m}_A) \Delta Y_{O_2} \Delta H_o$ (30% réduction)

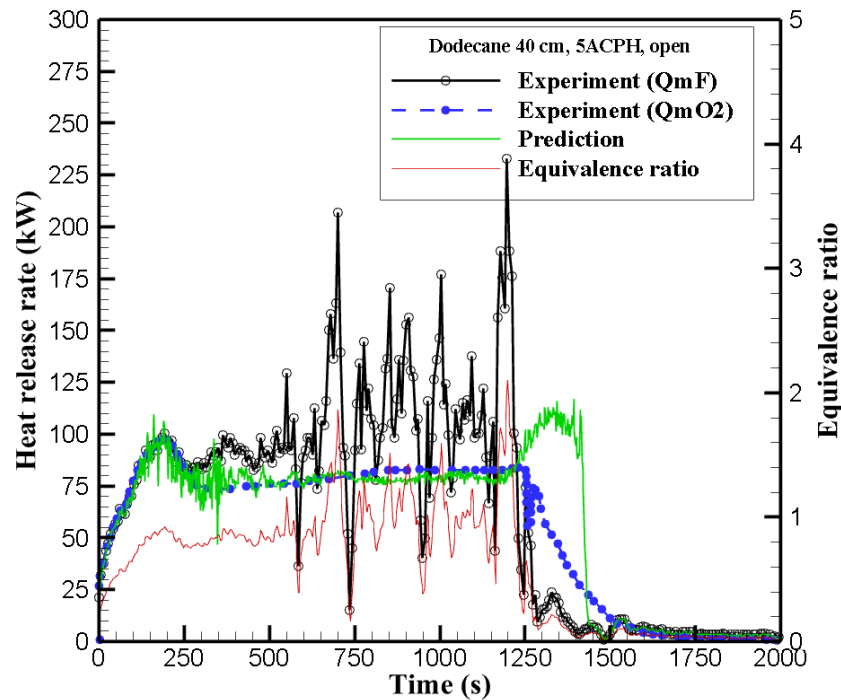
Feu sous-ventilé : $\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_{\text{thé}} - \dot{Q}_{\text{eff}} \Rightarrow$ (espèces imbrûlés)

Richesse Globale : $\phi = \dot{m}_F s / \dot{m}_A > 0.7$

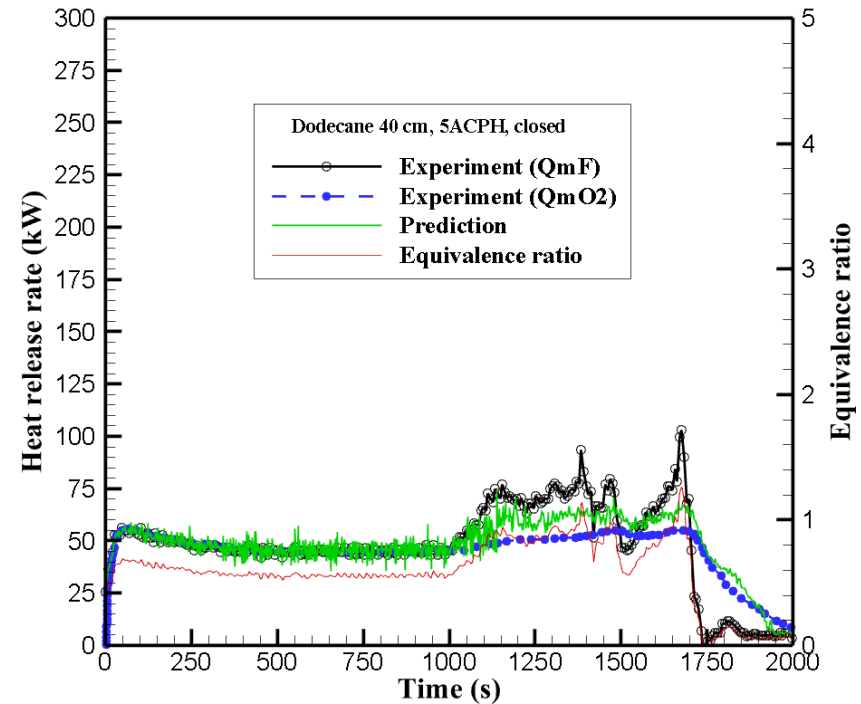
Durée du feu : 40% réduction

Impact d'admission d'air sur l'évolution de la la puissance du feu sous-ventilé (dodécane)

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée



Avec fermeture de l'admission d'air

Puissance théorique : $\dot{Q}_{\text{thé}} = \dot{m}_F \Delta H_c$ (55% réduction)

Puissance effective : $\dot{Q}_{\text{eff}} = (Y_{O_2, \infty} \dot{m}_A) \Delta Y_{O_2} \Delta H_o$ (40% réduction)

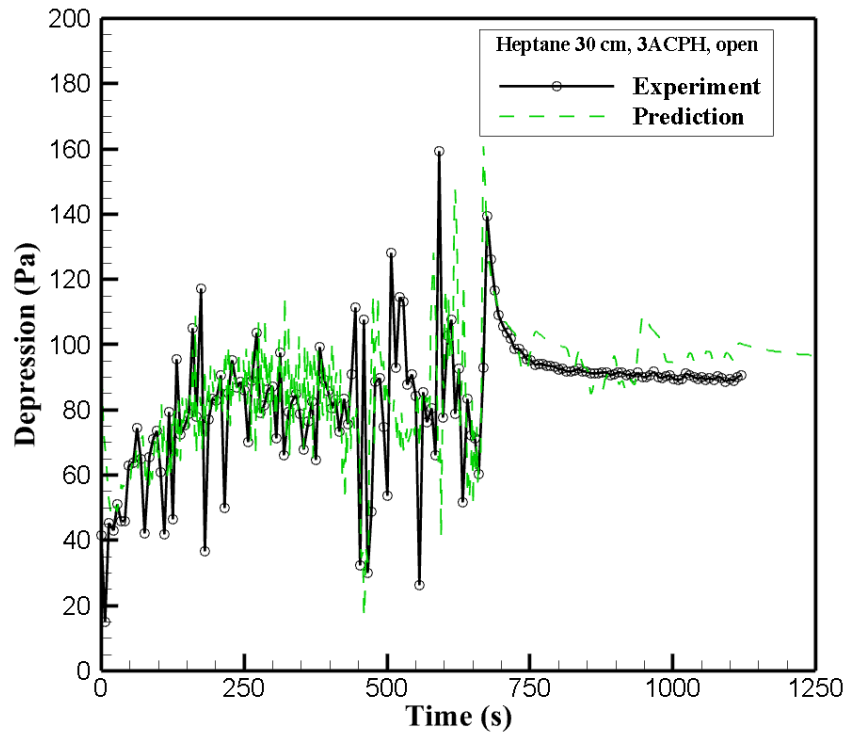
Feu sous-ventilé : $\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_{\text{thé}} - \dot{Q}_{\text{eff}} \Rightarrow$ (espèces imbrûlés)

Richesse Globale : $\phi = \dot{m}_F s / \dot{m}_A > 0.7$

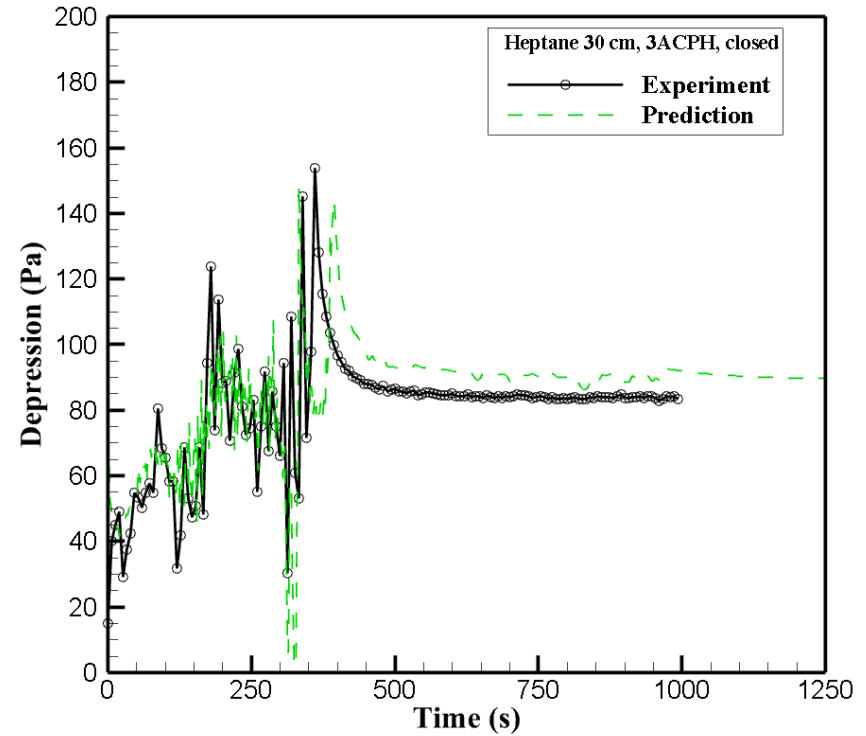
Durée du feu : 40% prolongation

Effet de l'admission d'air sur l'évolution de la dépression

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée

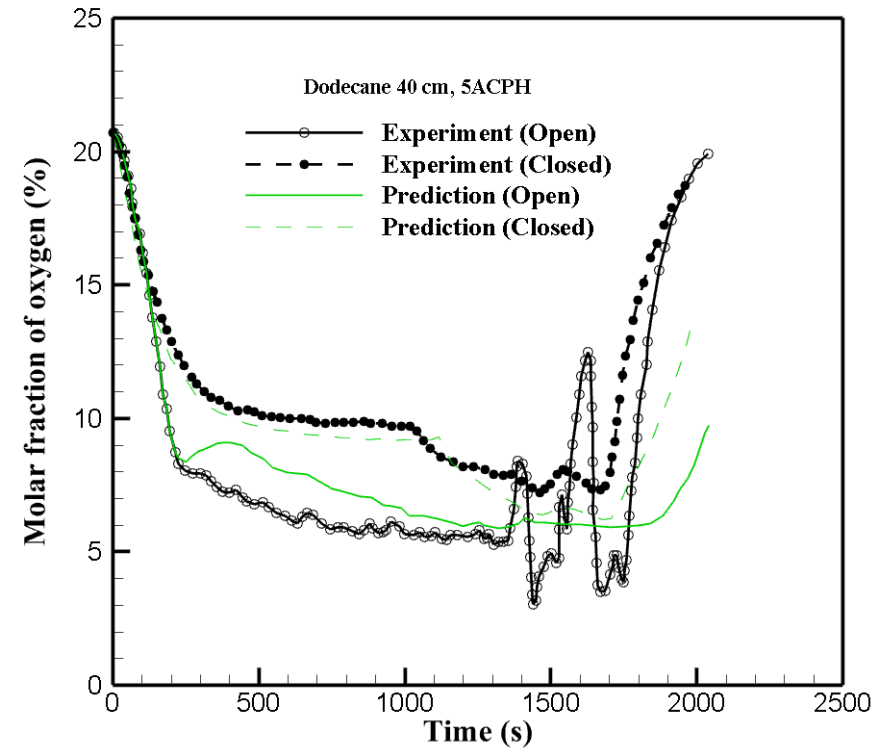
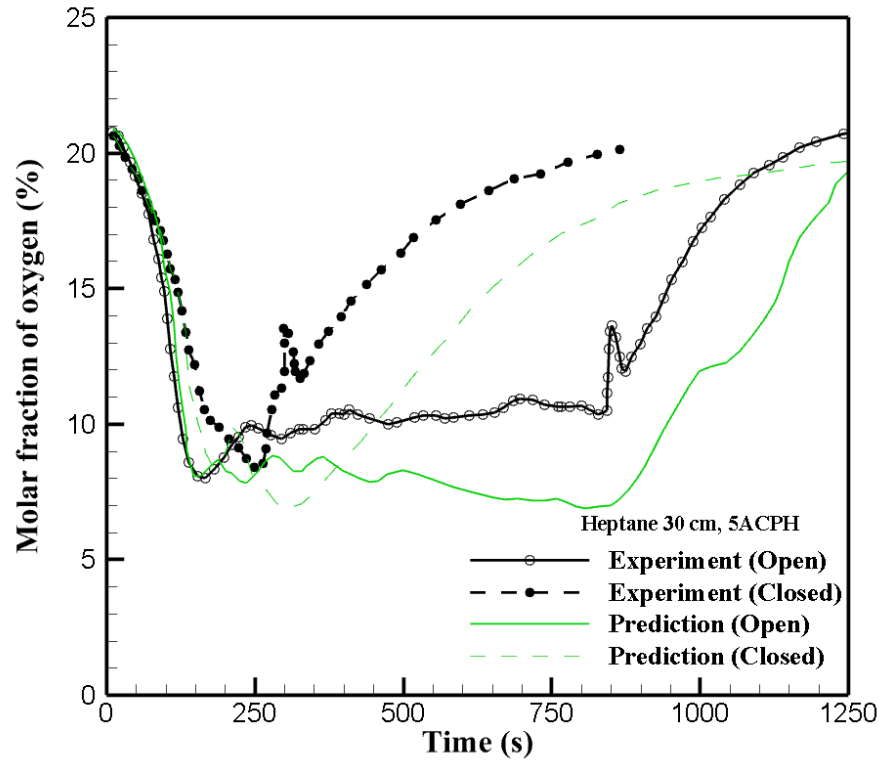


Avec fermeture de l'admission d'air



45% réduction sur la durée d'oscillation

Effet de la fermeture de l'admission d'air sur l'évolution de concentration d'oxygène



$(X_{O_2} \in [0.15, X_{O_2, \infty}]) \Rightarrow$

Feu bien ventilé

$(X_{O_2} \in [0.1, 0.15]) \Rightarrow$

Feu sous-ventilé

$(X_{O_2} \in [0.05, 0.1]) \Rightarrow$

Feu très sous-ventilé

Extinction du feu

30% (heptane), 300% (dodécane) augmentation avec admission d'air ouverte
55% (heptane), 10% (dodécane) augmentation avec admission d'air fermée

Effet de l'admission d'air sur le délai de la ré-inflammation des fumées (Heptane)

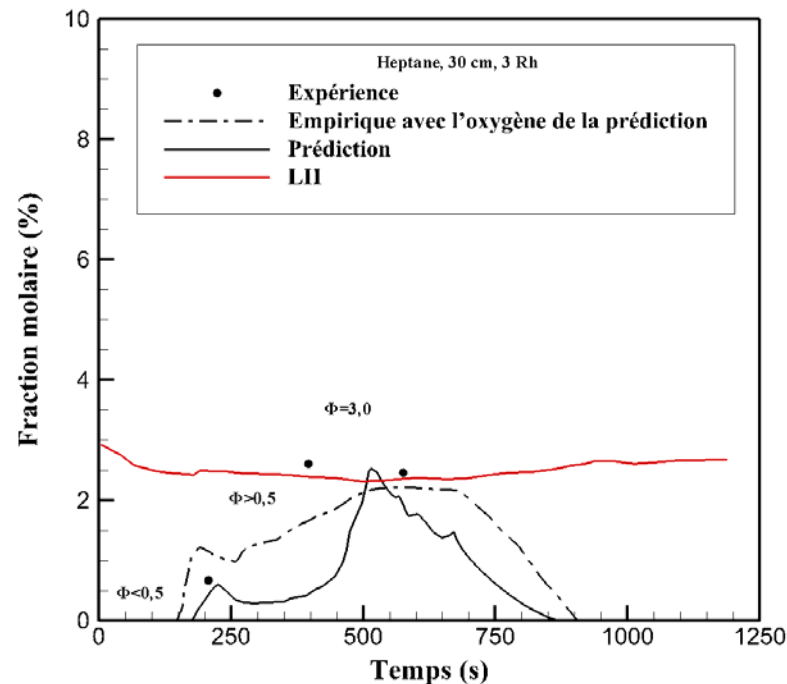
Conditions nécessaires

$$\left. \begin{array}{l} X_F(\text{imbrûlés}) \geq \text{LII} \\ T(\text{temperature}) \geq \text{TAI} \\ X_{O_2}(\text{extinction}) \geq 7\% \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ré-inflammation}$$

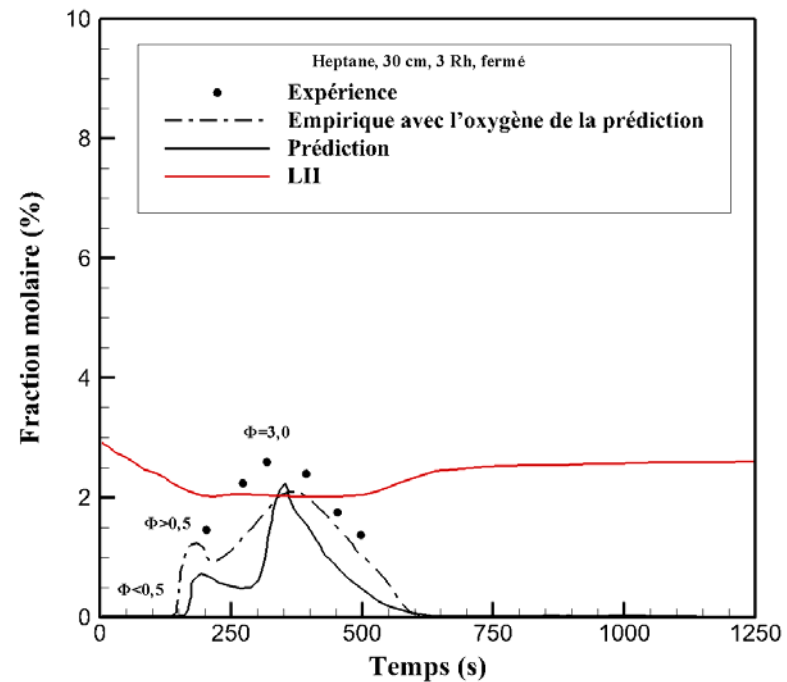
Limite d'Inflammabilité Inférieure (LII) d'un mélange :
$$\text{LII}(T) = 100 \times \left[\sum_i \frac{X_i}{\text{LII}_i(T)} \right]^{-1}$$

Température d'Auto-Inflammation (TAI) du mélange (CO, H₂, C_xH_y): >250°C

Avec admission d'air ouverte



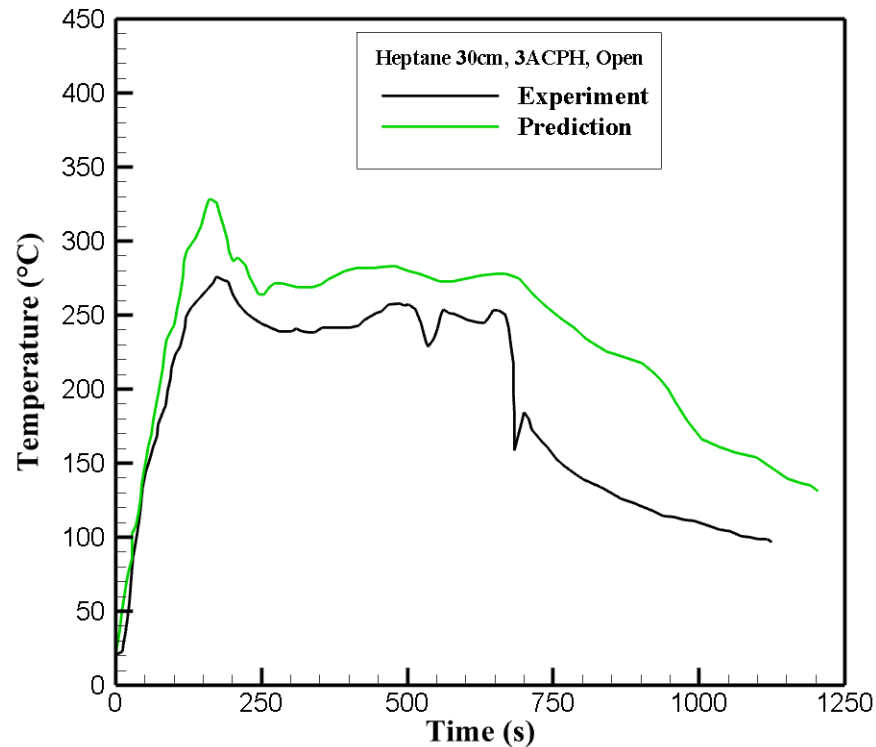
Avec admission d'air fermée



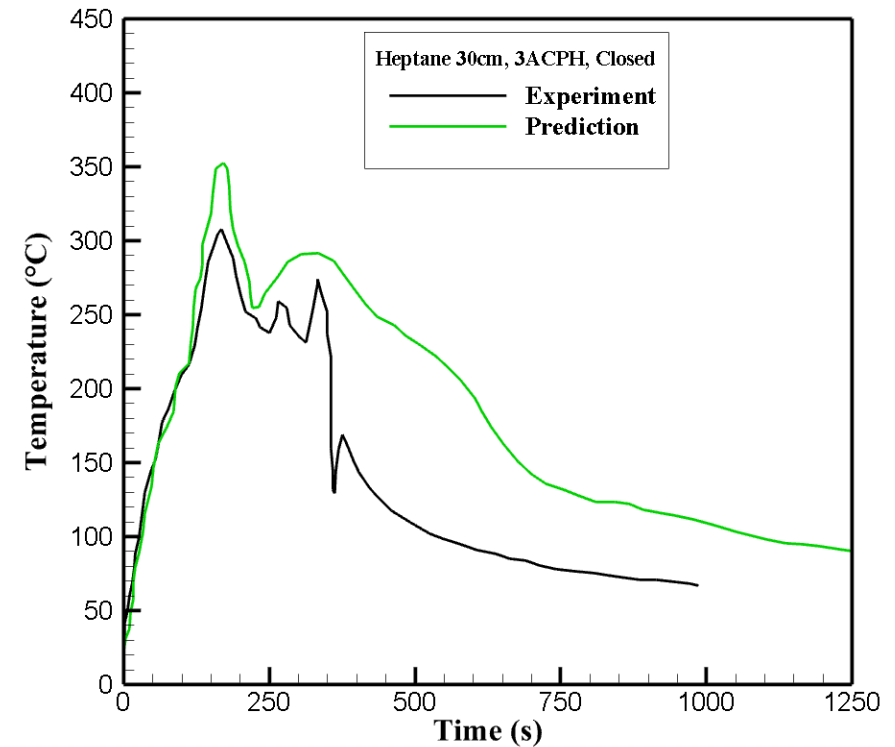
Avec l'admission d'air fermée \Rightarrow 40% réduction sur le délai de ré-inflammation

Impact de l'admission d'air sur l'évolution de la température des fumées (Heptane)

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée

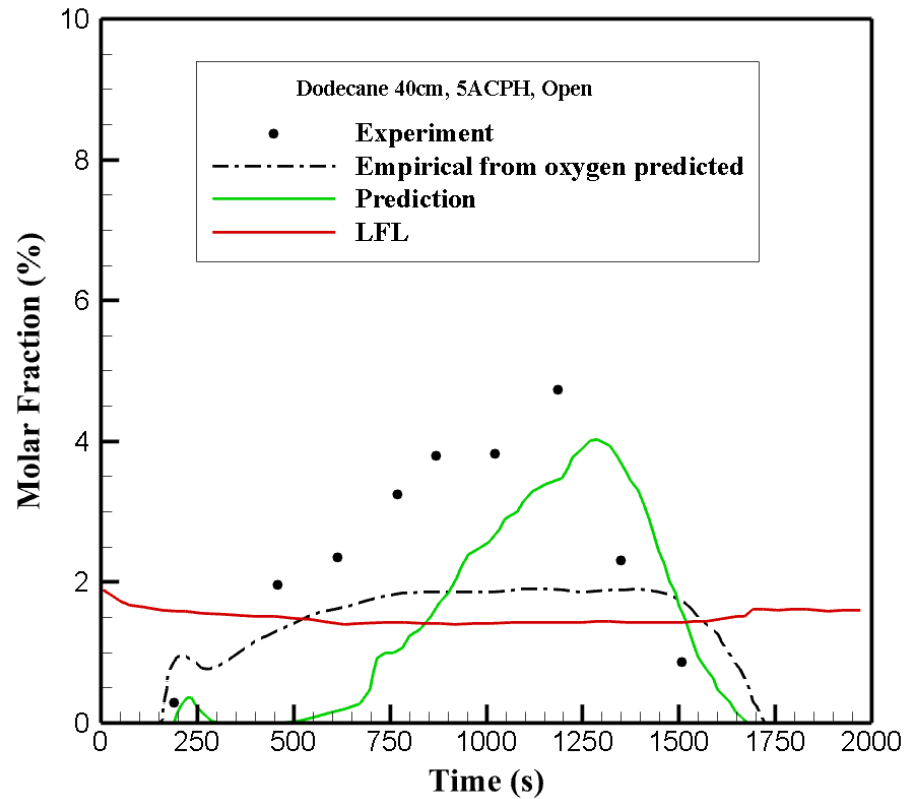


Pour le combustible liquide (Heptane)

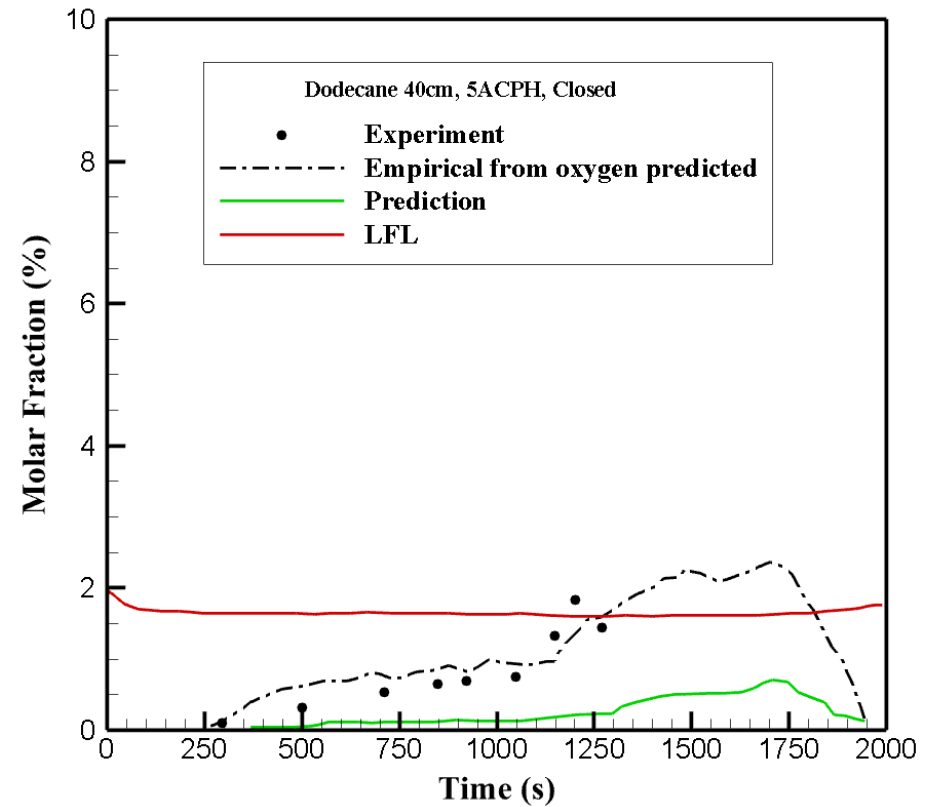
Admission d'air fermée \Rightarrow 50% réduction sur la durée de la température élevée ($>250^{\circ}\text{C}$)

Effet de l'admission d'air sur le délai de la ré-inflammation des fumées (Dodécane)

Avec admission d'air ouverte



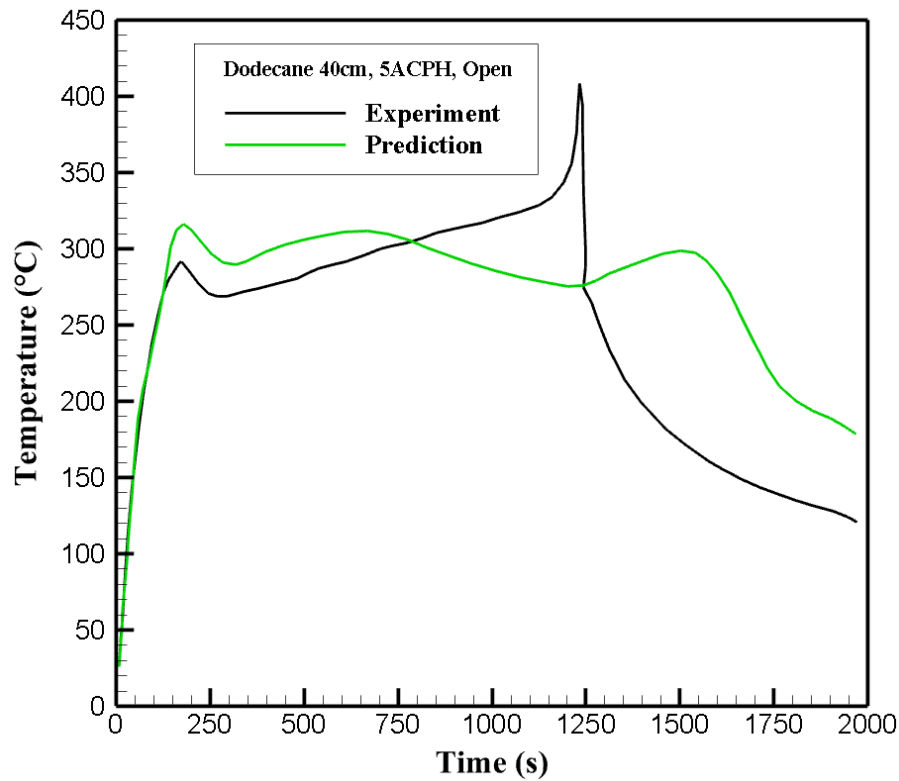
Avec admission d'air fermée



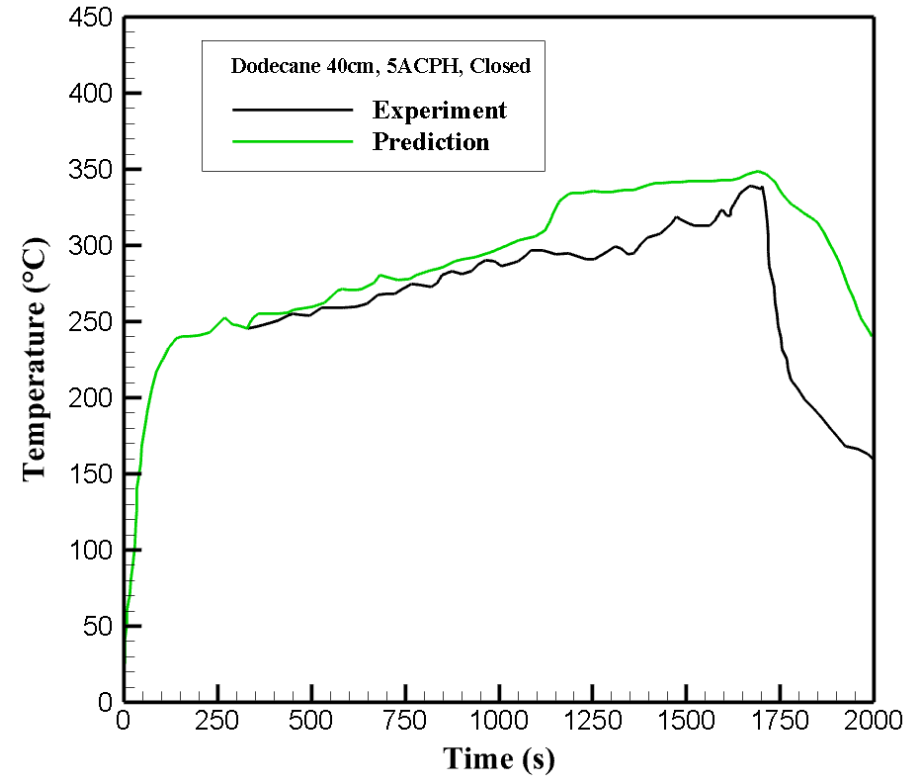
Avec l'admission d'air fermée \Rightarrow 150% prolongation sur le délai de ré-inflammation

Effet de la fermeture de l'admission d'air sur l'évolution de la température des fumées

Avec admission d'air ouverte



Avec admission d'air fermée



Pour le combustible liquide (Dodécane)

Admission d'air fermée \Rightarrow 40% prolongation sur la durée de la température élevée ($>250^{\circ}\text{C}$)

Similitude entre le dispositif expérimental et celui à échelle réelle

Richesse Globale $\phi = \dot{m}_F s / \dot{m}_A$

Reynolds $Re = \frac{uL}{\nu}$

Echelle du temps $\tau \propto \frac{L}{u}$

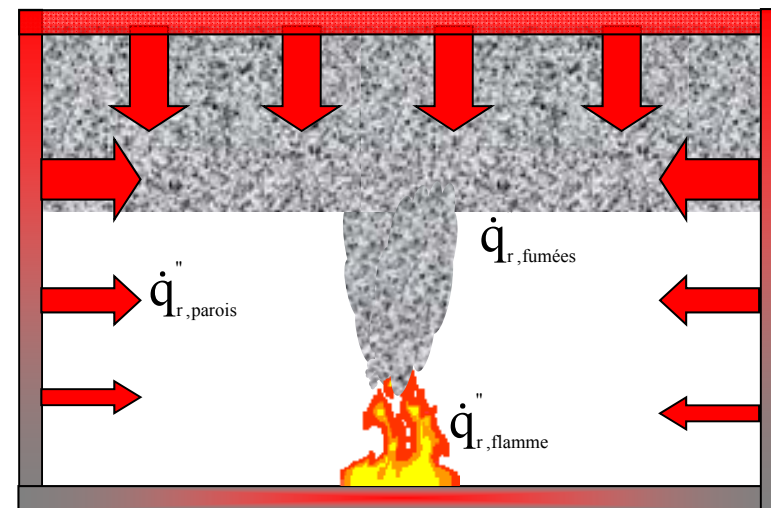
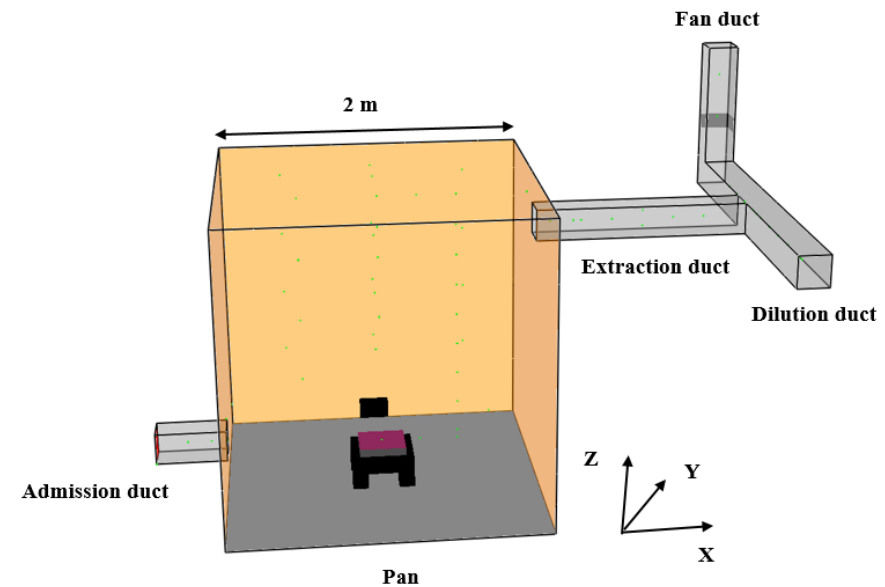
Froude $Fr = \frac{u^2}{gL}$

Richardson $Ri = \frac{\Delta\rho gL}{\rho_0 u^2}$

Grashof $Gr = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu^2}$

Zukoski $\frac{\dot{Q}}{Fr L^{5/2} (\rho C_p T) g^{1/2}}$

Flux thermique en retour vers la surface du combustible liquide avec admission d'air ouverte ou fermée



Conséquence de l'échelle \Rightarrow dépression, gaz imbrûlés, ré-inflammation