

GDR Feux à Nancy, 2023



Simulation numérique d'un feu en milieu confiné mécaniquement ventilé avec aspersion par brouillard d'eau

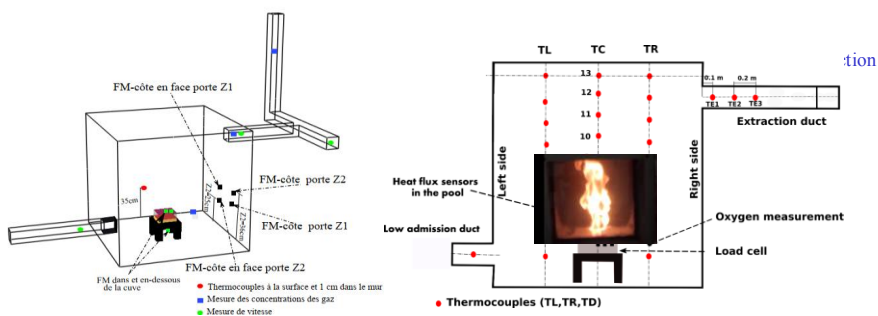
L. Acherar, J. P. Garo, B. Coudour

H. Y. Wang

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


CONTEXTE

Famme perturbée par l'injection des gouttelettes



DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Echelle Réduite : $L = W = H = 1 \text{ m}$ Diamètre du foyer : $D = 15 \text{ cm}$ Combustible Liquid : Heptane (98°C)

Taux de renouvellement horaire : 4 – 60

Injecteur du brouillard d'eau

Diamètre de gouttelette : 60 μm

Vitesse de gouttelette : 10 m/s

Débit massique d'eau : 3.5 g/s

MODELISATION NUMERIQUE (PHASE GAZEUSE)

Equations Navier-Stokes

Equation du transport des espèces chimiques

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Y_i \mathbf{u}) = \nabla \cdot (\rho D \nabla Y_i) + \dot{\omega}_i'''$$

Equation de l'énergie

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}_c''' + \nabla \cdot \sum_{i=0}^N h_i \rho D_i \nabla Y_i + \nabla \cdot \lambda \nabla T - \nabla \cdot \mathbf{q}_r'' - \mathbf{q}_b'''$$

Equation du transfert radiatif

$$s \cdot \nabla I_\lambda(x, s) = -[\kappa_s(x, \lambda) + \sigma_s(x, \lambda)] I(x, s) + \kappa_s(x, \lambda) I_{b,s}(x, \lambda) + \frac{\sigma_s(x, \lambda)}{4\pi} \int_{4\pi} \Phi(s, s') I_\lambda(x, s') d\Omega'$$

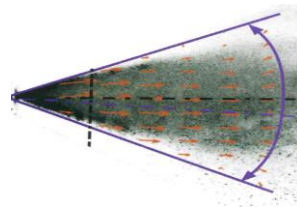
Equation de transport de suie (Nucléation / Grossissement / Oxydation)

$$\frac{\partial \rho M}{\partial t} + \frac{\partial [\rho M (\mathbf{u}_i + \mathbf{u}_i^{th})]}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Sc} \frac{\partial M}{\partial x_j} \right) = \dot{\omega}_{M,inc} + \dot{\omega}_{M,gro} + \dot{\omega}_{M,oxi}$$

MODELISATION NUMERIQUE (PHASE DISPERSÉE)

Trajectoire des gouttelettes

$$\frac{d}{dt} (m_d \mathbf{u}_d) = m_d \mathbf{g} - \frac{1}{2} \rho C_d \pi r_{d,i}^2 (\mathbf{u}_d - \mathbf{u}) |\mathbf{u}_d - \mathbf{u}|$$



Interaction fluide-particule

$$\text{Force de traînée : } F = \frac{1}{2} \frac{\sum_i \rho C_d \pi r_{d,i}^2 (\mathbf{u}_{d,i} - \mathbf{u}) |\mathbf{u}_{d,i} - \mathbf{u}|}{\delta V}$$

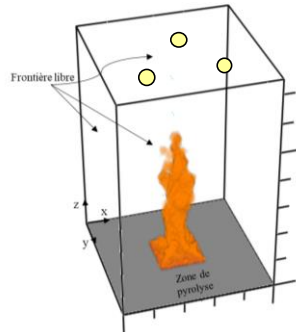
Distribution de taille des gouttelettes

Fonction cumulative volumique

(combinaison des distributions Log-normal et Rosin-Rammler)

$$F(d) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^d \frac{1}{\sigma d'} \exp\left(-\frac{[\ln(d'/d_m)]^2}{2\sigma^2}\right) dd' & (d \leq d_m) \\ 1 - \exp[-0.693(d/d_m)^y] & (d > d_m) \end{cases}$$

FEUX DE NAPPE EN MILIEU OUVERT



Configuration numérique

Domaine de calcul : $L = W = 2 \text{ m}$, $H = 1.5 \text{ m}$

Trois injecteur du brouillard d'eau

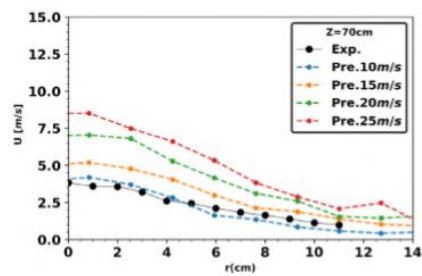
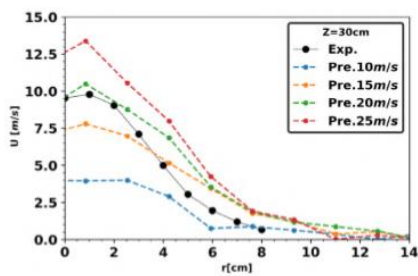
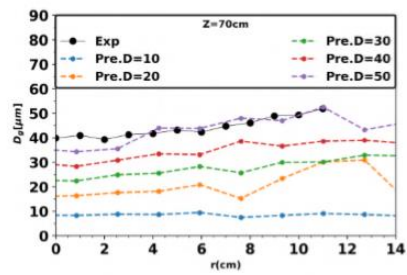
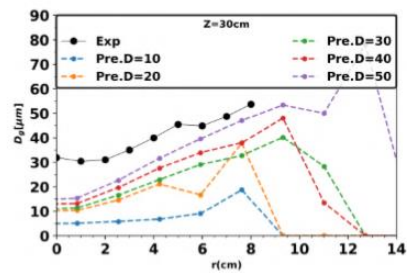
Diamètre du foyer : $D = 30 \text{ cm}$

Taille du maillage : $0.5 - 1 \text{ cm}$

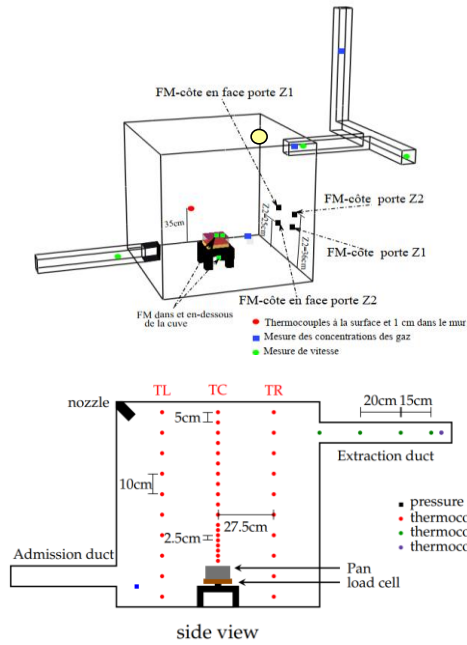
Temps physique : 60 s

Temps CPU: $48 - 72 \text{ h}$

Diametre de Sauter moyen et vitesse d'injection

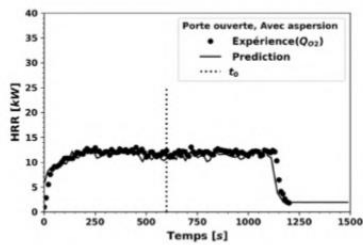


IMPACT DU BROUILLARD D'EAU SUR LE FEU EN MILIEU CONFINÉ

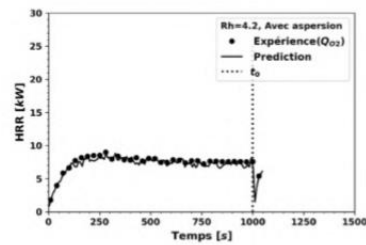
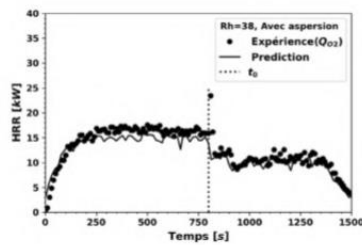


Température (gaz, paroi)
Flux de chaleur
Espèces chimiques (CO, O₂)
Vitesse
Pression

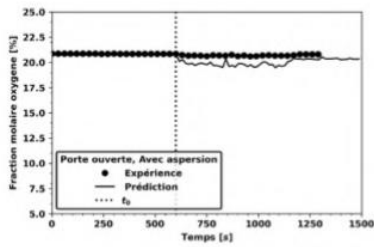
Impact du brouillard d'eau sur l'évolution de la puissance du feu en milieu confiné



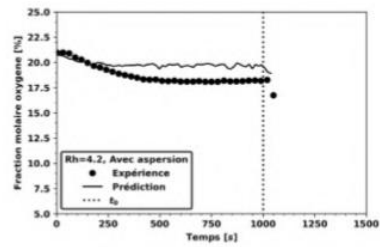
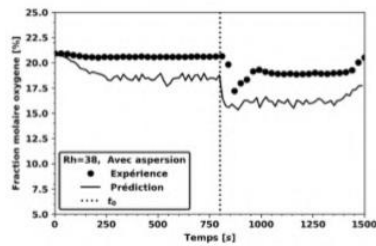
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4,2$ (C) $Rh = 38$

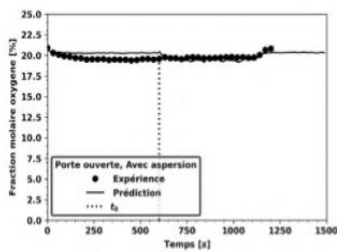
Impact du brouillard d'eau sur la concentration d'oxygène proche du foyer



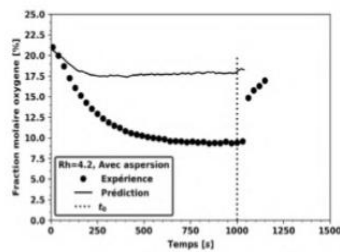
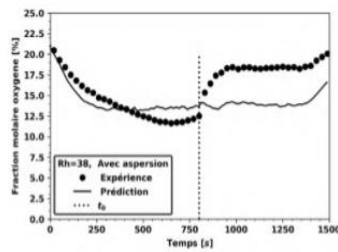
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4,2$ (C) $Rh = 38$

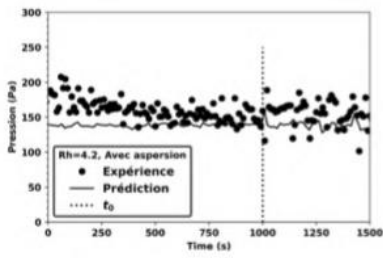
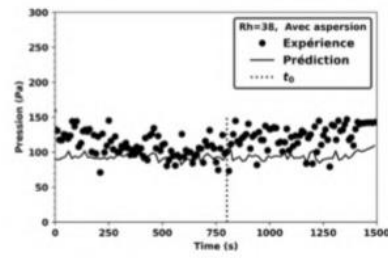
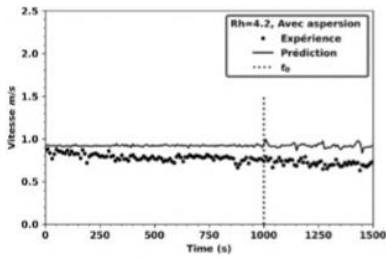
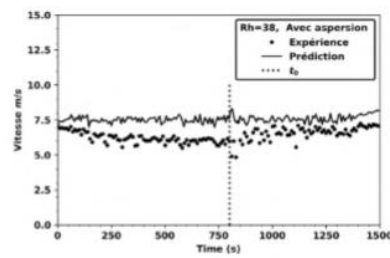
Impact du brouillard d'eau sur la concentration d'oxygène au niveau d'extraction



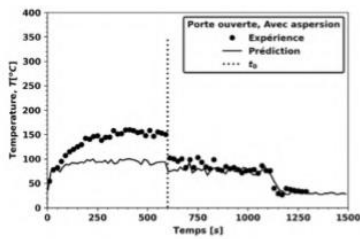
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4,2$ (C) $Rh = 38$

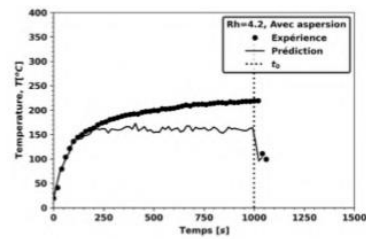
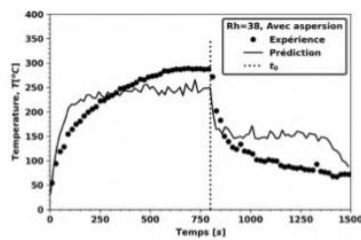
Evolution de la depression (P_0-P) et vitesse d'air à l'entrée de la gaine d'admission

(A) $Rh = 4,2$ (B) $Rh = 38$ (A) $Rh = 4,2$ (B) $Rh = 38$

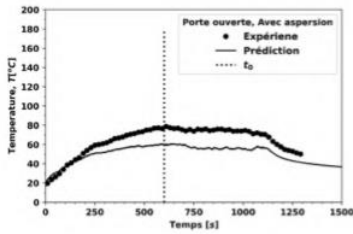
Evolution temporelle de la température au niveau du conduit d'extraction



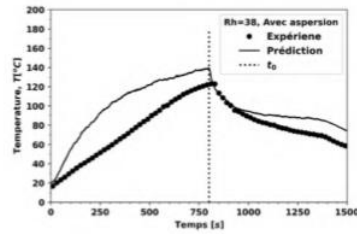
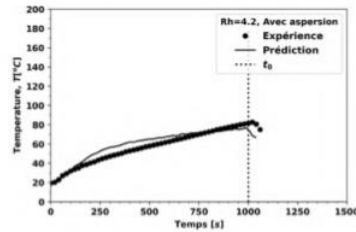
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4,2$ (C) $Rh = 38$

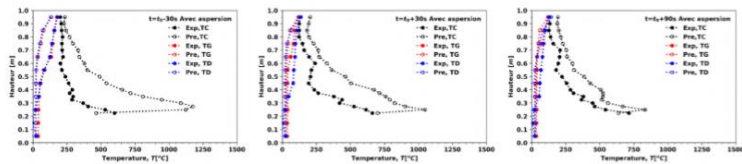
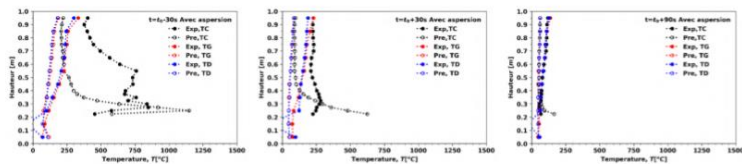
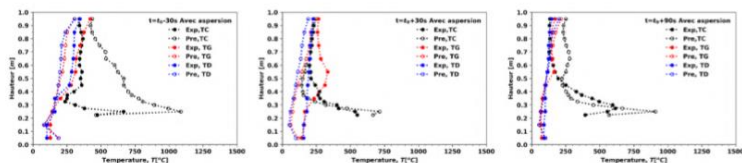
Evolution temporelle de la température au niveau de la paroi du caisson (h=36 cm)



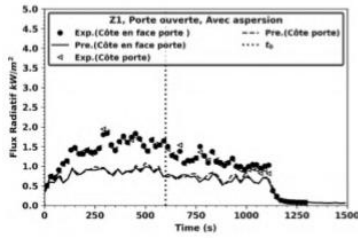
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4, 2$ (C) $Rh = 38$

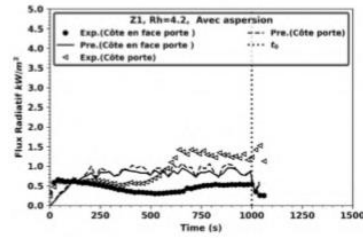
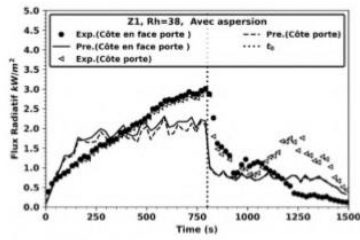
Profils de la température sur l'arbre central TC, TG, sans et avec brouillard d'eau

(A) $t=t_0-30s$, porte ouverte(B) $t=t_0+30s$, porte ouverte(C) $t=t_0+90s$, porte ouverte(D) $t=t_0-30s$, $Rh = 4, 2$ (E) $t=t_0+30s$, $Rh = 4, 2$ (F) $t=t_0+90s$, $Rh = 4, 2$ (G) $t=t_0-30s$, $Rh = 38$ (H) $t=t_0+30s$, $Rh = 38$ (I) $t=t_0+90s$, $Rh = 38$

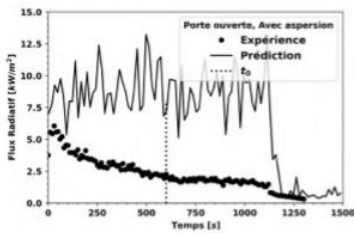
Evolution temporelle du flux radiatif reçu au niveau de la paroi du caisson (h=36 cm)



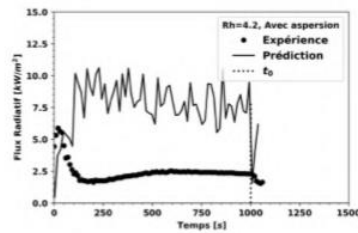
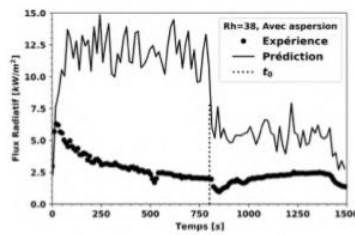
(A) porte ouverte

(B) $Rh = 4,2$ (C) $Rh = 38$

Impact du brouillard d'eau sur le flux radiatif à la surface du combustible liquide



(A) porte ouverte

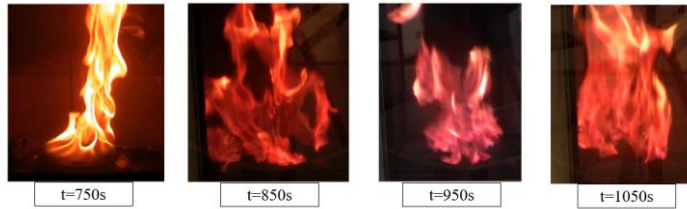
(B) $Rh=4,2$ (C) $Rh=38$

Conclusions et perspectives

RH<28, Flamme perturbée par l'injection des gouttelettes avec une extinction de flamme



RH>38, Flamme avec une expansion et un aplatissement de la flamme tourbillonnaire



Modèle de combustion (améliorations avec une cinétique chimique complexe)

Modèle de suie (transfert radiatif, flux de chaleur)