

1. Paramètres servant à calculer la température du mélange gazeux

1.1 Hypothèse

Soufflage fermé et on injecte le produit en même temps ou peu de temps après

1.2 Données générales

- V : volume du local (m^3)
- R_h : taux de renouvellement horaire (volume/heure)
- t_{souffl} : instant d'arrêt du soufflage (s)
- t_{injec} , ($t_{\text{souffl}} \leq t_{\text{injec}}$) : instant avant injection du produit gazeux (s)
- ρ_{O_2} : masse volumique de l'oxygène
- M_{O_2} : masse molaire de l'oxygène
- $r_{O_2} = \frac{R}{M_{O_2}}$: constante massique de l'azote
- ρ_{N_2} : masse volumique de l'azote
- M_{N_2} : masse molaire de l'azote
- $r_{N_2} = \frac{R}{M_{N_2}}$: constante massique de l'azote
- ρ_{CO_2} : masse volumique du gaz carbonique
- M_{CO_2} : masse molaire du gaz carbonique
- $r_{CO_2} = \frac{R}{M_{CO_2}}$: constante massique du gaz carbonique
- T_{gaz} : température du gaz inerte (K)
- \dot{m}_{gaz} : débit massique du gaz inerte (kg/s)
- ρ_{gaz} : masse volumique du gaz inerte
- M_{gaz} : masse molaire du gaz inerte
- $r_{\text{gaz}} = \frac{R}{M_{\text{gaz}}}$: constante massique du gaz inerte
- $r_{\text{mélange}} = \frac{4}{\frac{1}{r_{O_2}} + \frac{1}{r_{N_2}} + \frac{1}{r_{CO_2}} + \frac{1}{r_{\text{gaz}}}}$: constante massique moyennée des gaz

- $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$
- $\theta = \frac{2}{3}$
- $v_0 = \frac{R_h \cdot V}{3600 \cdot S}$: vitesse de soufflage initiale supposée égale à la vitesse d'extraction initiale
- $k = \frac{2}{\rho_0 \cdot v_0^2} (\Delta P_0 - \Delta P_1) - \lambda \cdot \frac{L}{D} - 1$ (normalement déjà calculé par CDI, donc à le récupérer sans calcul)

1.3 Données aux instants t avant l'injection du gaz découlant de CDI

Les formules suivantes sont valables pour : $0 \leq t < t_{\text{injec}}$, toutefois, les chaleurs spécifiques sont valables quelle que soit t , variant assez faiblement en fonction de la température.

- $\Delta T_{\text{CDI}}(t)$: variation température moyenne dans le local ($^{\circ}\text{C}$)
- $T(t) = \Delta T_{\text{CDI}}(t) + 300$: température moyenne dans le local (K)
- Données relatives à l'oxygène
 - $\tau_{O_2}(t) = \zeta_{\text{CDI}}(t)$: concentration de l'oxygène dans le local
 - $V_{O_2}(t) = V \times \tau_{O_2}(t)$: volume d'oxygène dans le local
 - $m_{O_2}(t) = \rho_{O_2} \times V_{O_2}(t)$: masse de l'oxygène présent dans le local avant l'injection
 - $C_{\text{PO}_2}(t) = \frac{29,96 + 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{CDI}}(t) - 1,67 \cdot 10^5 \cdot [T_{\text{CDI}}(t)]^{-2}}{M_{O_2}}$: chaleur massique de l'oxygène ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- Données relatives à l'azote
 - $\tau_{N_2}(t) = 79\%$: concentration de l'azote dans le local (connue) à l'instant t
 - $V_{N_2}(t) = V \times \tau_{N_2}(t)$: volume d'azote
 - $m_{N_2}(t) = \rho_{N_2} \times V_{N_2}(t)$: masse de l'azote présent dans le local avant l'injection
 - $C_{\text{PN}_2}(t) = \frac{28,58 + 3,76 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{CDI}}(t) - 0,5 \cdot 10^5 \cdot [T_{\text{CDI}}(t)]^{-2}}{M_{N_2}}$: chaleur massique de l'azote ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

- Données relatives aux autres produits de combustion

➤ $V_3(t) = V_{CO_2}(t) + V_{H_2O}(t) = V - V_{O_2}(t) - V_{N_2}(t)$: volume du produit de combustion

On néglige le volume d'eau. On écrit donc :

$$V_3(t) = V_{CO_2}(t) = V - V_{O_2}(t) - V_{N_2}(t)$$

➤ $\tau_{O_2}(t) = \frac{V_{CO_2}(t)}{V}$: concentration du produit de combustion

➤ $m_{CO_2}(t) = \rho_{CO_2} \times V_{CO_2}(t)$: masse du produit de combustion présent dans le local avant l'injection

➤ $C_{PCO_2}(t) = \frac{30 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot T_{CDI}(t) - 0,4 \cdot 10^5 \cdot [T_{CDI}(t)]^{-2}}{M_{CO_2}}$: chaleur massique du produit de combustion (J.Kg⁻¹.K⁻¹) : **A confirmer**

- Masse totale (Kg) : $m_{tot} = m_{O_2} + m_{N_2} + m_{CO_2}$

- Masse volumique « totale » équivalente : $\rho_{tot} = \frac{m_{tot}}{V}$

- Chaleur massique totale des composants en fonction de la température :

$$C_{Ptot} = \frac{1}{\frac{\tau_{O_2}}{C_{PO_2}} + \frac{\tau_{N_2}}{C_{PN_2}} + \frac{\tau_{CO_2}}{C_{PCO_2}}}$$

2.1 Données aux instants t, avec $t_{soufl} \leq t_{injec} \leq t$ pendant l'injection du gaz

2.2 Données connues valables pour $t_{soufl} \leq t_{injec} \leq t$

- $m_{glob} = m_{total} + m_{gaz}$: masse totale globale (Kg)

- $\rho_{glob} = \frac{m_{glob}}{V}$: masse volumique « globale » équivalente

- $M_{glob} = \frac{m_{glob}}{\frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{m_{gaz}}{M_{gaz}}}$

- $r_{glob} = \frac{R}{M_{glob}}$
- $a = \frac{\dot{m}_{gaz}}{\dot{m}_{glob}}$
- $\rho_{mélange} = \frac{1}{\frac{a}{\rho_{gaz}} + \frac{1-a}{\rho_{glob}}}$: masse volumique du mélange gazeux
- $\dot{m}_{local} = \rho_{mélange} \cdot V$: masse du mélange gazeux dans le local
- $\dot{m}_{sortie} = \dot{m}_{global} - \dot{m}_{local}$: masse sortant du local

N.B. : Si le soufflage n'est pas fermé on écrit :

$$\triangleright \rho_{glob} = \frac{\dot{m}_{glob} + \frac{R_h \cdot V}{3000}}{V}$$

$$\triangleright a = \frac{\dot{m}_{gaz}}{\dot{m}_{glob} + \frac{R_h \cdot V}{3000}}$$

$$\triangleright \rho_{mélange} = \frac{1}{\frac{a}{\rho_{gaz}} + \frac{1-a}{\rho_{glob}}}$$

$$\triangleright \dot{m}_{sortie} = \dot{m}_{global} - \dot{m}_{local} + \frac{R_h \cdot V}{3000}$$

- $\dot{m}_{sortie} = \rho_{mélange} \cdot S \cdot v_{sortie}(t)$; avec S l'aire de la section du conduit d'extraction

$$\bullet v_{sortie}(t) = \frac{\dot{m}_{sortie}}{\rho_{mélange} \cdot S}$$

$$\bullet b = \frac{\dot{m}_{gaz} \cdot C_{Pgaz}}{\dot{m}_{gaz} \cdot C_{Pgaz} + \dot{m}_{total} \cdot C_{Ptotal}}$$

- $$C_{Pglob} = \frac{1}{\frac{b}{C_{Pgaz}} + \frac{1-b}{C_{Ptotal}}}$$

- $$T_{mélange}(t) = \frac{\dot{m}_{gaz} \cdot C_{Pgaz} \cdot T_{gaz}(t) + \dot{m}_{total} \cdot C_{Ptotal} \cdot T_{CDI}(t)}{\dot{m}_{mélange} \cdot C_{Pglob}}$$
 : température du mélange

gazeux (K)

- $$P(t) = \frac{\dot{\rho}_{mélange} \cdot r_{glob} \cdot T_{mélange}(t)}{V}$$

- Calcul de pression due à l'évacuation des gaz mélangés par la ventilation d'extraction

- ✓ Vitesse de sortie des gaz chauds dilatés

$$v_D(t) = \frac{1}{\theta} \left\{ \frac{V}{300 \times S} \left[\frac{T_{\text{mélange}}(t) - T_{\text{mélange}}(t - \Delta t)}{\Delta t} \right] - (1 - \theta) \cdot v_D(t - \Delta t) \right\}$$

Avec : $\theta = \frac{2}{3}$, $v_D(0) = 0$ et $T_{\text{mélange}}(t_{\text{injec}} - \Delta t) = T(t_{\text{injec}} - \Delta t)$

- ✓ Débit massique du gaz chaud sortant dû à la dilatation des gaz :

$$\dot{m}_D = \rho_{\text{mélange}} \cdot \bar{v}_D \cdot S$$

- ✓ Débit massique du gaz chaud sortant : $\dot{m}_e = \rho_{\text{mélange}} \cdot v_{\text{sortie}} \cdot S$

$$\text{On en déduit : } \rho_{\text{mélange}} \cdot v_{\text{sortie}} \cdot S = \dot{m}_{\text{sortie}} + \rho_{\text{mélange}} \cdot \bar{v}_D \cdot S$$

$$\Rightarrow v_{\text{sortie}}(t) = \frac{\dot{m}_{\text{sortie}}}{\rho_{\text{mélange}} \cdot S} + \bar{v}_D(t)$$

- ✓ $\dot{\mu}(t) = 1,458 \cdot 10^{-6} \times \frac{[T(t)]^{3/2}}{110,4 + T(t)} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: viscosité dynamique

- ✓ $\dot{\nu}(t) = \frac{\dot{\mu}(t)}{\dot{\rho}(t)}$: viscosité cinématique ν est définie par

- ✓ $\text{Re}(t) = D \frac{v_{\text{sortie}}(t)}{\nu(t)}$: nombre de Reynolds

- ✓ $\lambda(t) = f(\text{Re}, t)$

- Si $\text{Re} < 1200$: $\lambda(t) = \frac{64}{\text{Re}}$

- Si $1200 < \text{Re} < 40000$: $\lambda(t) = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}$

- Si $\text{Re} > 40000$: $\lambda(t) = 0.79 \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}}$

- $J_s(t) = \frac{k \cdot [v_{\text{sortie}}(t)]^2}{2}$, le coefficient k vient de CDI (voir plus haut)

- $Jr(t) = \lambda(t) \cdot \frac{L \cdot [v_{\text{sortie}}(t)]^2}{2D}$
- $\Delta P(t) = \left[-W + Js(t) + Jr(t) + \frac{1}{2} \cdot [v(t)]^2 \right] \cdot \rho_{\text{mélange}}(t)$, avec W vient de CDI
- $P_{\text{mélange}}(t) = \Delta P(t) + P(t)$: pression réelle dans le local servant à étudier la tenue des structures et du conduit de ventilation

2.3 Concentration de l'oxygène restant dans le local

On suppose que tous les gaz sortent de la même proportion. On peut donc écrire :

$$\zeta_{O_2}(t)|_{\text{restant}} = (1 - \eta) \cdot \zeta_{O_2}(t)$$

On calcule η comme suit :

$$V = V_{\text{gaz}} + \eta \cdot V \Rightarrow \eta = 1 - \frac{V_{\text{gaz}}}{V}$$

$$\text{D'où : } \eta = 1 - \frac{V_{\text{gaz}}}{V} = 1 - \frac{\dot{m}_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{gaz}} \cdot V}$$

$$\frac{V_{O_2}}{V}|_{\text{restant}} = (1 - \eta) \cdot \frac{V_{O_2}}{V} \Leftrightarrow \tau_{O_2}(t)|_{\text{restant}} = (1 - \eta) \cdot \tau_{O_2}(t)$$

On arrête l'injection lorsque : $\zeta_{O_2}(t) \leq 80\% \cdot LOI$

On suppose également que :

- $\tau_{N_2}(t)|_{\text{restant}} = (1 - \eta) \cdot \tau_{N_2}(t)$
- $\tau_{CO_2}(t)|_{\text{restant}} = (1 - \eta) \cdot \tau_{CO_2}(t)$
- $V_{\text{restant}} = V - V \cdot [\tau_{O_2}(t)|_{\text{restant}} + \tau_{N_2}(t)|_{\text{restant}} + \tau_{CO_2}(t)|_{\text{restant}}]$: Le reste du volume du local est occupé par le gaz inerte

On continue donc le calcul pour les pas de temps suivant