



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

Auteurs : Arnaud Le BORGNE et Julien TISSOT

arnaud.le-borgne@cea.fr

julien.tissot@cea.fr

Stagiaires AREVA / CEA

Stage effectué au CEA-FAR / DPSN

Pour obtenir : Mater MEPI UHP Nancy 1

Sous la Direction de Penh LAMUTH

penh.lamuth@cea.fr



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

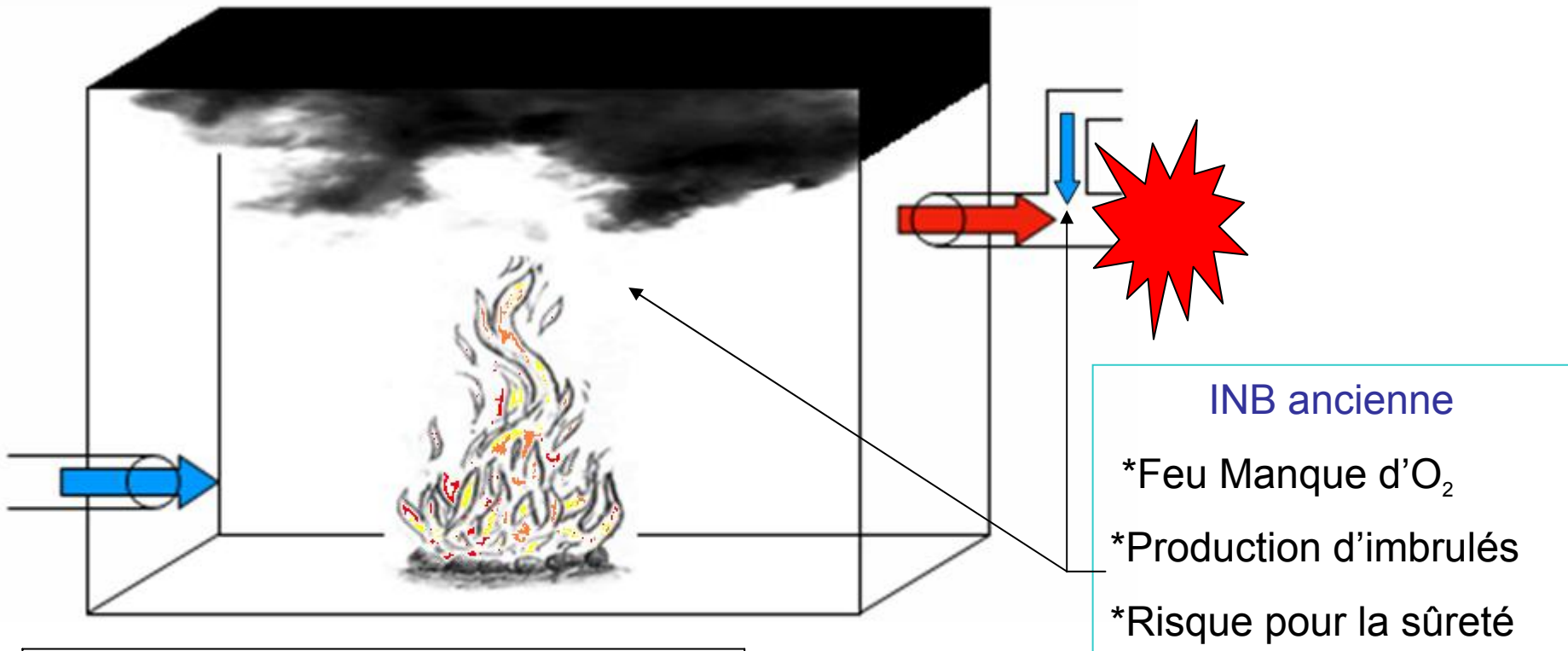
PLAN DE PRESENTATION

1. Position du problème
2. Hypothèse simplificatrices retenues
3. Conditions initiales et aux limites
4. Modélisation
5. Résultats recherchés
6. Tests du modèle
7. Discussions



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

1. Problème posé : Résistance et Etanchéité du conduit de ventilation





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

2. Hypothèses simplificatrices retenues

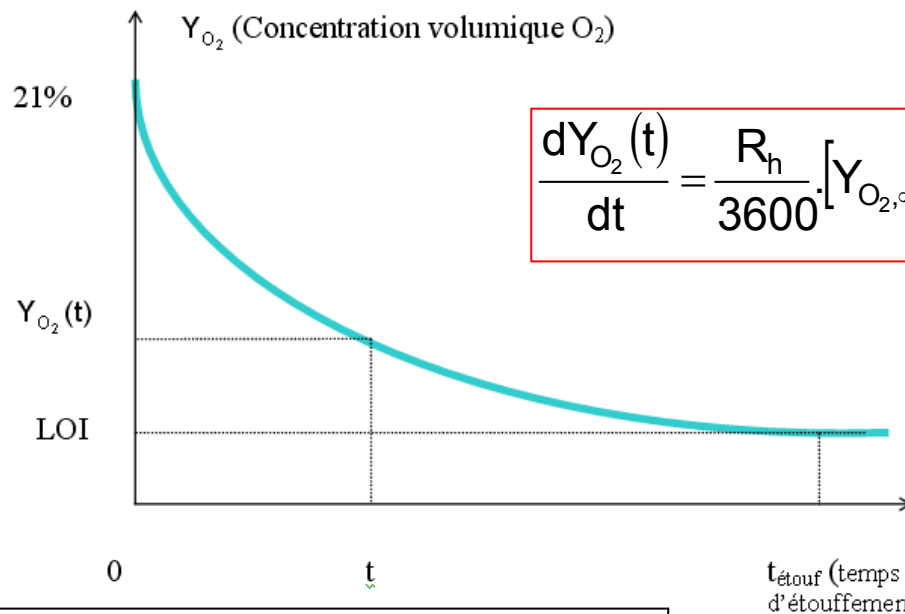
a - Gaz parfait

b - Homogénéisation spatiale x, y et z : P, T, O₂, etc.

c - Titre en Oxygène (Y_{O₂}) :

d - Formation d'imbrulée entre 15 % et LOI de O₂

e - Formation de CO connue (ex. limitée à 10%)



$$\frac{dY_{O_2}(t)}{dt} = \frac{R_h}{3600} \cdot [Y_{O_2,\infty} - Y_{O_2}(t)] - \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty V \Delta H_{R,O_2}}$$



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

3. Conditions initiales et aux limites

Paramètres

- | | |
|---|--|
| 1. Local feu : dimensions géométriques et données caractéristiques des parois | 5. Concentration minimale de O_2 (LOI) |
| 2. Pression et Température initiales | 6. Limite de formation du CO |
| 3. Nature du Combustible | 7. Ventilation forcée : taux de renouvellement horaire avant feu |
| 4. Puissance du feu | * Soufflage en fonctionnement ou non |
| | * Extraction en fonctionnement |



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4. Modélisation

Elle repose principalement sur deux bilans :

- A. Bilan thermique
- B. Bilan massique

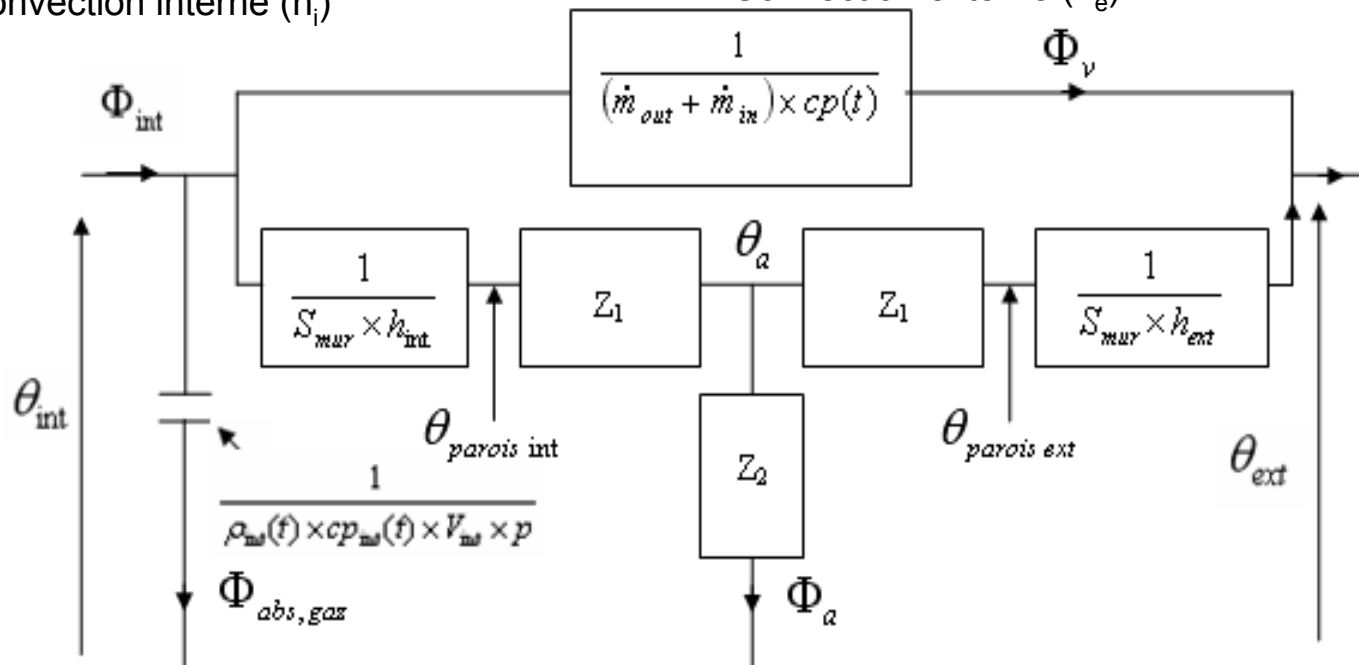
Tout deux reliés par l'équation des gaz parfaits



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.1 Bilan thermique : Analogie électrique

- Puissance du feu (Φ_{int})
- Inertie thermique des parois (λ, ρ, C_p)
- Convection interne (h_i)
- Conduction de chaleur dans les parois (Transformée Laplace)
- Convection externe (h_e)





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.2 Résolution (température moyenne des gaz)

$$\theta_{\text{int}}(p) = \frac{B(p) \times \left(\Phi_{\text{int}} \times R_v + \theta_{\text{int}}(0) \times (A(p) - 1) + \theta_{\text{ext}} \left(1 + \frac{C(p) \times Z_2}{(Z_1 + R_e) \times B(p)} \right) \right) + C(p) \times \theta_a(0)}{B(p) \times A(p) + R_v}$$

$$A(p) = 1 + C \times p \times R_v$$

$$B(p) = R_{\text{conv,int}} + Z_1 + \frac{Z_2 \times (Z_1 + R_{\text{conv,ext}})}{Z_2 + Z_1 + R_{\text{conv,ext}}}$$

$$C(p) = \frac{(Z_1 + R_e) \times R_v}{Z_2 + Z_1 + R_{\text{conv,ext}}}$$

$$Z_1 = \frac{\cosh\left(e \times \sqrt{\frac{p}{a}}\right) - 1}{S_{\text{mur}} \times \lambda_{\text{mur}} \times \sqrt{\frac{p}{a}} \times \sinh\left(e \times \sqrt{\frac{p}{a}}\right)}$$
$$Z_2 = \frac{1}{S_{\text{mur}} \times \lambda_{\text{mur}} \times \sqrt{\frac{p}{a}} \times \sinh\left(e \times \sqrt{\frac{p}{a}}\right)}$$



Modélisation des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.3 Bilan massique (1/3)

Equation de combustion

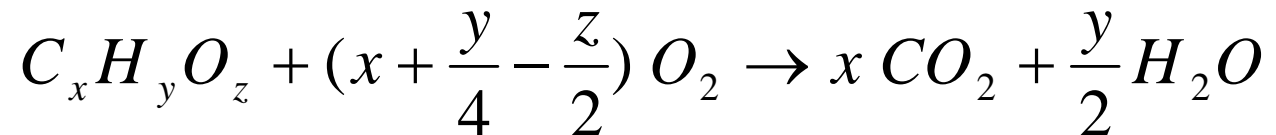


Consommation de combustible avec prise en compte du bilan d'O₂



Produits de combustion engendrés :

Excès de O₂ : combustion complète (exemple YO₂ > 15%)

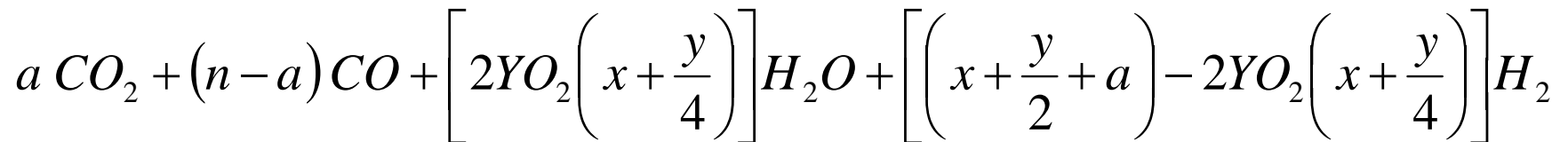
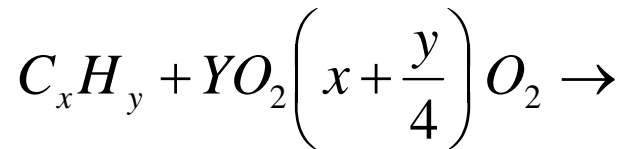




Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.3 Bilan massique (2/3)



Défaut de O_2 : combustion incomplète (exemple $15 \% > Y_{O_2} > LOI$)





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.3 Bilan massique (3/3)

- Soufflage  entrée d'air ou non
- Extraction  sortie de mélange

L' équation bilan devient donc :




$$m_{\text{int}}(t+ dt) = m_{\text{int}}(t) + m_{\text{prod}} + m_{\text{entrée}} - m_{\text{cons}} - m_{\text{sortie}}$$



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.4 Modélisation de la ventilation d'extraction mécanique

* Dilatation des gaz issue du bilan thermique

T   P  : $PV = \rho rT \Leftrightarrow P = \frac{\rho rT}{V}$

* Pertes de Charges représentées par un coefficient global de résistance
aéraulique

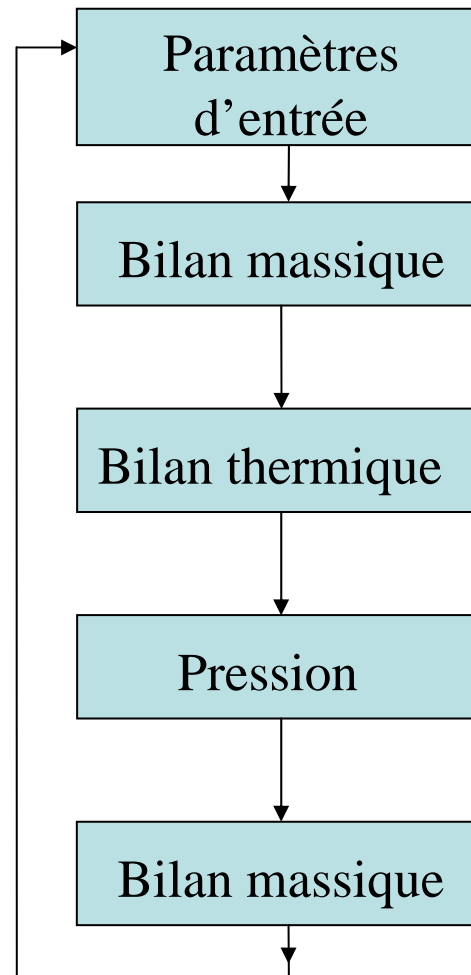


$$\text{Débit d'extraction} = D_{\text{Méca}} + D_{\text{Dilat}} - D_{\text{Perte de Charge}}$$



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

4.5 Organigramme de calcul pour chaque pas de temps





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

5. Résultats recherchés

- Température et pression dans local feu et dans conduit de ventilation d'extraction jusqu'à la dilution
- Capacité calorifique des gaz formés
- Titres Volumiques des espèces chimiques ($V \text{ espèces} / V \text{ total}$)
- Débits massique et volumique sortants



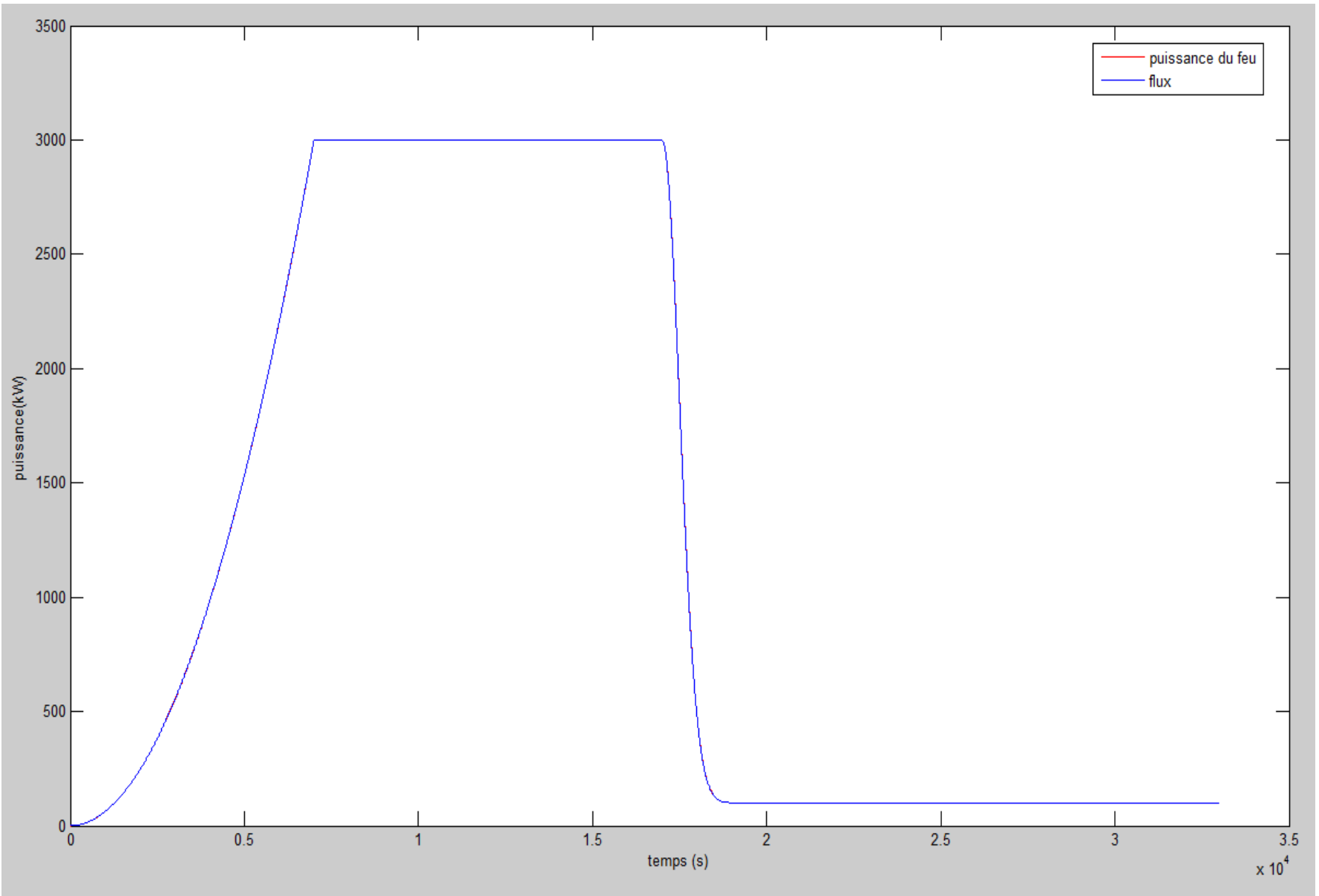
Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

6. Tests des formules

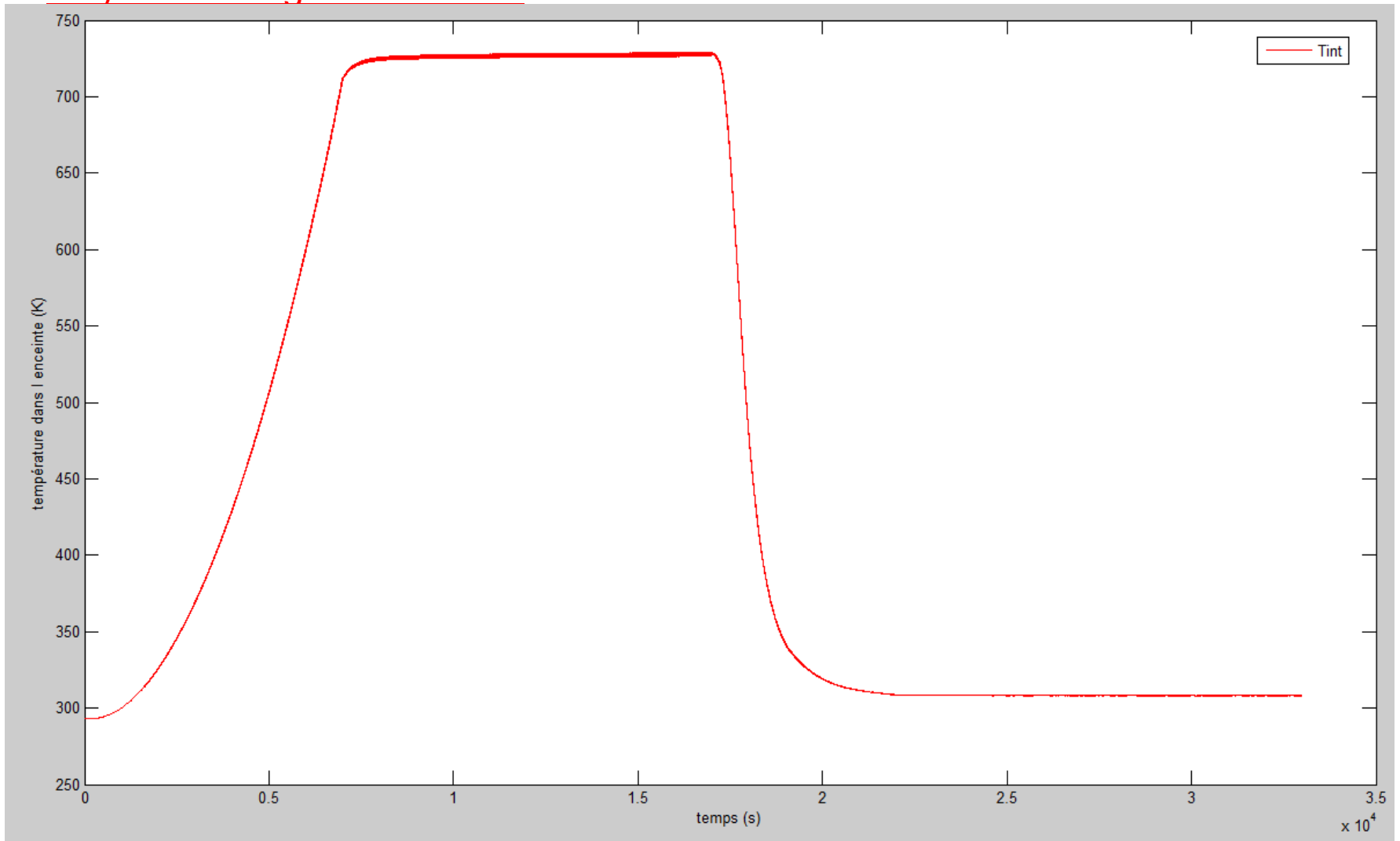
6.1 Test sur un cas d'école

- Puissance : maxi 3 MW
- Inertie thermique des murs: $\lambda = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ KW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 $\rho = 2000 \text{ Kg.m}^{-3}$
 $C_p = 1.2 \text{ KJ.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Renouvellement horaire : $R_h = 3 \text{ volume / heure}$
- Volume = 400 m^3

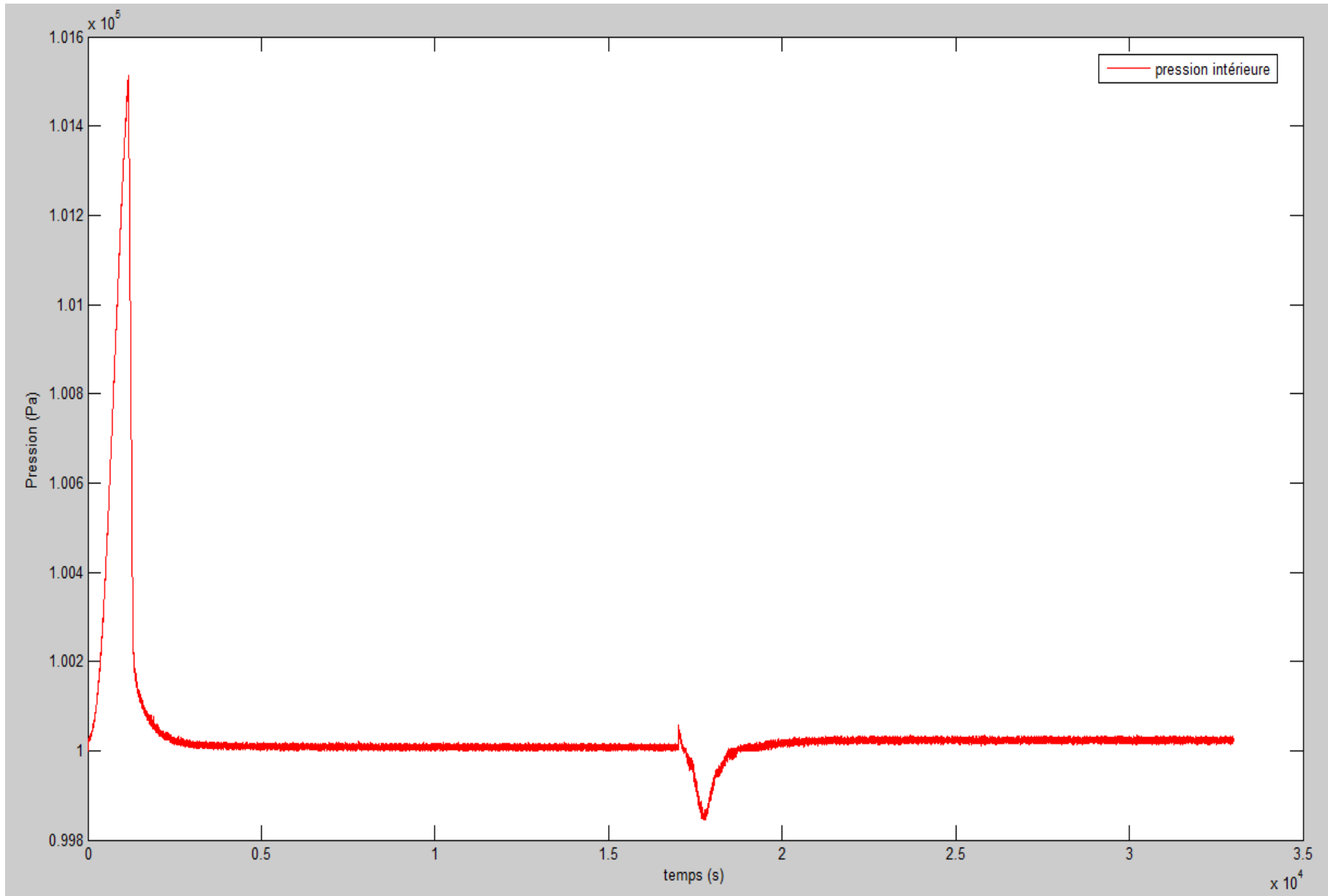
Résultat : Evolution de la puissance du feu



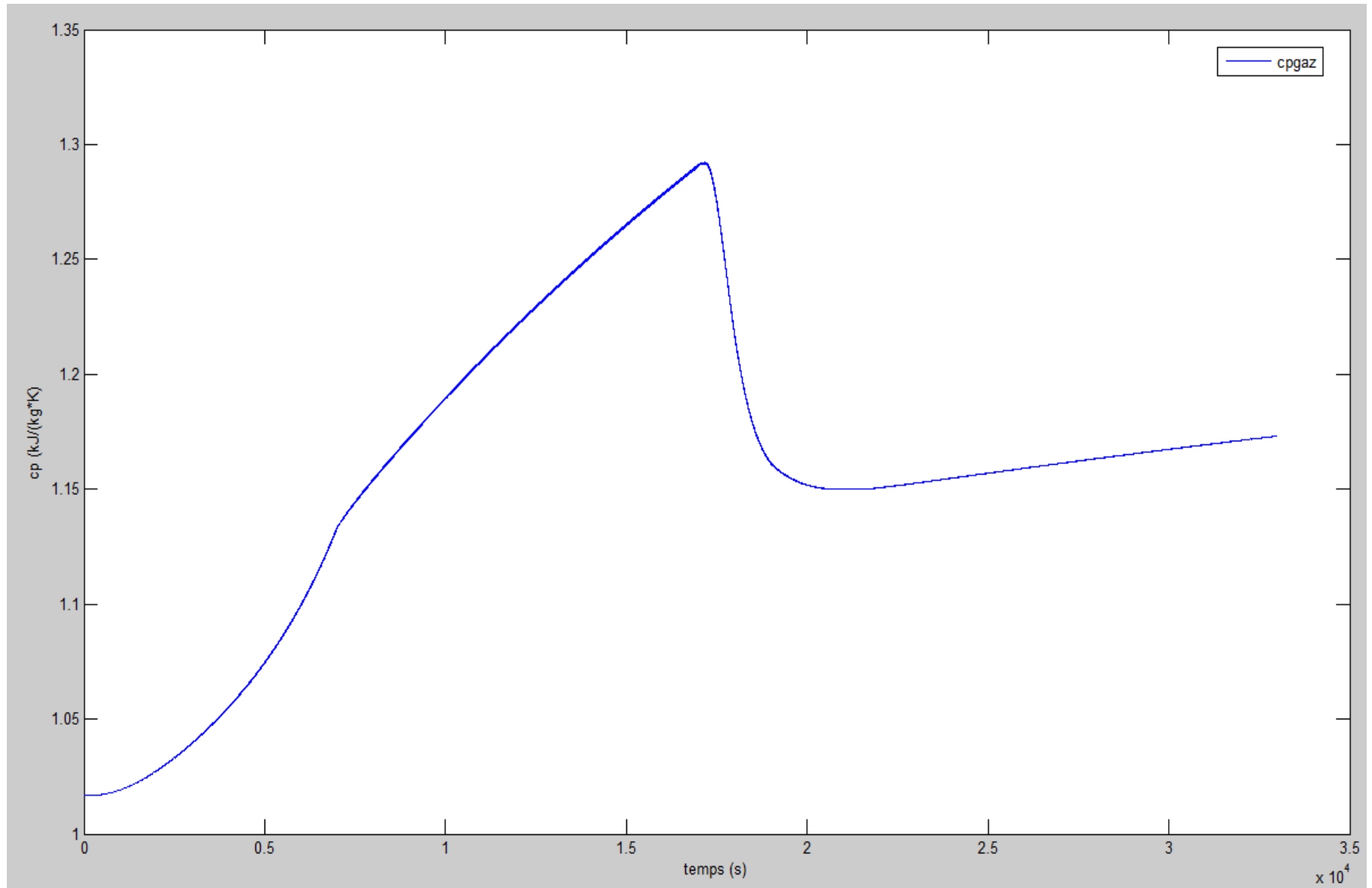
Résultat: Température moyenne des gaz dans local



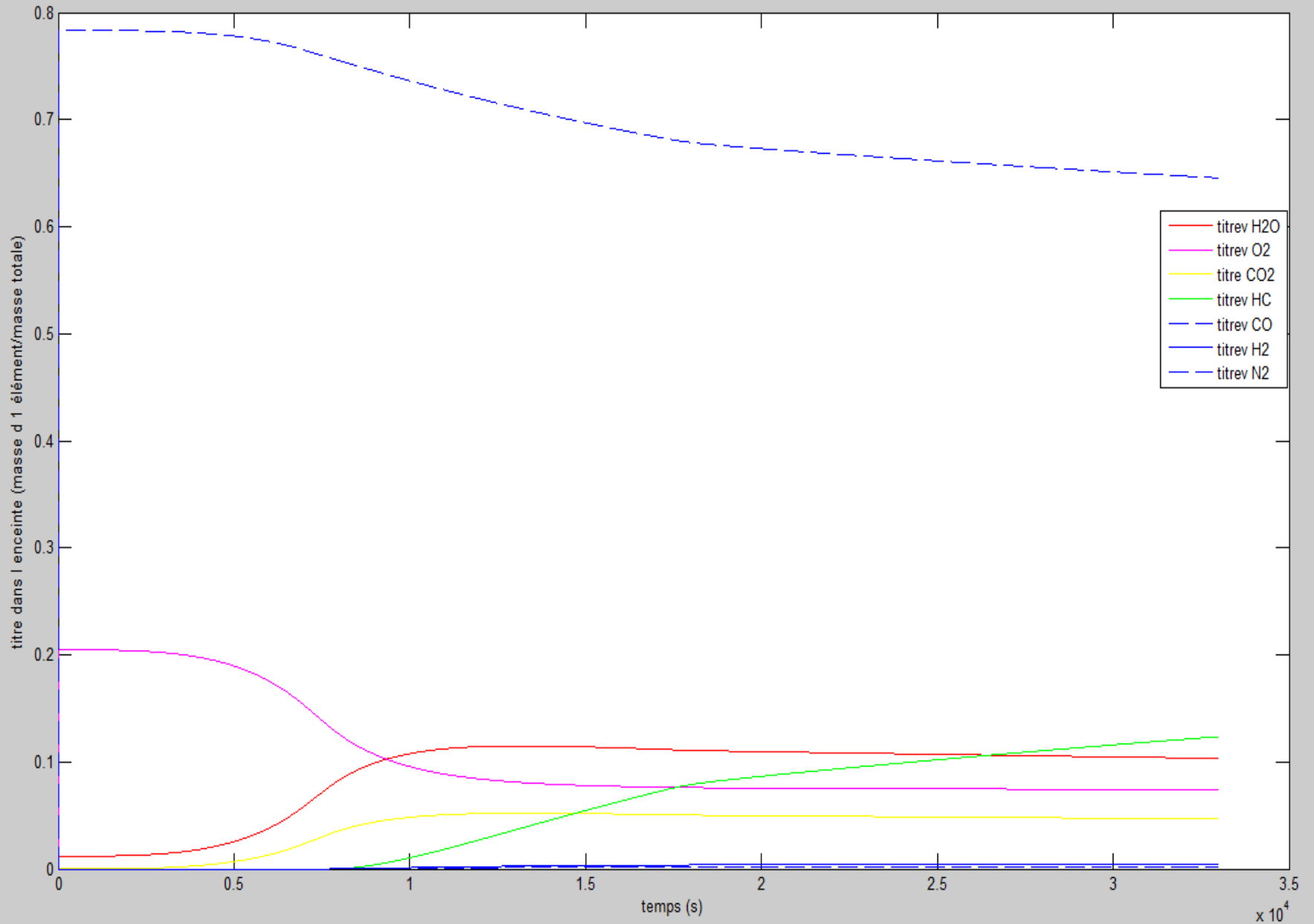
Résultat : Pression dans local feu



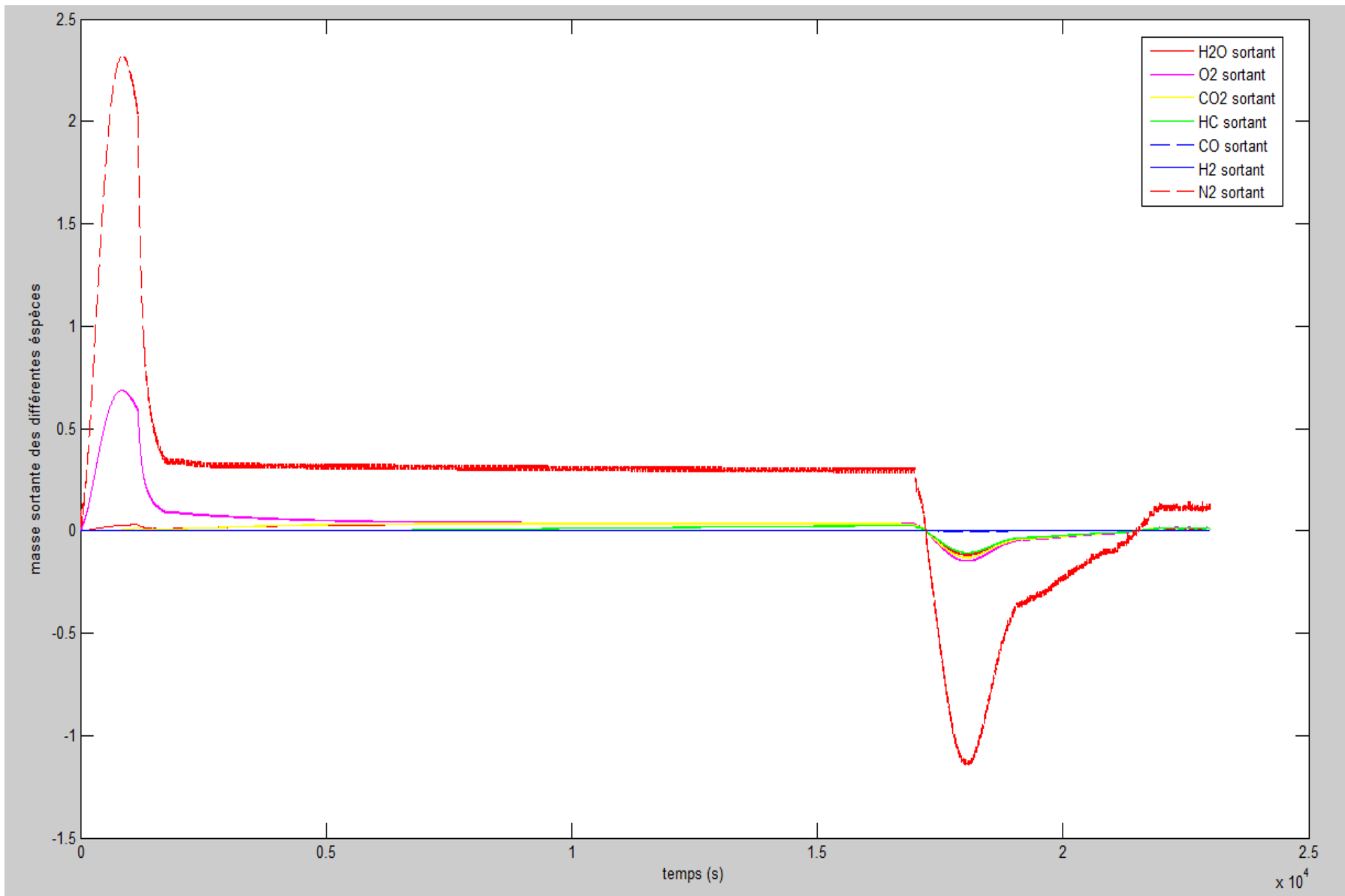
Résultat : Capacité calorifique Cp



Résultat : Titre massique des différents élément présent dans local feu



Résultat : Débit massique sortant de chaque espèce





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

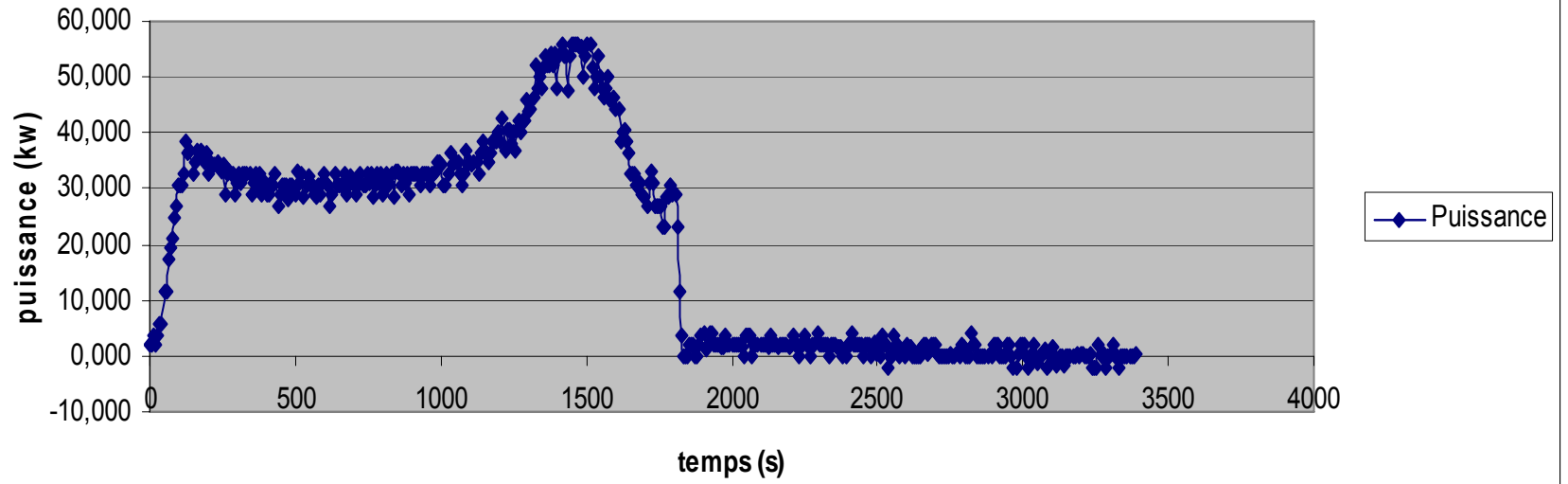
6.2 Test sur un cas réel

Comparaison avec un essai réalisé dans le cadre de la
thèse de Mlle Julie Lassus AREVA / CEA / CNRS

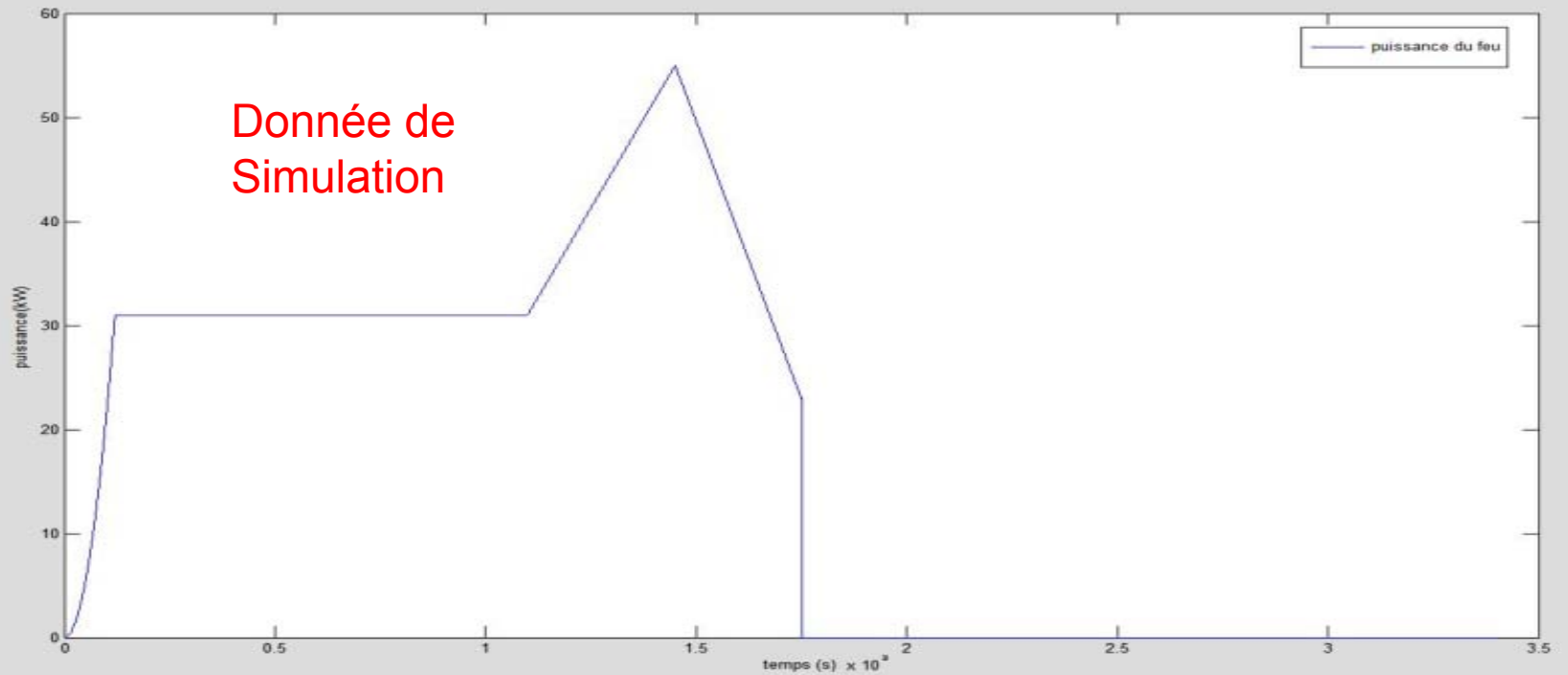
- Feu de dodécane dans un local cubique de 8 m³
- Puissance du feu d'environ 30 kW
- Inertie thermique des murs : $\lambda = 3.3 \cdot 10^{-4} \text{ kW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 $\rho = 800 \text{ kg.m}^{-3}$
 $C_p = 0.88 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Renouvellement horaire à l'extraction avant le feu : 3 Rh

Essai

Puissance

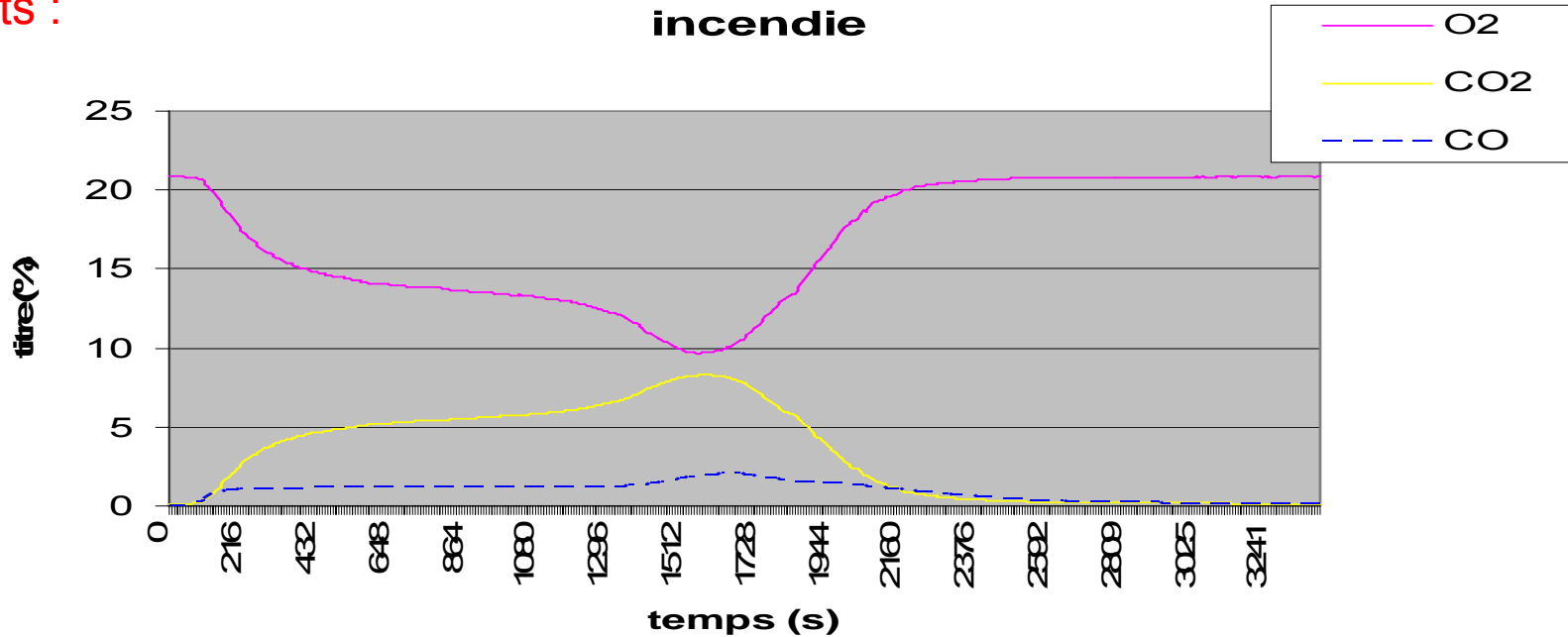


Donnée de Simulation

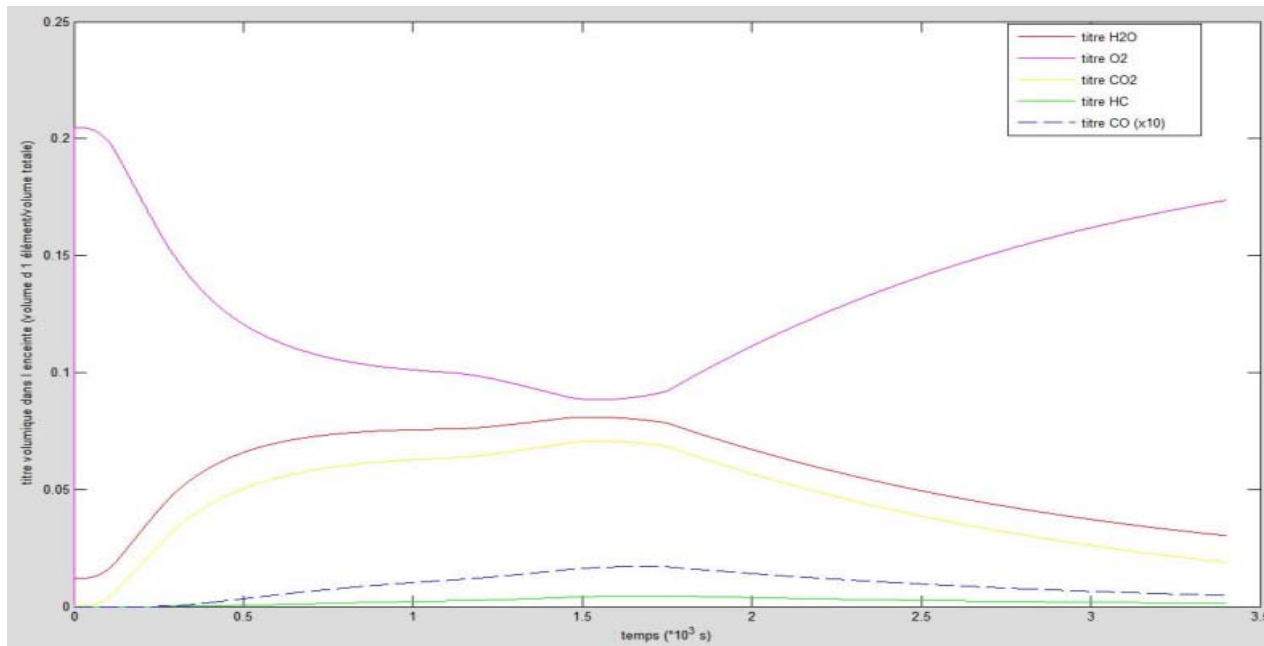


Titre volumique de O₂, CO₂ et CO durant un incendie

Résultats :
essai



Résultats :
Simulation





Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

7. Discussions

7.1 Points forts du modèle

- Facilité d'utilisation
- Rapidité de calcul
- Résultats encourageants à l'issue d'un test

7.2 Points faibles à améliorer

- Puissance du feu contrôlé par la ventilation ou partiellement par le combustible
- Concentration des espèces dans le local notamment après l'étouffement du feu (non homogène)
- Rapport CO / CO₂ (valeur fluctuante)
- LOI (fonction du combustible et de la température...)

A L'AIDE !!!



Modélisation simplifiée des imbrulés générés par l'incendie en milieux clos

Merci de votre attention