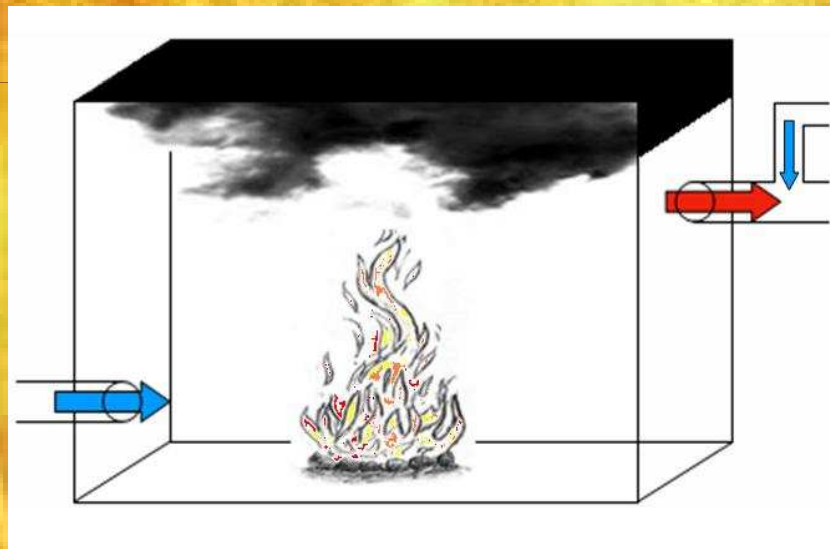
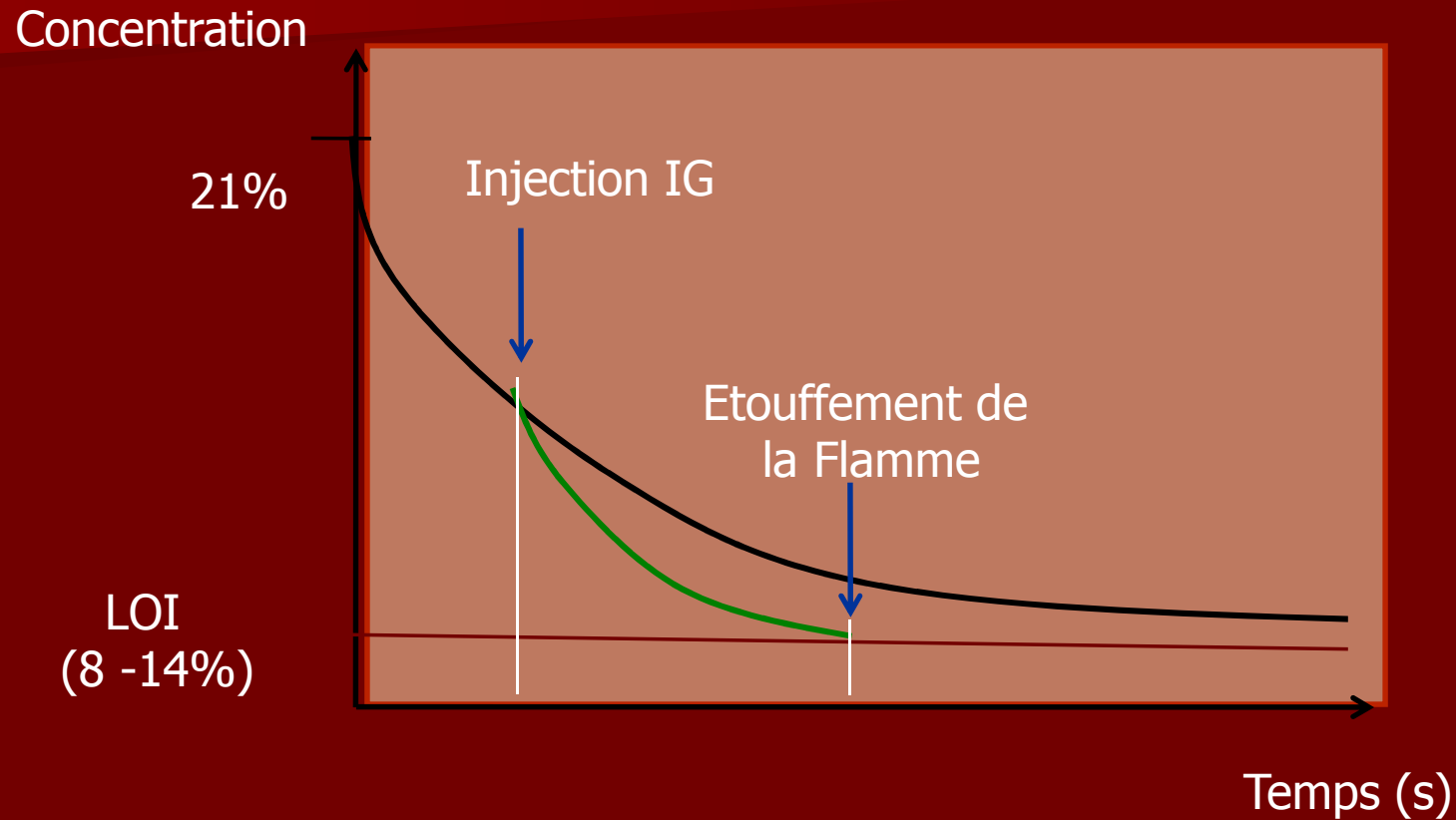


Feux sous-oxygénés par inertage



Penh LAMUTH
CEA/FAR – DPSN/SSN
Penh.lamuth@cea.fr

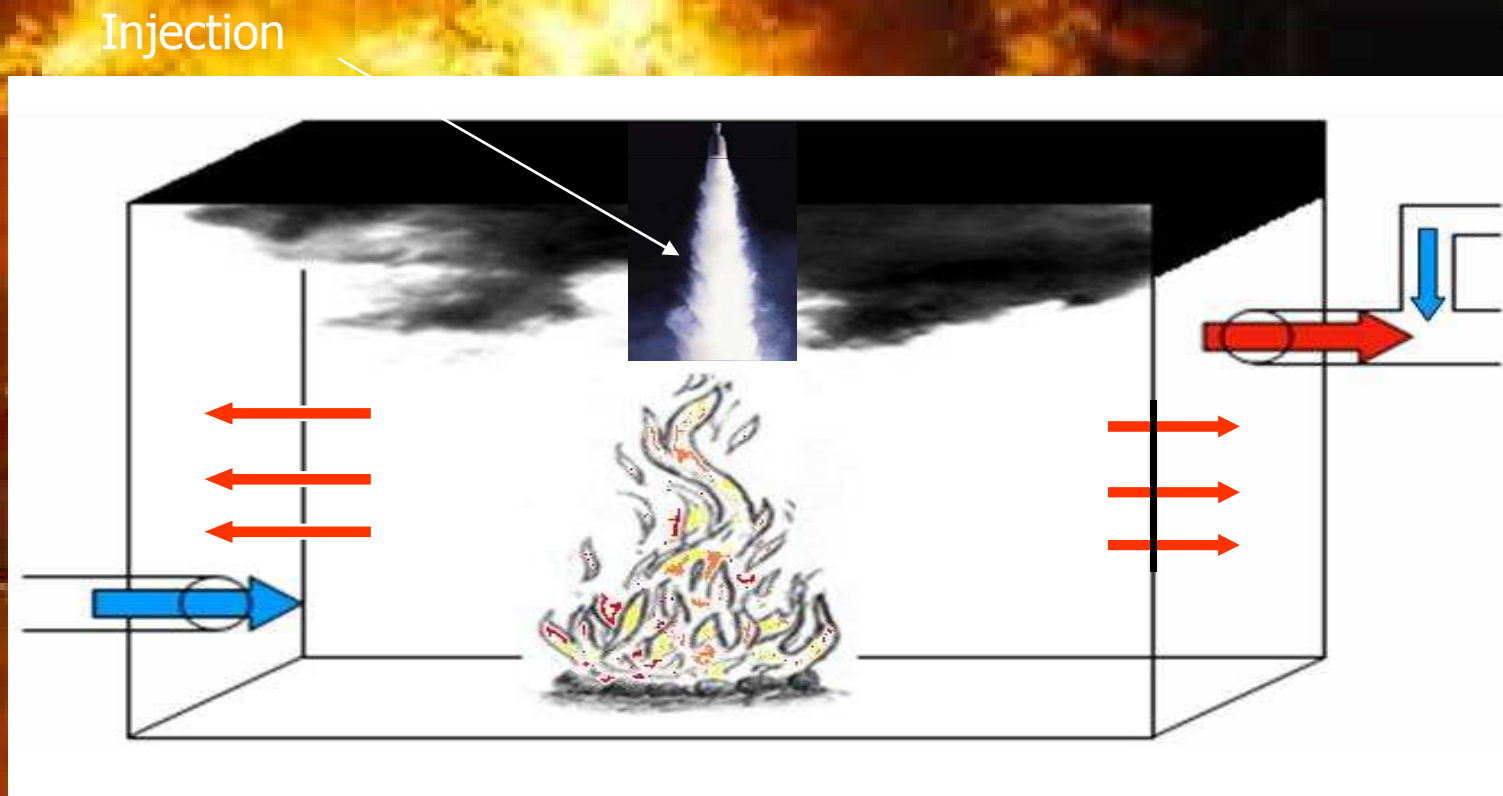
Concentration de d'Oxygène dans le local feu



Décroissances naturelle et artificielle de la concentration d'oxygène lors d'un incendie.

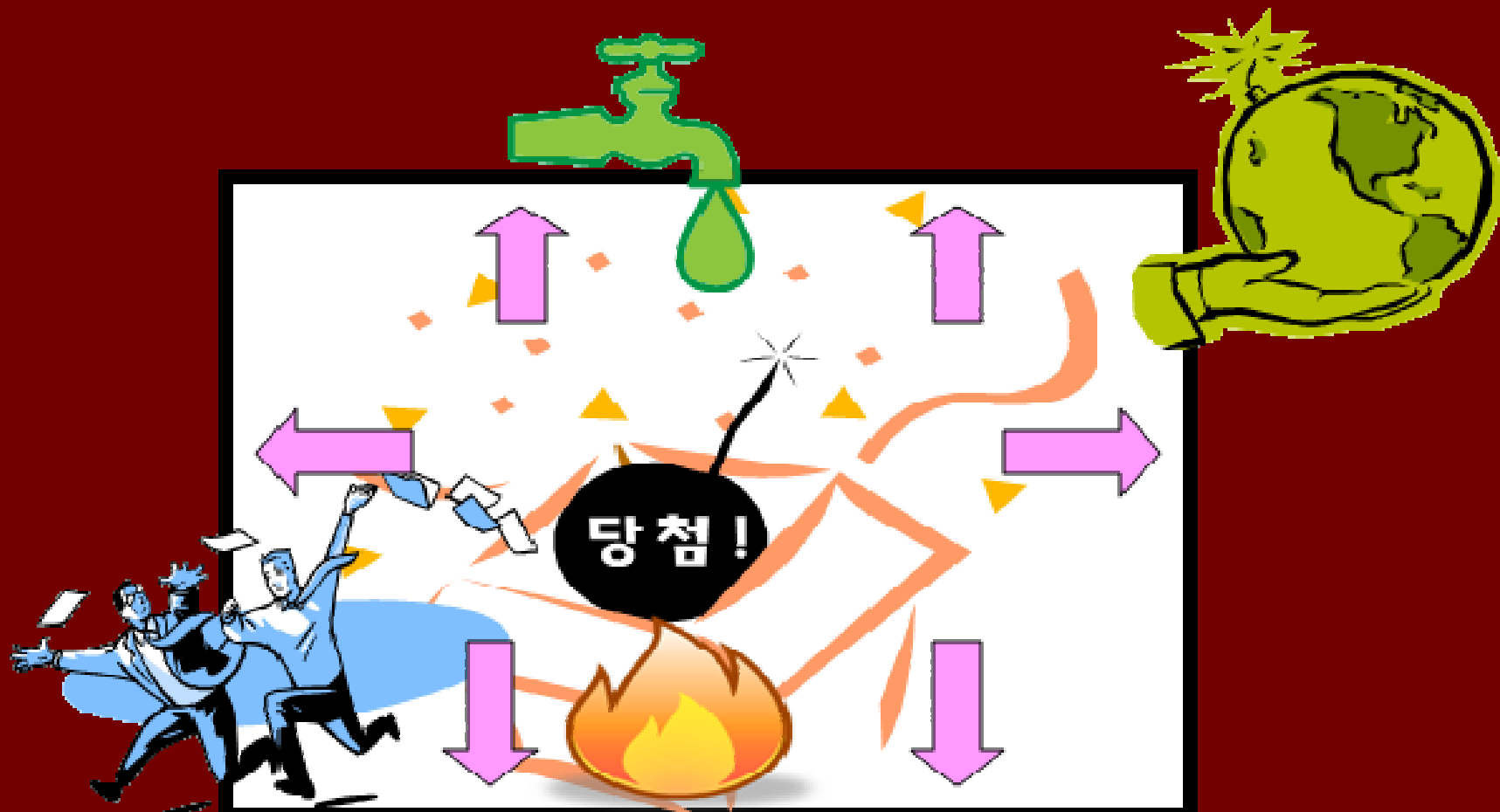
Problème: Feu dans un local soumis à la ventilation forcée

Objectif : Extinction rapide du feu sans perte de confinement et sans dommages collatéraux (humains, environnement ...)



Risques : Perte d'outil de travail, perte de confinement, risques sur humains et environnement, etc.

Contraintes : Considération du dimensionnement initial du local et système de ventilations (tenue thermomécanique, etc.)



Extinction fixe du feu par injection de GAZ INERTE (IG)

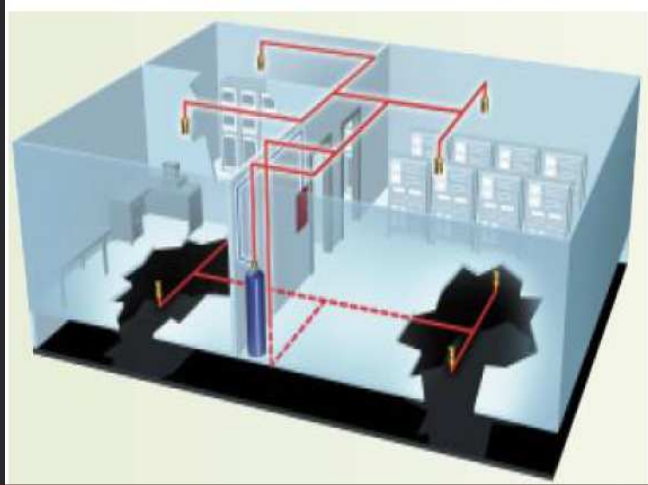


Schéma de principe d'une installation type avec « plancher technique »

Système d'extinction
d'ambiance



Calcul à froid d'évent
d'évacuation des gaz

Pourquoi ce travail ?

Réponse au Vrai Besoin mais Absence de Règle
de dimensionnement des milieux clos soumis à la
ventilation forcée

Extinction fixe du feu par injection de GAZ INERTE (IG)

Eau ou poudre

- Inadaptées pour locaux à risque nucléaire,
- Gaz inerte retenu par défaut

Propriétés des IG

- Agit par dilution
- Pas d'interaction avec les autres espèces chimiques

Avantages des IG

- Faible (ou sans) risque de corrosion
- Pas de nettoyage après utilisation (disponibilité de l'installation)

Inconvénients des IG

- Pas de règle de dimensionnement en milieux clos du nucléaire
- Pas de présence d'humain des les environs (risque d'anoxie)
- Destruction des équipements sous-jacents par choc thermique (< 0) ou éjection
- Surpression dans local et système de ventilations





Modèle physique (très simplifié)

- Hypothèse : mélange homogène, gaz parfaits,
- Chimie de combustion ignorée (lacune à combler)
- Bilans massiques et thermiques
 - Entrées : soufflage ou non, gaz injecté avec débit constant
 - Sorties gaz de mélange supposé homogène
 - Dynamique du feu en milieu clos
 - Propriétés de mélange gazeux, etc.
- Résultats :
 - Temps optimal (compromis entre Pression engendrée et Durée d'Extinction)
 - Température, pression des gaz dans le local
 - Vitesse dans le conduit de ventilation d'extraction, pertes de charges singulières et régulières, etc.



Modèle physique

■ Limites du modèle

Ce travail est fondé sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Mélange homogène des gaz sans interactions éventuelles entre espèces chimiques engendrés par le feu (supposés inertes entre eux)
- Gaz parfaits (validité limité à « faibles température et pression »)
- Puissance de feu sans considération de la variation de l'énergie d'activation
- Formule de Bernoulli dans le conduit de ventilation utilisée jusqu'à la 1^{ère} dilution, sans prise en compte de « discontinuité » aéraulique éventuelle (par exemple le filtre T.H.E qui coupe la ligne de courant vers l'extérieur)
- Non prise en compte de la chimie de combustion (nature et proportions de chaque produit de combustion tel que CO₂, CO, H₂O, C_xH_y...), etc.

Modèle physique

■ Concentration du gaz inerte dans le local

- $\theta = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar}}$

ρ_{ar} = masse volumique de l'argon (kg/m³)

\dot{m}_{ar} = débit massique d'injection d'argon (kg/s)

- Q_{air} : débit volumique de ventilation (m³/s)

- $a = \frac{\theta}{\theta + Q_{air}}$

- $b = \frac{\theta + Q_{air}}{V_{loval}}$

$$\tau_{ar} = a[1 - \exp(-bt)]$$

Modèle physique

■ Consommation d'oxygène dans le local

Pendant le feu, la concentration de l'oxygène décroît selon la loi monodimensionnelle suivante :

$$\frac{d\tau_{O_2}(t)}{dt} = \frac{Q_{air}}{\rho \cdot V_{local}} \cdot [\tau_{O_2_ent} - \tau_{O_2}(t)] - \frac{\dot{Q}_{feu}(t)}{\rho \cdot V_{local} \cdot \Delta H_{R,O_2}}$$

- τ_{O_2} : concentration en oxygène
- \dot{Q} : puissance du feu

Modèle physique

■ Température et Pression moyennes des gaz engendrées par le feu

La température et la pression sont solutions des équations différentielles suivantes :

$$\begin{cases} \frac{C_v V}{r} \cdot \frac{dP}{dt} + \dot{m}_{ext} C_{pg} T - \dot{m}_{air} C_p T_0 + h_k A_{parois} (T - T_{air}) = \dot{Q}_{feu} \\ \rho_p C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_p \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) \end{cases}$$

- **P** : pression des gaz de la pièce
- **T** : Température des gaz de la pièce
- **r** : Constante massique des gaz parfaits
- **C_{pg}** : Chaleur massique des gaz
- **h_k** : coefficient représentant la dissipation de la chaleur dans les murs
- **k_p**, **ρ_p**, **C_p** : caractéristiques thermiques des murs

Modèle physique

■ Mélange gazeux supposé homogène

Les caractéristiques d'un gaz sont importantes car ce sont elles qui vont déterminer la quantité d'énergie absorbée par le gaz :

- nombre de mole de l'espèce chimique j : $n_j = \frac{m_j}{M_j}$,
- masse totale des espèces présentes dans le local : $m = \sum_j m_j$
- nombre de mole total : $n = \sum_j n_j = \sum_j \frac{m_j}{M_j} = \frac{m}{M}$
- pressions partielles : $P_j = n_j \frac{RT}{V} = \frac{m_j}{M_j} \cdot \frac{RT}{V}$
- pression des gaz : $P = \sum_j P_j$

Modèle physique

■ Mélange gazeux supposé homogène (suite)

- fraction molaire de j : $X_j = \frac{P_j}{P} = \frac{n_j}{n} = \frac{m_j}{m} \cdot \frac{\bar{M}}{M_j}$; $\sum_j X_j = 1$

- fraction massique de j : $Y_j = \frac{\rho_j}{\rho} = X_j \cdot \frac{M_j}{\bar{M}}$, $\sum_j Y_j = 1$

- masse volumique : $\rho_j = \frac{m_j}{V_j}$, $\rho = \sum_j \rho_j$

- capacité calorifique du mélange gazeux (J. mol⁻¹.K⁻¹) pour une température donnée :

$$C_{\text{ptot}}(T) = \sum_j \frac{Y_j}{M_j} \times C_{pj} = \sum_j \frac{Y_j}{M_j} \cdot (a_j + b_j \cdot T + c_j \cdot T^{-2})$$

Avec a_j , b_j , c_j sont des constantes pour une espèce j et où T est la température.

Modèle physique

■ Vitesse des gaz et pertes de charges dans conduit de ventilation d'extraction

Pour calculer la vitesse à laquelle s'évacue les gaz, nous utilisons l'équation de Bernoulli :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{1}{2} v_{\text{sortie}}^2 = W - \sum_i J_{s_i} - \sum_i J_{r_i}$$

Avec :

- $W = -\frac{\Delta P_1}{\rho_0}$ travail fourni par le ventilateur
- ΔP_1 : dépression dans le local provoquée par la fermeture du soufflage et l'extraction en fonctionnement
- $J_s = \frac{k v_{\text{sortie}}^2}{2}$: perte de charge singulière (géométrie, filtre...)
- $J_r = \lambda \frac{L_{\text{cond}} v_{\text{sortie}}^2}{2 D_{\text{cond}}}$: pertes de charge régulière du conduit (viscosité ...)

Modèle physique

■ Vitesse et pertes de charges dans conduit de ventilation d'extraction

1. Coefficient de perte de charge régulière :

- Si $Re < 1200$: $\lambda = \frac{64}{Re}$

- Si $1200 < Re < 40000$: $\lambda = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$

- Si $40000 < Re$: $\lambda = 0,79 \sqrt{\frac{\varepsilon}{D_{cond}}}$

2. Coefficient de perte de charge singulière :

$$k = \frac{2}{\rho_0 \cdot v_0^2} (\Delta P_0 - \Delta P_1) - \lambda \cdot \frac{L_{cond}}{D_{cond}} - 1$$

3. Vitesse de sortie des gaz :

$$W = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{v_{sortie}^2}{2} + \left(\frac{1}{2} + \frac{k}{2} \right) v_{sortie}^2 + \lambda \cdot \frac{L_{cond} \cdot v_{sortie}^2}{2 \cdot D_{cond}}$$

Modèle physique

■ Pression des gaz dans le local

Equation d'état des gaz parfaits du mélange des gaz constitués des n_j moles :

$$P = \frac{R}{V_{\text{local}}} \cdot \left(\sum_j n_j \right) \cdot \left[\frac{\left(\sum_j n_j \cdot M_j \right) \cdot \left(\sum_j \tau_j \cdot Cp_{-} m_j \right) \cdot T - \dot{m}_{\text{ar}} \cdot Cp_{\text{ar}} \cdot (T - T_{\text{ar}})}{\left(\sum_j n_j \cdot M_j \right) \cdot \left(\sum_j \tau_j \cdot Cp_{-} m_j \right)} \right]$$



Données d'entrée et résultats obtenus

■ Données sur Gaz extincteur

- Dénomination chimique : Argon
- Masse molaire de l'argon : 39.9g/mol
- Température d'ébullition : -185.9 °C
- Pression de stockage à 20°C : 160 à 200 bars sous forme gazeuse
- Débit d'injection : 5 à 15 kg/s



Données d'entrée et résultats obtenus

■ Autres Données :

- dimensions du conduit d'extraction et rugosité,
- différences de pressions initiales dans le local,
- dimensions et caractéristiques thermiques du local,
- coefficients d'échange thermiques par convection,
- épaisseur des murs,
- temps total d'injection et débit massique du gaz extincteur
- débit de ventilation du soufflage et section du conduit,
- puissance du feu, etc.

Données d'entrée et résultats obtenus

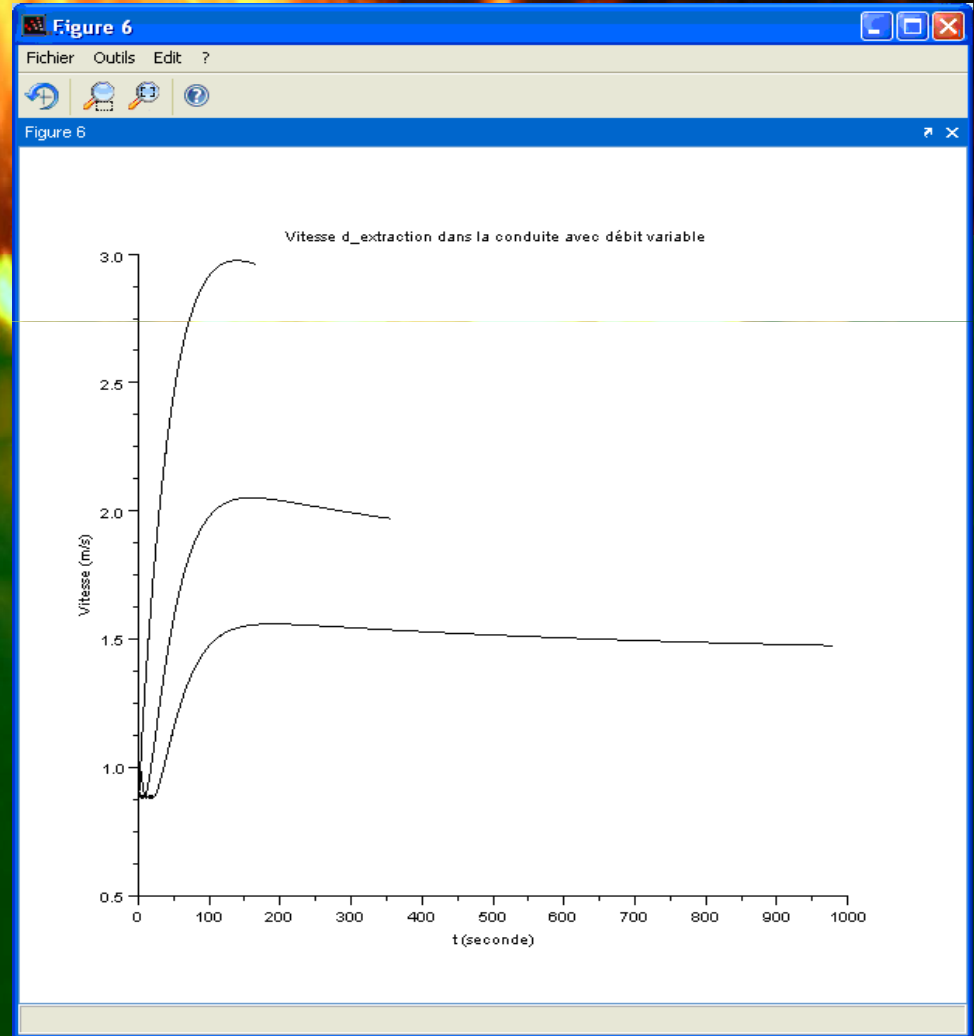
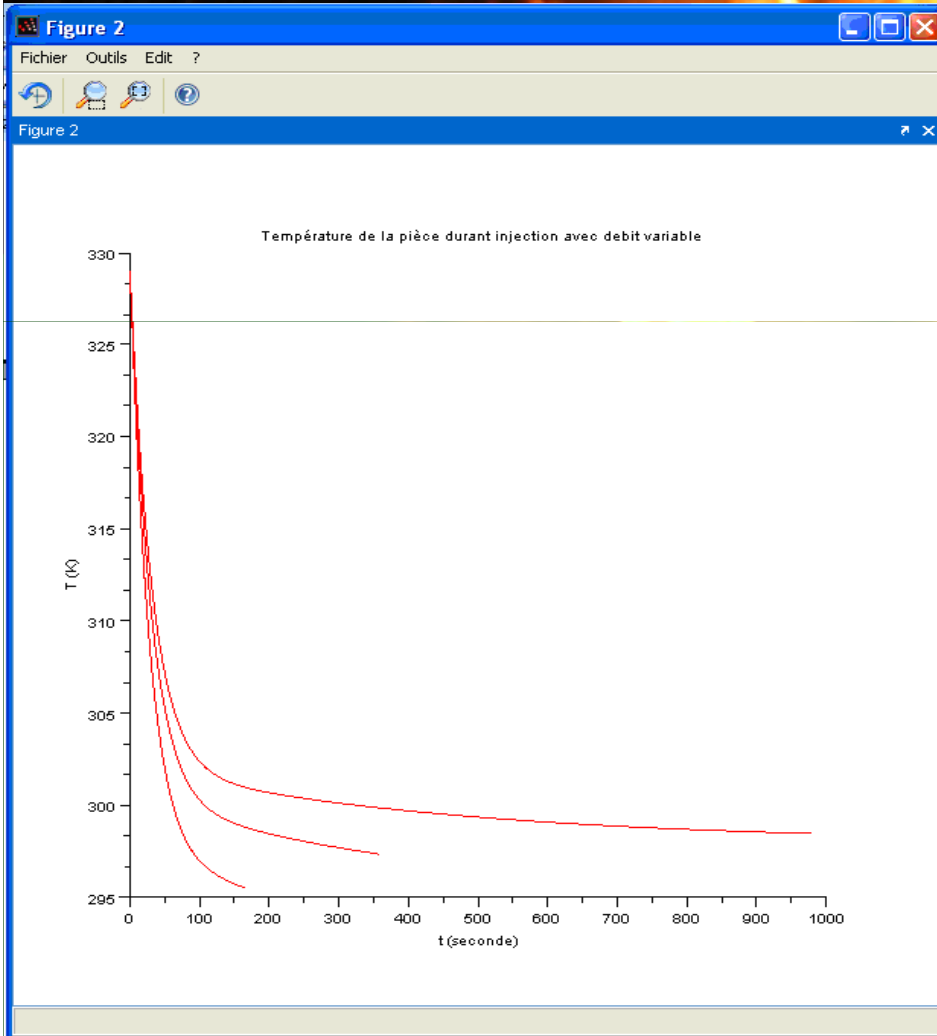
- Résultats principaux :
 - température, pression, vitesse des gaz dans le local et le conduit d'extraction,
 - concentration volumique en oxygène dans le local,
 - instants caractéristiques, etc.



Extinction fixe du feu par injection de GAZ INERTE (IG)

Résultats

Température moyenne et vitesse d'extraction

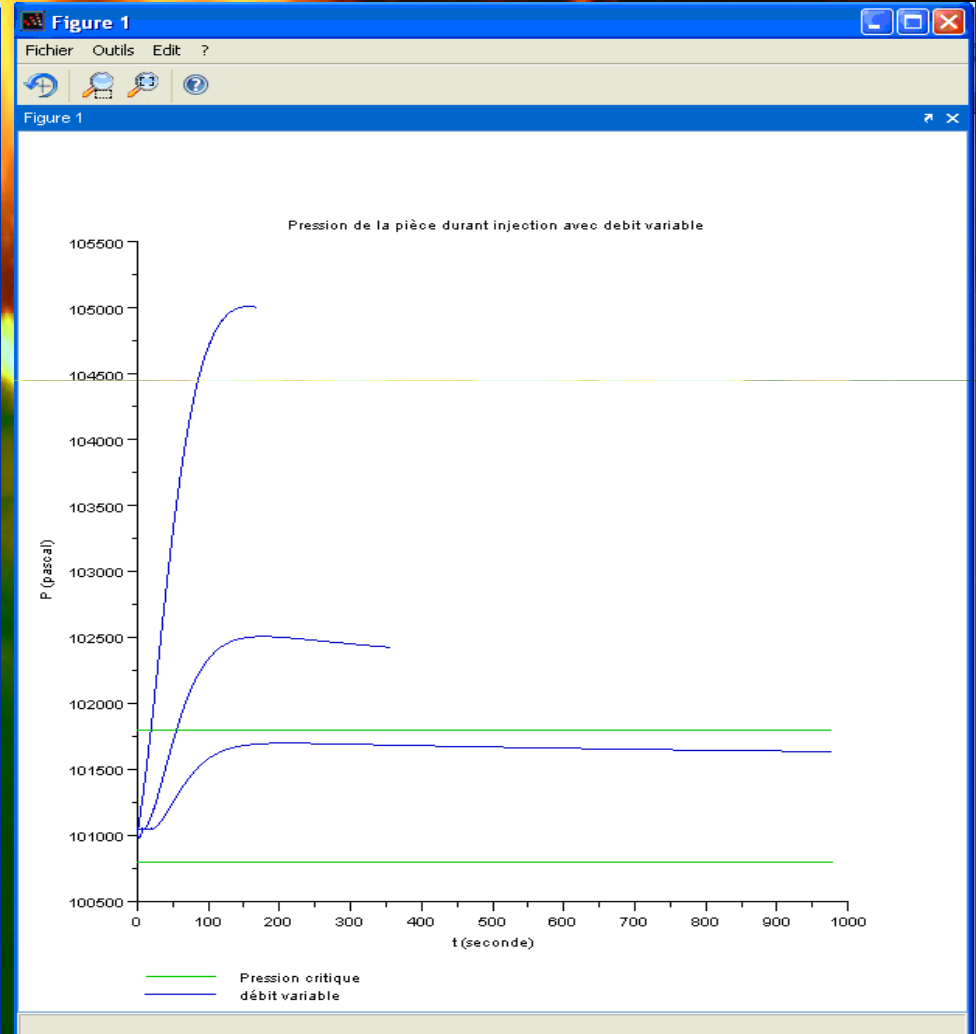
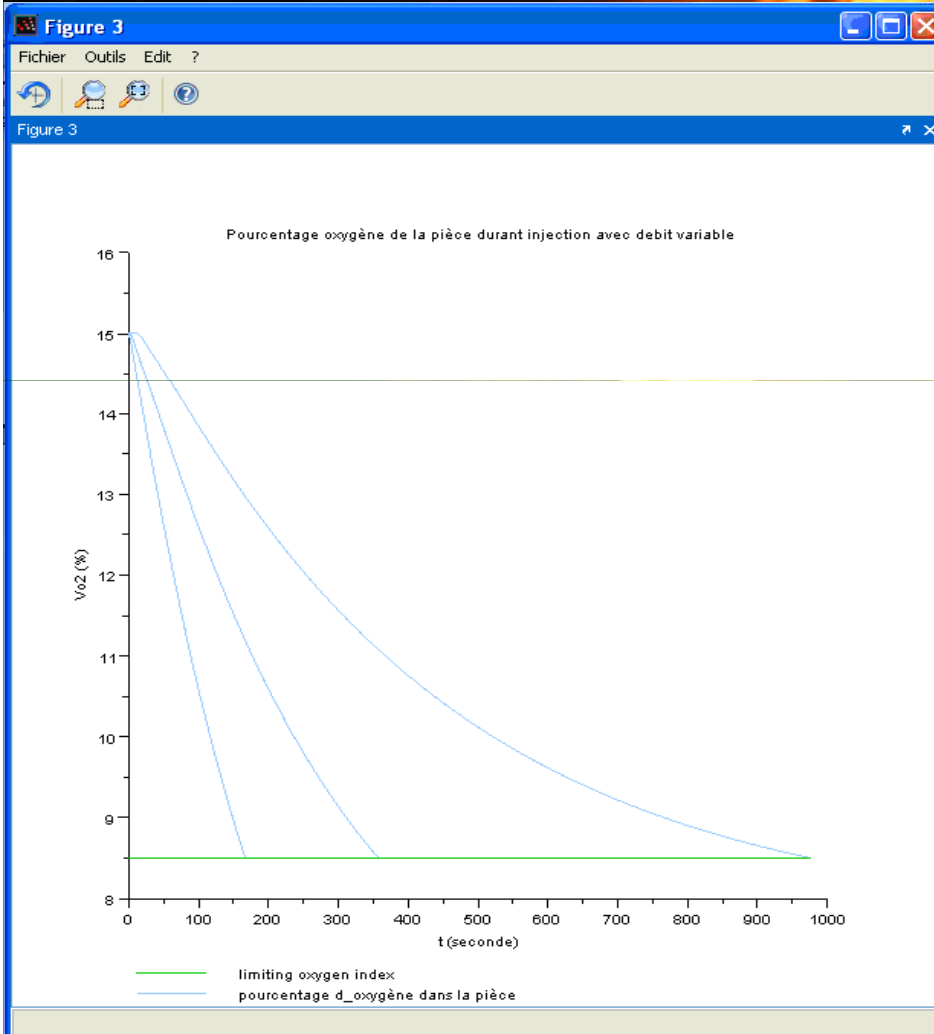




Extinction fixe du feu par injection de GAZ INERTE (IG)

Résultats

Concentration d'Oxygène et Pression dans le local





1. Bilan du premier modèle :

Résultats obtenus non aberrants malgré les hypothèses simplificatrices retenues

Pas d'essai comparatif pour validation

2. Amélioration du modèle, pour la suite, en considérant :

- effet de l'énergie d'activation (affaiblie) sur la puissance du feu,
- fluide compressible et « discontinuité » de ligne de courant,
- chimie de combustion,
- interactions éventuelles entre espèces chimiques, etc.



Extinction fixe du feu par injection de GAZ INERTE (IG)

Merci de votre attention

et

A l'aide

Contact : penh.lamu@cea.fr