

Etude numérique du risque d'inflammation de fumées riches en mélanges gazeux inflammables en milieu confiné sous-ventilé

Présenté par : Brady Magnognou

Directeurs de thèse: Hui Ying Wang
Jean Pierre Garo

Institut P' • UPR CNRS 3346
SP2MI • Téléport 2
11, Boulevard Marie et Pierre Curie • BP 30179
F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex



SOMMAIRE

I-Contexte et Objectifs.

II-HVAC

III-Evaluation numérique du risque
d'inflammation des fumées

IV-Conclusion.

SOMMAIRE

I-Contexte et Objectifs.

II-HVAC

III-Evaluation numérique du risque
d'inflammation des fumées

IV-Conclusion.

I-Contexte et Objectifs

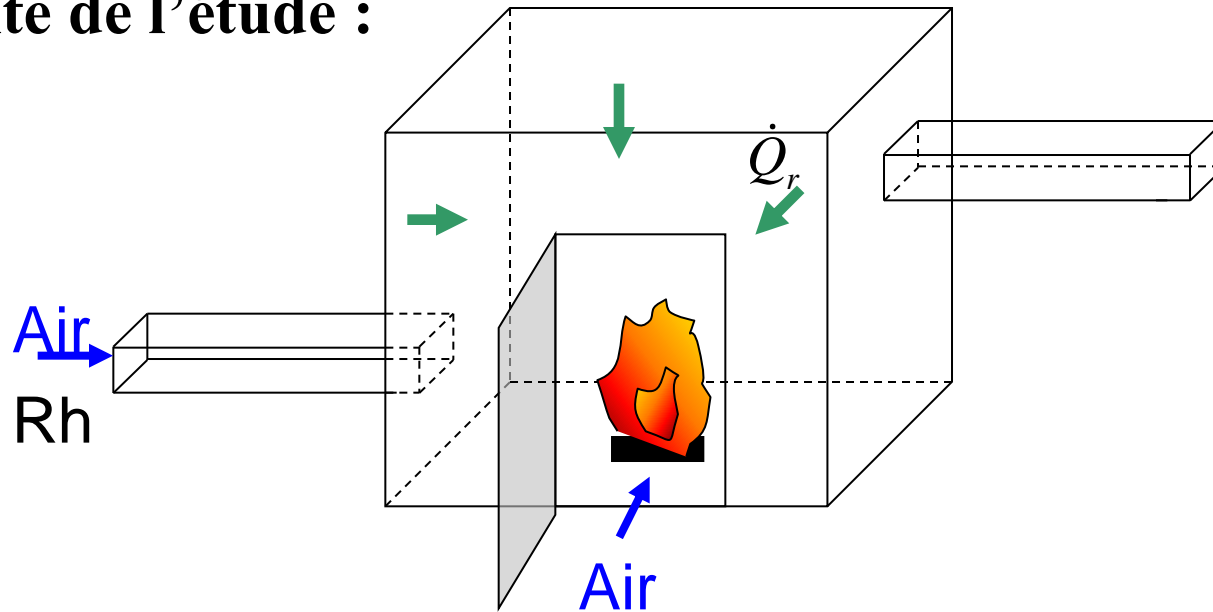
➤ Contexte

Observation expérimentale d'inflammations de gaz imbrûlés au cours d'un incendie en milieu confiné (Julie LASSUS)

→ Evaluation **numérique** du **risque d'inflammation des fumées** dans un **milieu confiné sous-ventilé**

I-Contexte et Objectifs

Contexte de l'étude :

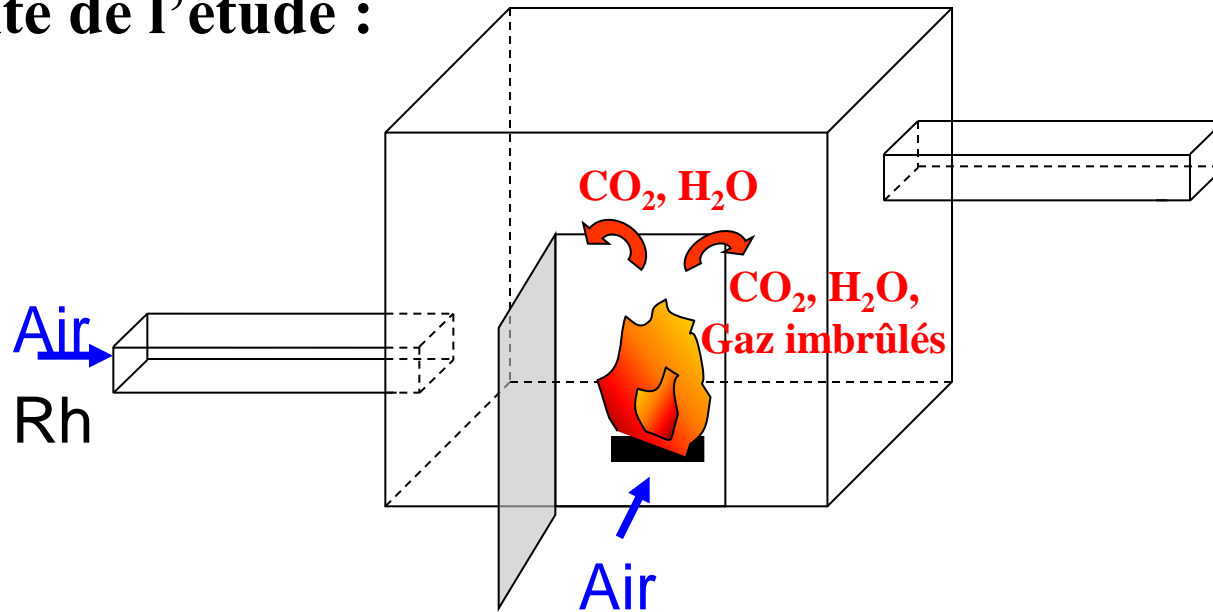


Pour une surface et un combustible donnés, la puissance développée par le feu dépend :

- de l'apport en O_2 provenant du local et de la ventilation :
 - Ventilation mécanique \rightarrow par le Renouvellement horaire (Rh)
- des transferts thermiques :
 - rayonnements des parois : Température du local
 - convection turbulente

I-Contexte et Objectifs

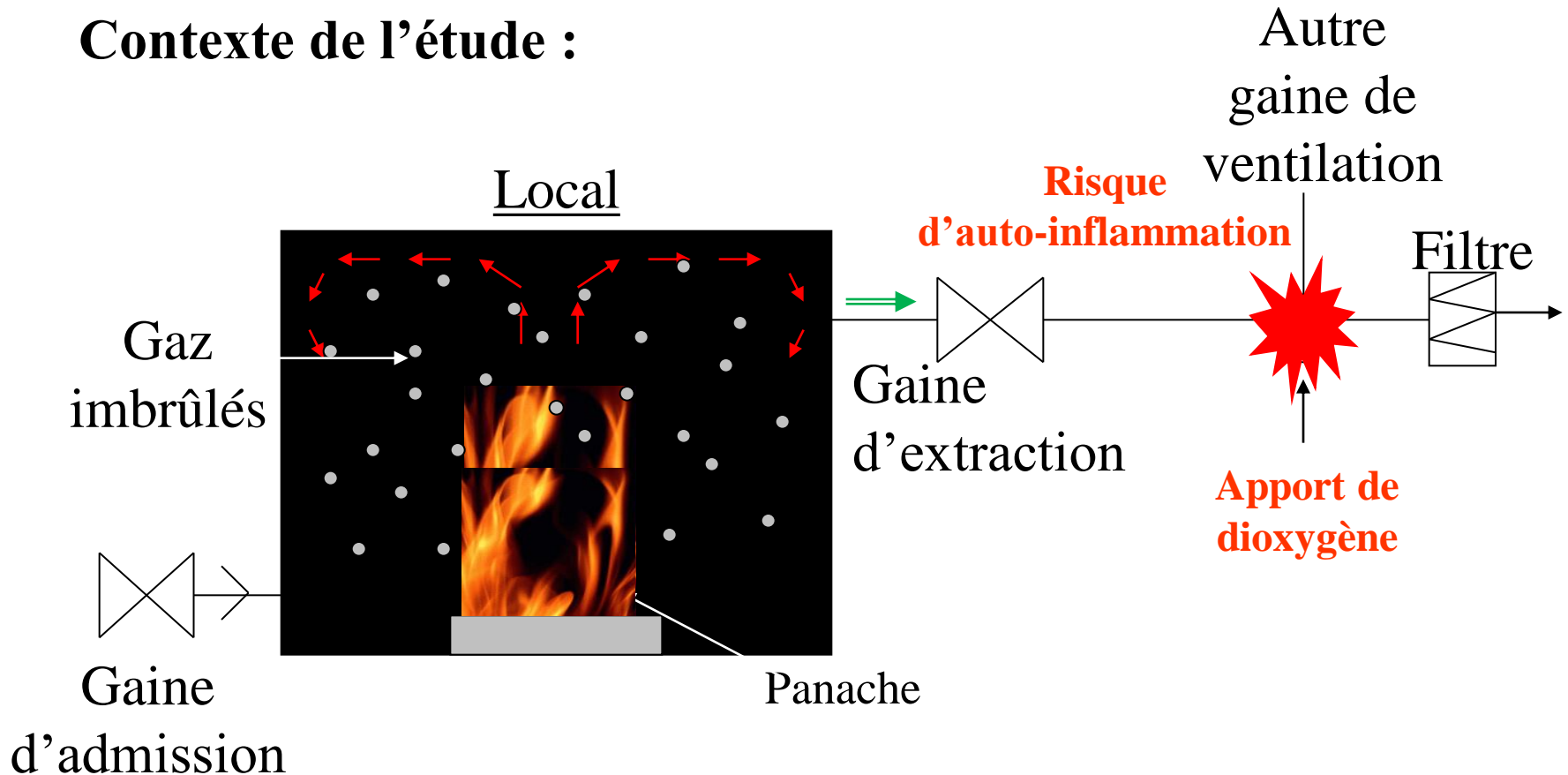
Contexte de l'étude :



- **Feu suffisamment oxygéné** : Réaction quasi-complète,
Production de **CO₂** et de **H₂O**
- **Feu sous-oxygéné** : Réaction incomplète, production de **gaz imbrûlés** :
CO, H₂, C_xH_y (ex : CH₄, C₂H₂, ...)

I-Contexte et Objectifs

Contexte de l'étude :



- **Problématique d'inflammation des gaz imbrûlés dans les fumées**
- **Manque d'O₂ → production de gaz imbrûlés**

• **Apport d'oxygène → risque d'auto-inflammation d'une autre gaine de ventilation**

I-Contexte et Objectifs

➤ Objectifs :

- ❑ Déterminer numériquement les conditions à froid, afin d'avoir les bonnes **conditions aux limites** et de connaître les **écoulements à froid** dans le l'installation
- ❑ Déterminer numériquement durant un feu les grandeurs physiques telles que:
 - La **dépression** et la **puissance** du feu dans le caisson;
 - La **température** et la **production** des espèces dans le conduit d'extraction;
- ❑ Prédire numériquement le **risque d'inflammation** des fumées riches en gaz imbrûlés;

SOMMAIRE

I-Contexte et Objectifs

II-HVAC

III-Evaluation numérique du risque
d'inflammation des fumées

IV-Conclusion.

II-HVAC : Méthode utilisée


Pourquoi le système HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) ?

- ❑ Retrouver les conditions limites dans l'ensemble de la configuration :
 - La conservation des débits au niveau des conduits d'entrée d'air et du conduit de sortie d'air;
 - La dépression présente dans le caisson lors des essais expérimentaux.

❑ HVAC est basé sur le solveur thermo-hydraulique :

- La conservation de masse : $\sum_j \rho_j u_j A_j = 0$
- La conservation d'énergie: $\sum_j \rho_j u_j A_j h_j = 0$
- La conservation de la quantité de mouvement:

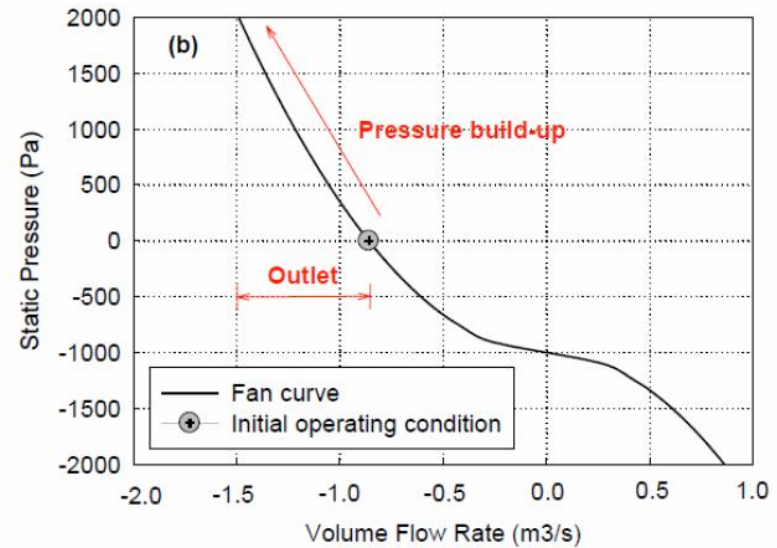
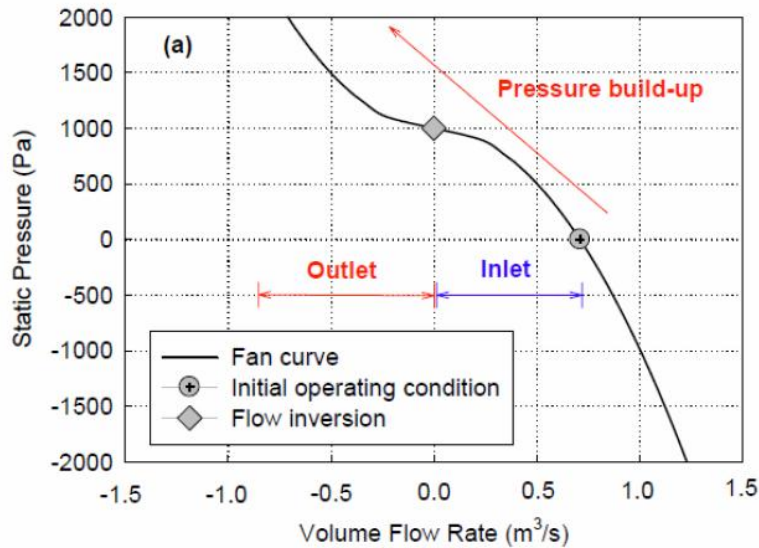
j : nom du conduit
i et k : les nœuds du conduit
A : section du conduit
u : vitesse dans le conduit
K : perte de charge
 ΔP : différence de pression
L : longueur du conduit
 ρ : la densité du fluide


$$\rho_j L_j \frac{du_j}{dt} = (p_i - p_k) + (\rho g \Delta z)_j + \Delta p_j - \frac{1}{2} K_j \rho_j |u_j| u_j$$

II-HVAC: Méthode utilisée

□ Modélisation de la méthode :

- Avoir la bonne courbe caractéristique du ventilateur.



- La connaissance de l'équation décrivant la courbe du ventilateur définie par :

$$\dot{V}_{fan} = \dot{V}_{max} \cdot \text{sign}(\Delta p_{max} - \Delta p) \cdot \sqrt{\frac{|\Delta p - \Delta p_{max}|}{\Delta p_{max}}}$$

II-HVAC: Méthode utilisée

□ Modélisation de la méthode :

- Débit du ventilateur + conservation du débit → présence de fuites dans l'installation

$$\dot{V}_{fan} = \dot{V}_{adm} + \dot{V}_{dil} + \dot{V}_{Leaks}$$

- Trouver les pertes de charges à assigner au conduit afin d'avoir les conditions limites souhaitées, en utilisant l'équation de la quantité de mouvement simplifiée :

$$K = \frac{2 \cdot \Delta p_{nodes}}{\rho_{air} \cdot u_{duct}^2}$$

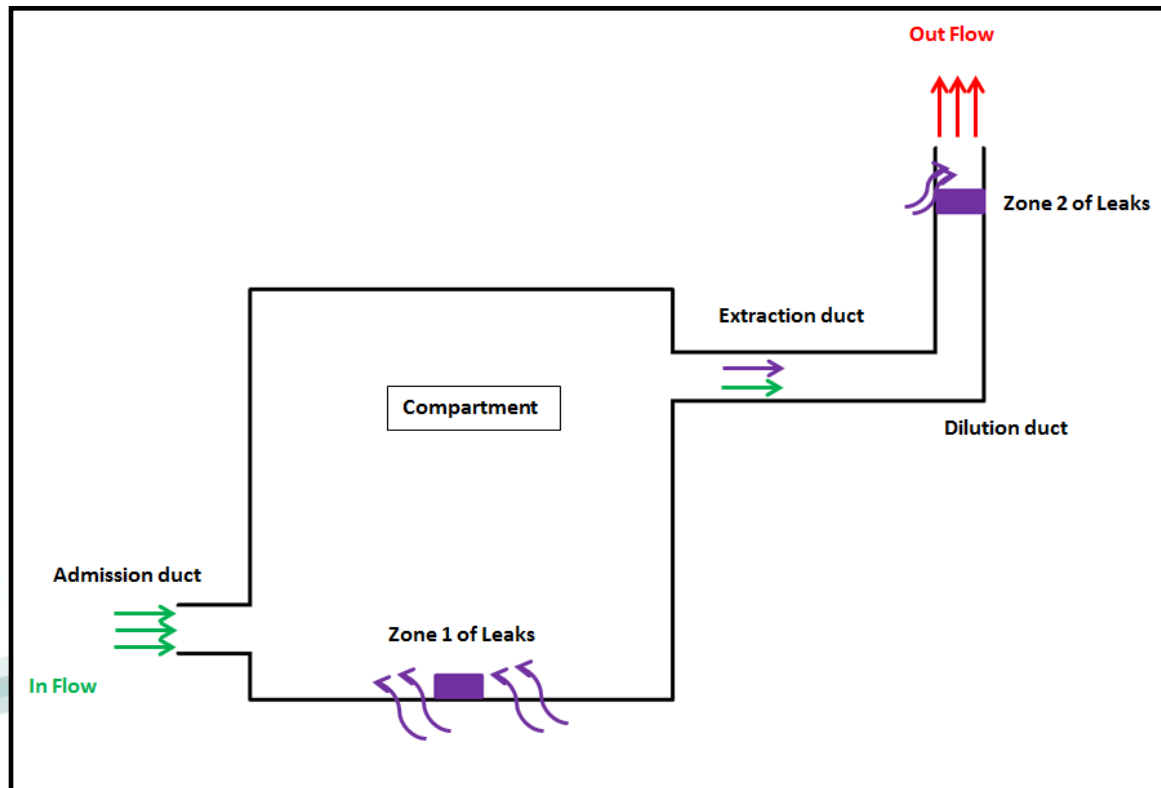
II-HVAC: Méthode utilisée

❑ Modélisation de la méthode :

- De la connaissance du débit de fuite, on peut déduire l'aire totale de fuite dans notre configuration en utilisant l'équation :

$$\dot{V}_{leak} = A_L \cdot \text{sign}(\Delta p) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{|\Delta p|}{\rho_\infty}} \quad \text{Soit :} \quad A_L = \frac{\dot{V}_{leak}}{\text{sign}(\Delta p) \cdot \sqrt{2 \cdot (|\Delta p|/\rho_\infty)}}$$

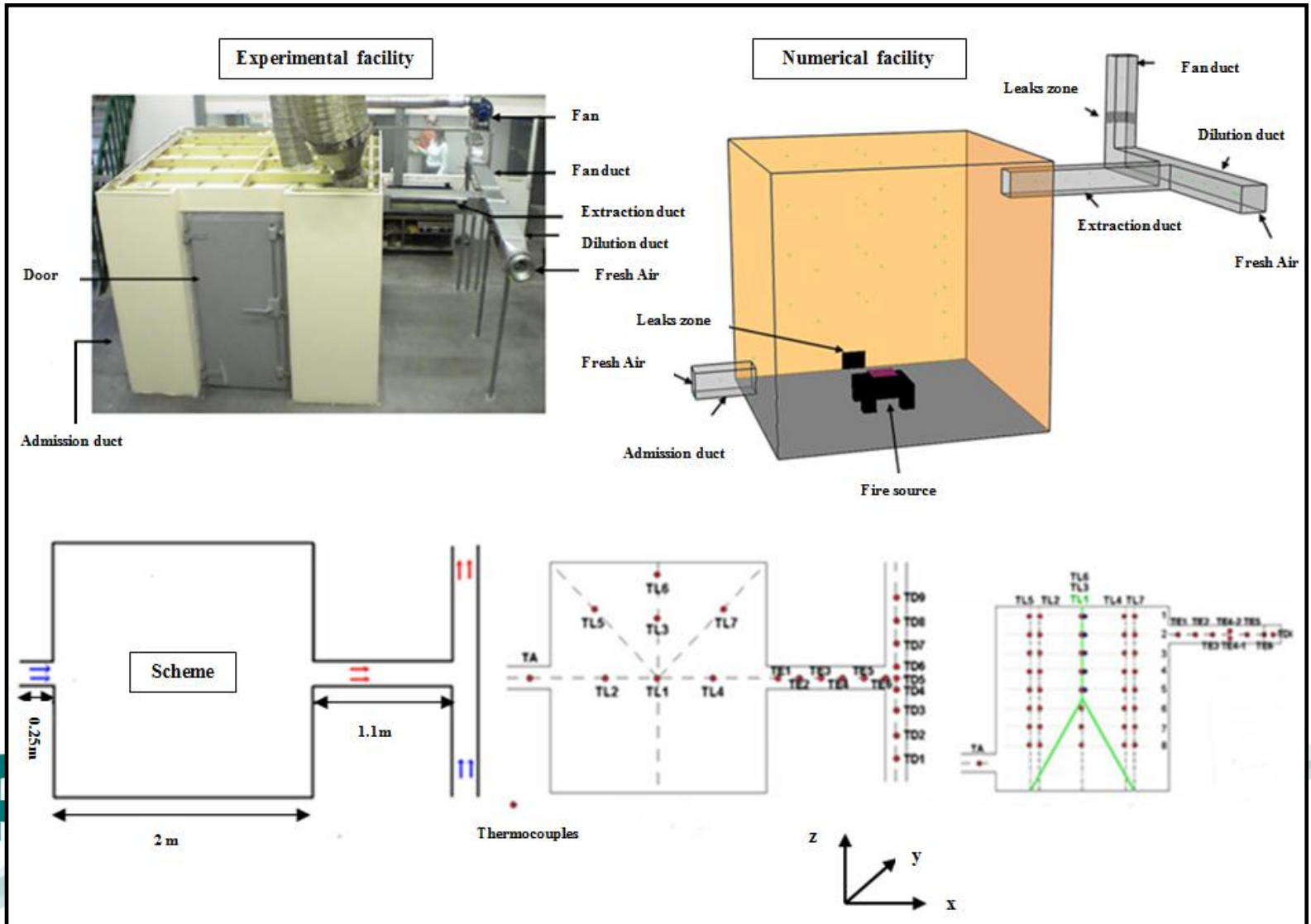
❑ Schéma de la méthode :



II-HVAC: Méthode utilisée

❑ Calibration des fuites :

➤ Schéma de la configuration numérique :



II-HVAC : Quelques résultats.

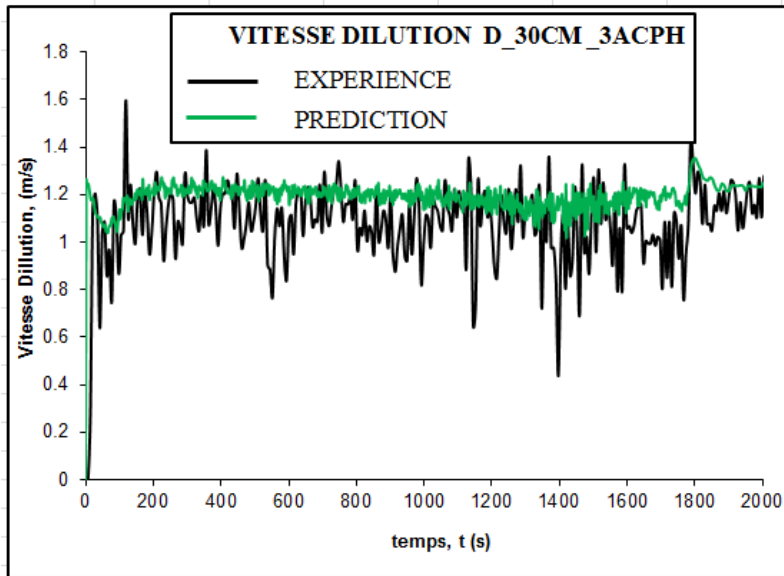
❑ Résultats à froid :

TEST	Experimental pressure (Pa)	Numerical pressure (Pa)	Difference (Pa)	Error (%)
H 23CM 3ACPH	-99.66	-100.93	1.27	1.274
H 30CM 3ACPH	-99.66	-100.93	1.27	1.274
H 23CM 5 ACPH	-92.72	-93.5	0.78	0.84
H 30CM 5 ACPH	-71.87	-72.89	1.02	1.42
D 30CM 3 ACPH	-93.82	-94.64	0.82	0.874
D 40CM 3 ACPH	-80.49	-81.63	1.14	1.416
D 30CM 5 ACPH	-78.87	-79.6	0.63	0.8
D 40CM 5 ACPH	-64.12	-65.97	1.85	2.89
D 40CM 5 ACPH INF	-64.12	-65.97	1.85	2.89

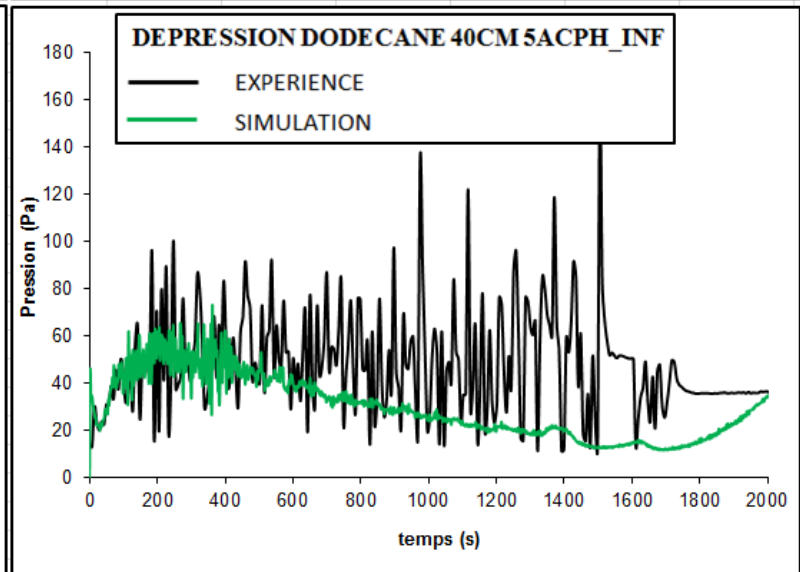
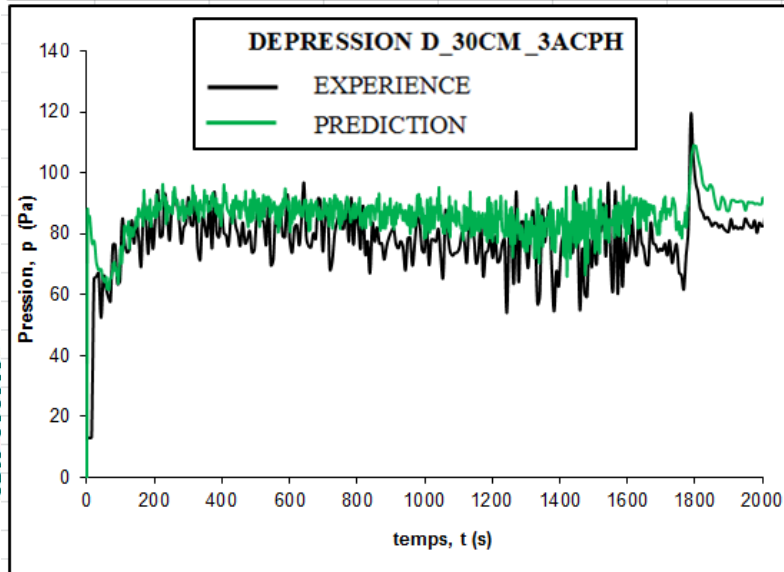
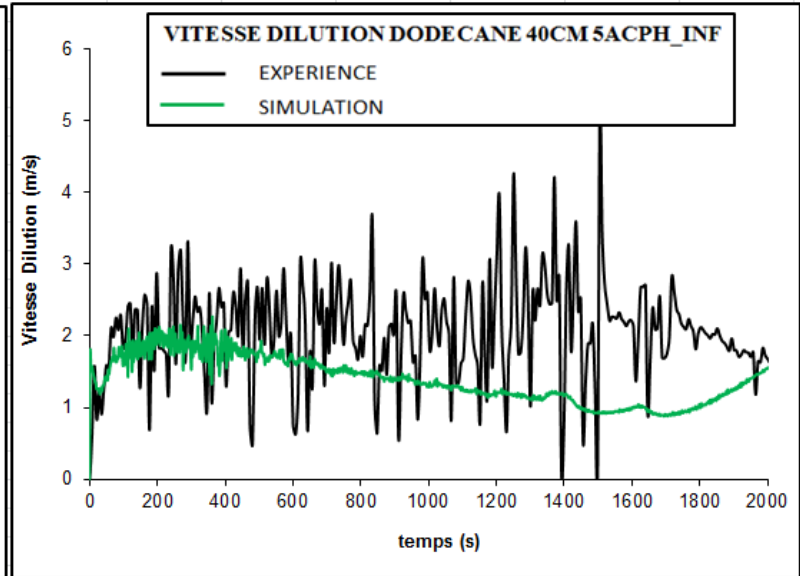
II-HVAC : Quelques résultats.

❑ Résultats à chaud :

Cas légèrement Sous Ventilé



Cas Très Sous Ventilé



SOMMAIRE

I-Contexte et Objectifs

II-HVAC

**III-Evaluation numérique du risque
d'inflammation des fumées**

IV-Conclusion.

III-Evaluation numérique du risque d'inflammation des fumées

Température du mélange gazeux prédit \longleftrightarrow TAI

Concentration du mélange gazeux prédit \longleftrightarrow LII

Si Température mélange \geq TAI
Et Concentration mélange \geq LII \longrightarrow Risque présent

La TAI sera celle du combustible étudié

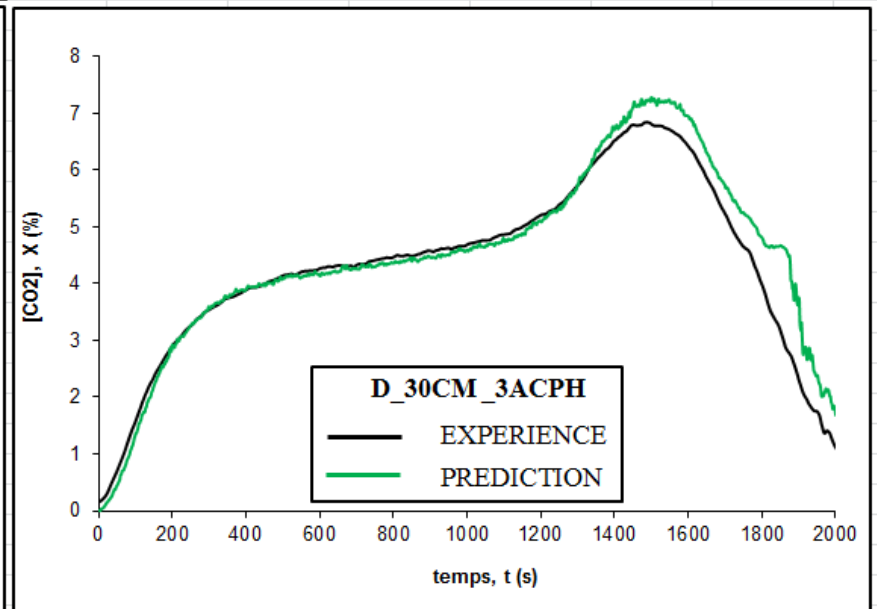
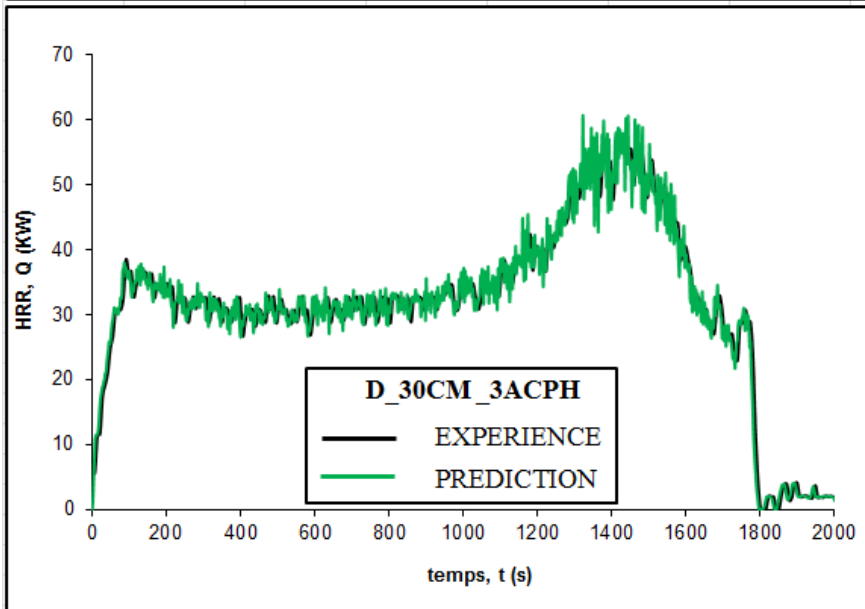
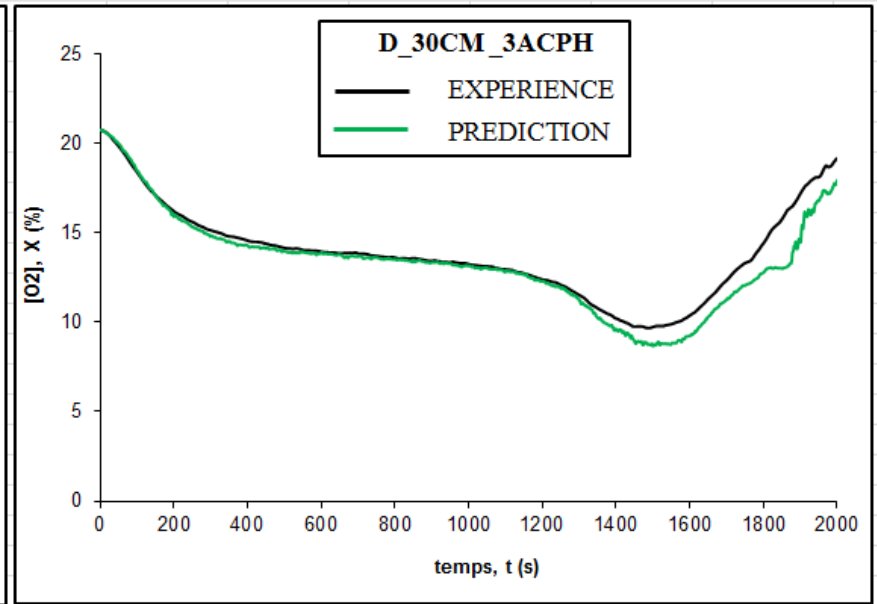
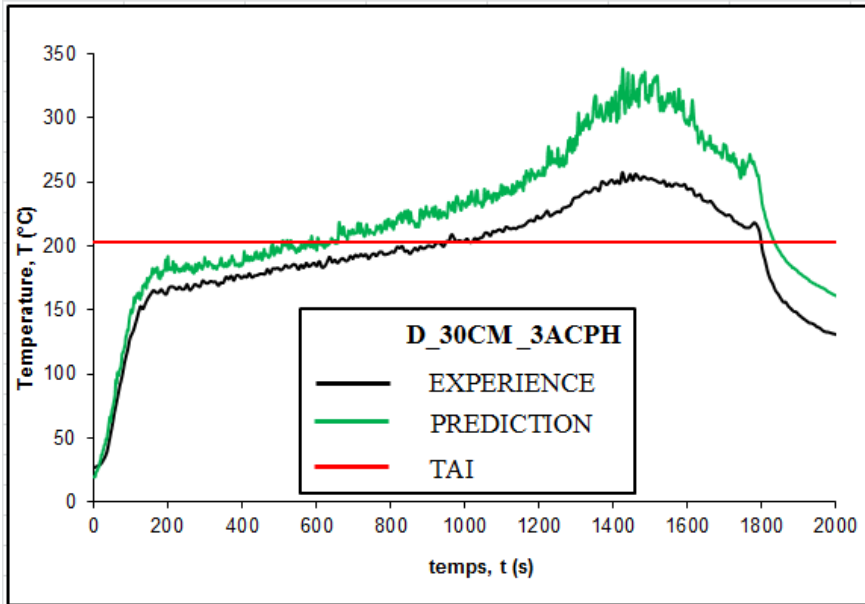
La LII du mélange sera déterminée en utilisant la loi de Burgess-Wheeler et la loi de Le Châtelier

$$\text{Burgess-Wheeler : } LII(T_2) = LII(T_1) \cdot \left(1 - \frac{T_2 - T_1}{1300 - T_1}\right)$$

$$\text{Le Châtelier : } LII = \frac{100}{\sum_i \frac{X_i}{LII_i}}$$

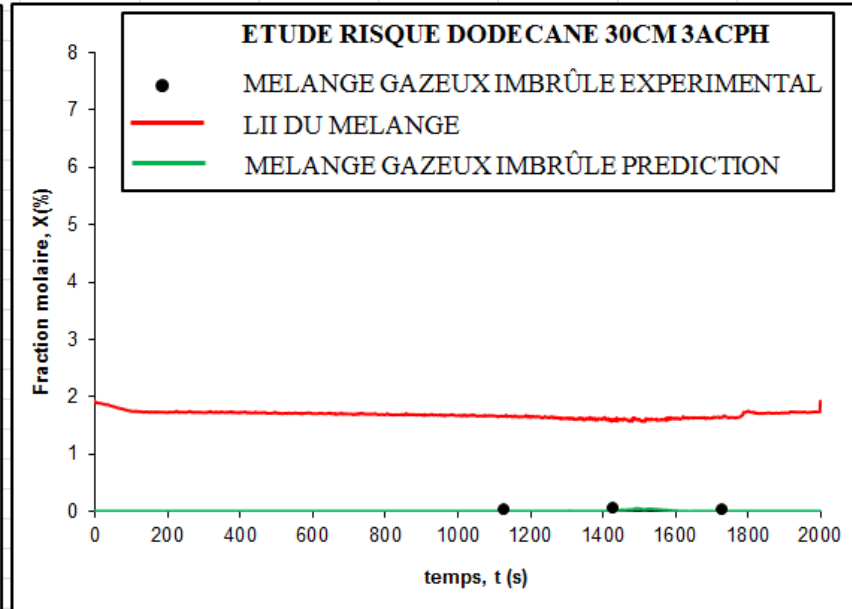
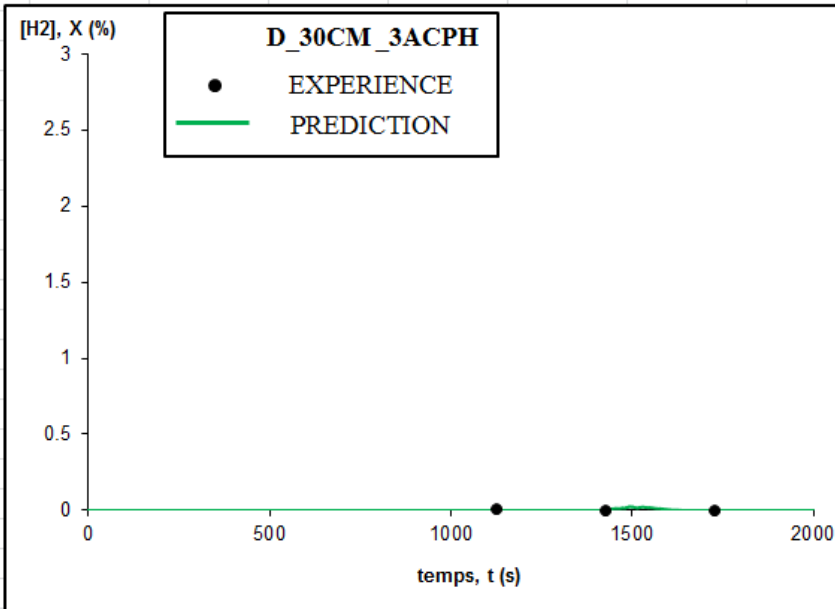
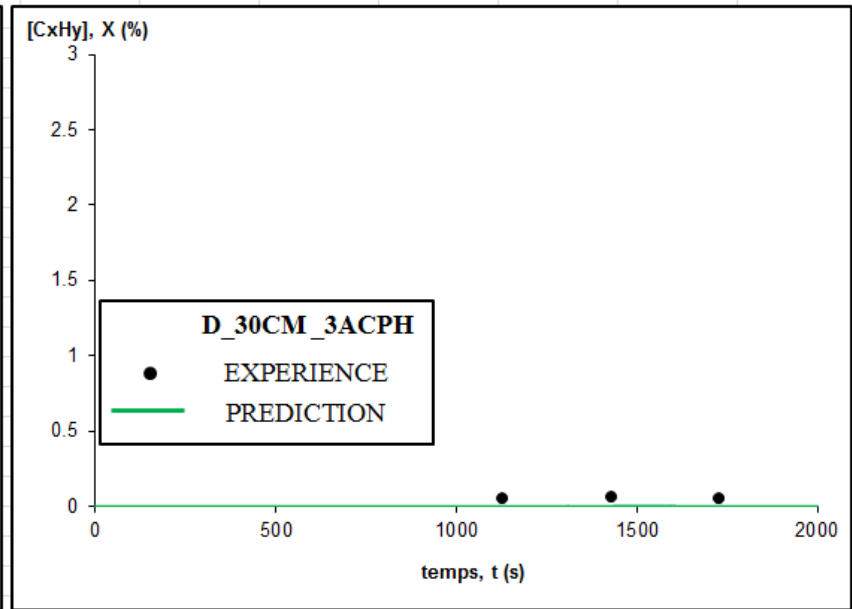
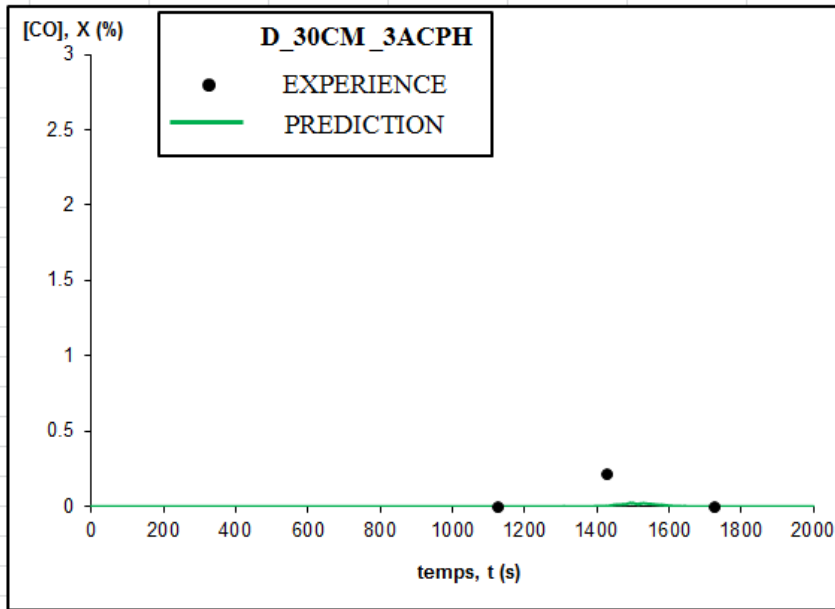
III-Evaluation numérique du risque d'inflammation des fumées

❑ Feu de dodécane en régime légèrement sous-ventilé à 3 ACPH :



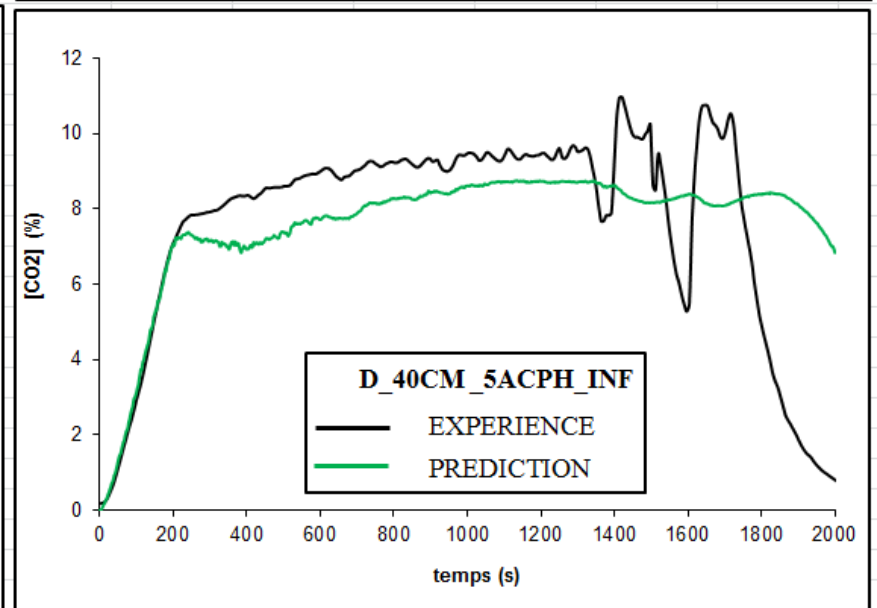
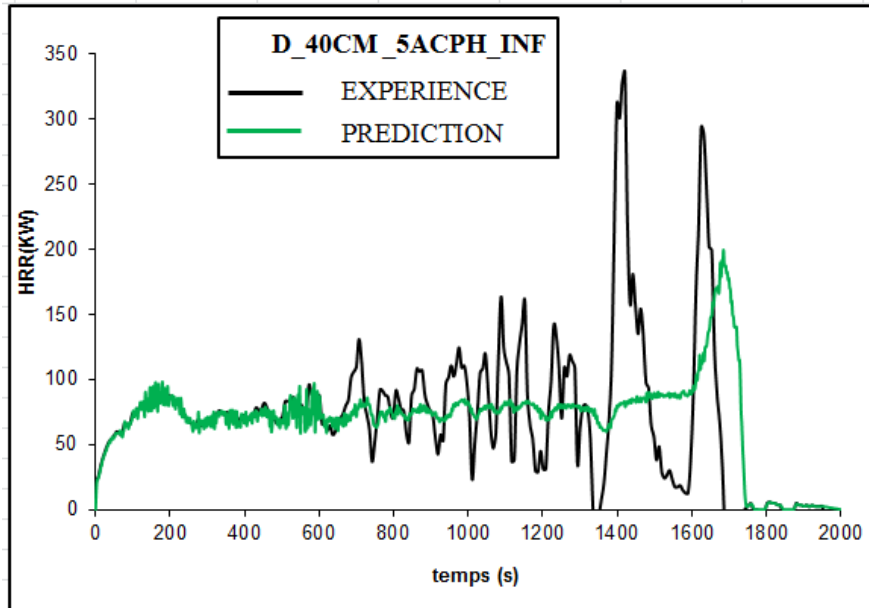
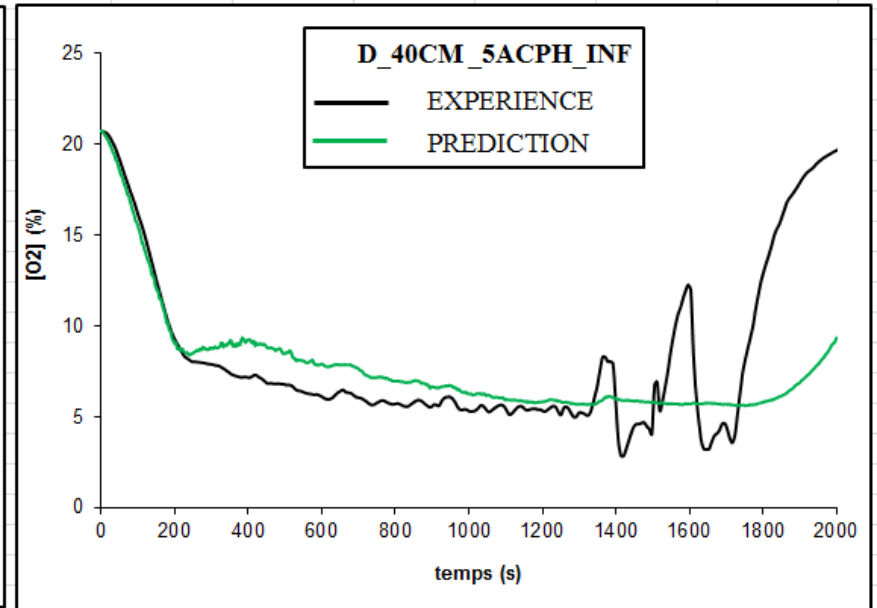
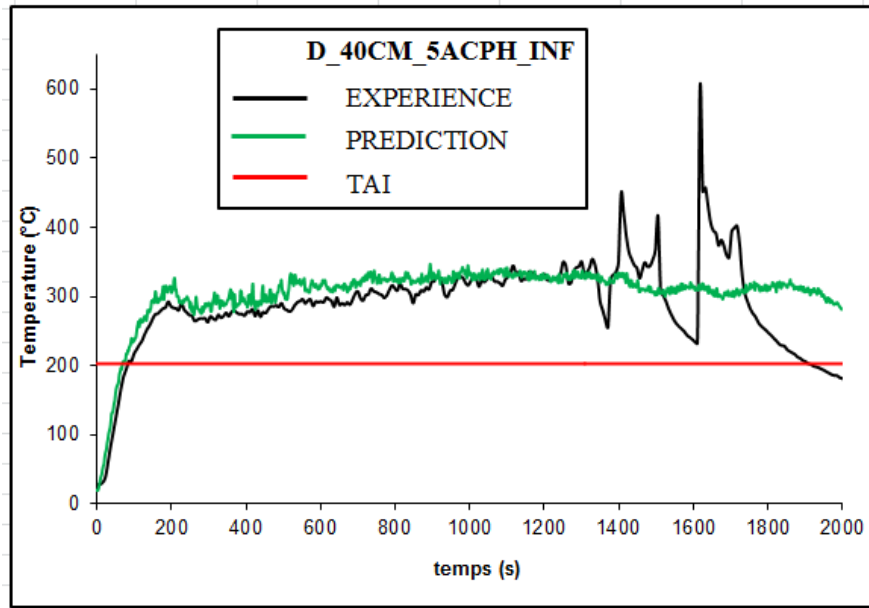
III-Evaluation numérique du risque d'inflammation des fumées

☐ Feu de dodécane en régime légèrement sous-ventilé à 3 ACPH :



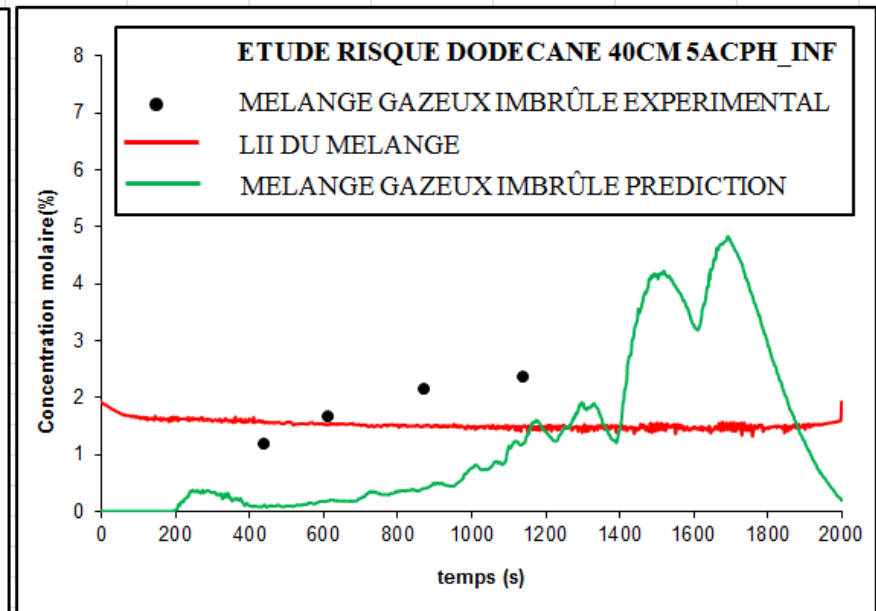
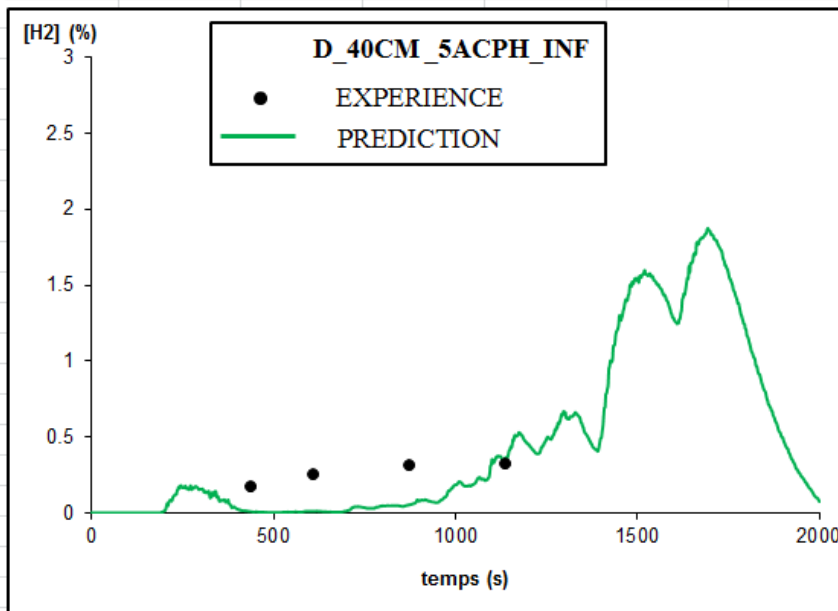
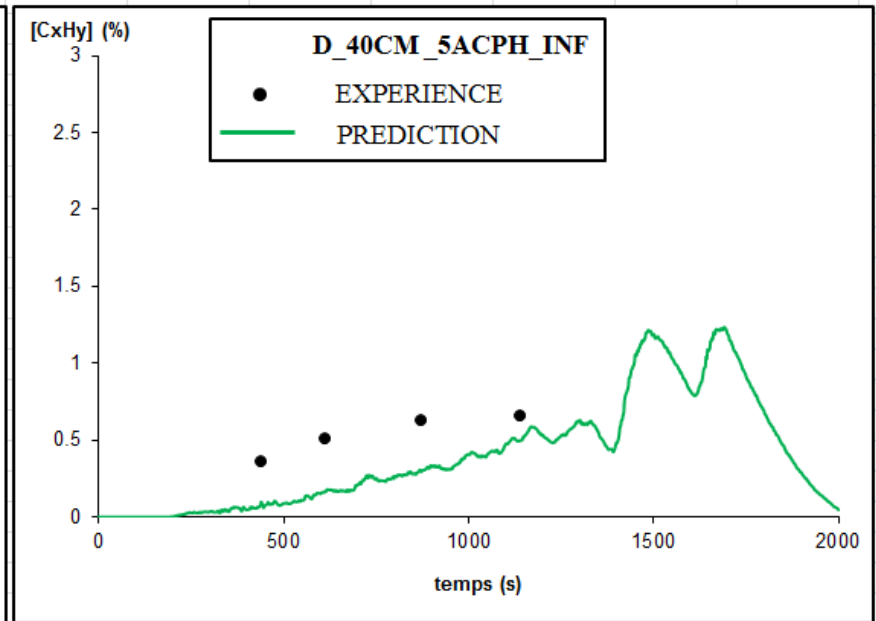
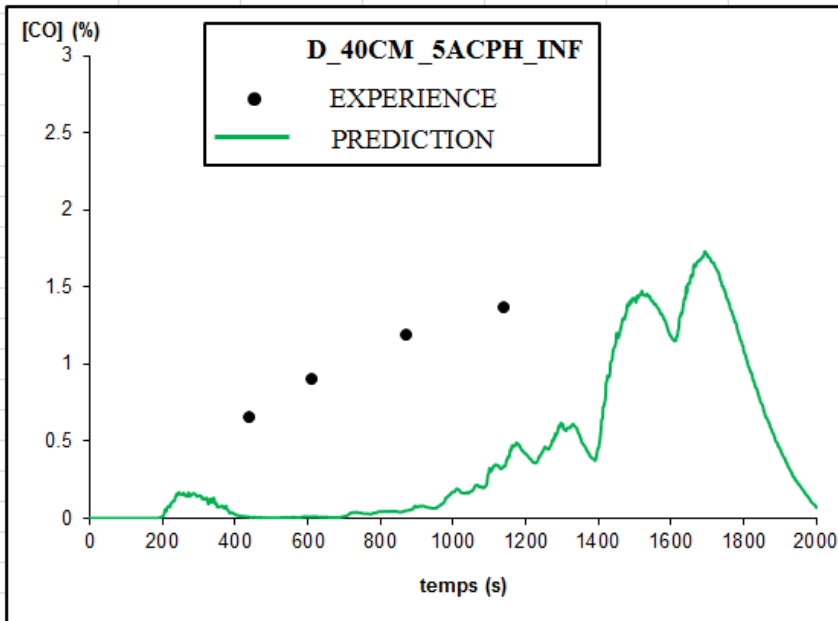
III-Evaluation numérique du risque d'inflammation des fumées

❑ Feu de dodécane en régime très sous-ventilé à 5 ACPH avec INF :



III-Evaluation numérique du risque d'inflammation des fumées

☐ Feu de dodécane en régime très sous-ventilé à 5 ACPH avec INF :



SOMMAIRE

I-Contexte et Objectifs

II-HVAC

III-Evaluation numérique du risque
d'inflammation des fumées

IV-Conclusion.

IV-Conclusion

- ✓ bien définir les paramètres du réseau de ventilation, appelé ici HVAC en fonction des données expérimentales à froid;
 - bonne prédiction numérique →évaluer des risques d'inflammation de fumées.

- ✓ En cours : étude d'autres cas de configurations , notamment :
 - Admission fermée;
 - Foyer avec cible
 - Essais expérimentaux.

- ✓ Perspectives : tenter de retrouver ces grandeurs par le couplage du transfert de chaleur et de masse.

Merci pour votre
attention!