



**Exercice 3 : Combustion d'un gaz naturel**Gaz d'échappement [kmol / kmol<sub>combustible</sub>]

Composants du combustible gazeux	Composition du combustible $\frac{n_i}{n_{combustible}}$	Equation de la réaction chimique	Besoin en oxygène $\frac{n_{O_2}}{n_{combustible}}$	Gaz d'échappement [kmol / kmol <sub>combustible</sub> ]		
				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>	80,62 % = 0,8062	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	0,8062 · 2 = 1,6124	0,8062	0,8062 · 2 = 1,6124	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5,41 % = 0,0541	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3,5 O <sub>2</sub> = 2 CO <sub>2</sub> + 3 H <sub>2</sub> O	0,0541 · 3,5 = 0,18935	0,0541 · 2 = 0,1082	0,0541 · 3 = 0,162	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,87 % = 0,0187	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5 O <sub>2</sub> = 3 CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> O	0,0187 · 5 = 0,0935	0,0187 · 3 = 0,0561	0,0187 · 4 = 0,0748	
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,60 % = 0,0160	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6,5 O <sub>2</sub> = 4 CO <sub>2</sub> + 5 H <sub>2</sub> O	0,0160 · 6,5 = 0,104	0,0160 · 4 = 0,064	0,0160 · 5 = 0,08	
N <sub>2</sub>	10,50 % = 0,1050	—				0,1050
				De l'air introduit : 2/0,21 · 0,79 = 7,52		
Somme :			<u>2</u>	<u>1,0345</u>	<u>1,9292</u>	<u>7,629</u>

**Exercice 3 : Combustion d'un gaz naturel**

c) La quantité de CO<sub>2</sub> reste toujours la même, même si l'excès d'air change.

$$\begin{aligned} 1,0345 \text{ kmol CO}_2 &\equiv 8 \% \\ x \text{ kmol O}_2 &\equiv 7 \% \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \text{Quantité d'oxygène : } x = 0,9052$$

$$\lambda = \frac{2 \text{ kmol O}_2 \text{ stoe} + 0,9052 \text{ kmol O}_2 \text{ excès}}{2 \text{ kmol O}_2 \text{ stoe}} = 1,45$$

d)  $n_{\text{air}} = \frac{n_{\text{O}_2}}{0,21} = \frac{2,9044 \text{ kmol O}_2 \text{ introduit}}{0,21} = 13,8 \text{ kmol air}$  pour 1 kmol combustible

$$\frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{combustible}}} = 13,8$$

**Exercice 4 :  $\lambda_{\text{optimal}}$  d'une turbine à gaz**

a) 
$$\frac{q_{m \text{ air stoe}}}{q_{m \text{ combustible}}} = \frac{2,664 * C_m + 7,937 * H_m + 0,998 * S_m - O_m}{0,231}$$

$$= \frac{2,664 * 0,837 + 7,937 * 0,143 + 0,998 * 0,02}{0,231} = 14,65$$

$$\frac{q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}}} = \lambda \cdot \frac{q_{m \text{ air stoe}}}{q_{m \text{ combustible}}} = 1,2 \cdot 14,65 = 17,6$$

$$\begin{aligned} q_{m \text{ gaz d'échapp}} &= q_{m \text{ air}} + q_{m \text{ combustible}} = (17,6 + 1) \cdot q_{m \text{ combustible}} = 100 \text{ kg/s} \\ q_{m \text{ combustible}} &= 5,4 \text{ kg/s} \quad q_{m \text{ air}} = 94,6 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCI} * q_{m \text{ combustible}} &= q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &\quad - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\theta_{\text{gaz d'échapp}} = \frac{42600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 5,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 94,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (300 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C})}{100 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} = 2256 \text{ }^\circ\text{C}$$

b) 1<sup>er</sup> méthode de résolution :

$$\begin{aligned} \text{PCI} * q_{m \text{ combustible}} &= q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &\quad - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCI} * (q_{m \text{ gaz d'échapp}} - q_{m \text{ air}}) &= q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &\quad - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCI} * q_{m \text{ gaz d'échapp}} - q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \\ = \text{PCI} * q_{m \text{ air}} - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{m \text{ air}} &= \frac{\text{PCI} * q_{m \text{ gaz d'échapp}} - q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C})}{\text{PCI} - c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})} \\
 &= \frac{42600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}} - 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (1000 \text{ °C} - 25 \text{ °C})}{42600 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} - 1,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (300 \text{ °C} - 25 \text{ °C})} \\
 &= \frac{4148 \frac{\text{MJ}}{\text{s}}}{42,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 98 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

$$q_{m \text{ combustible}} = q_{m \text{ gaz d'échapp}} - q_{m \text{ air}} = 100 \text{ kg/s} - 98 \text{ kg/s} = \underline{2 \text{ kg/s}}$$

$$q_{m \text{ air}} = \lambda * q_{m \text{ air stoe}}$$

$$\lambda = \frac{q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}} * \frac{q_{m \text{ air stoe}}}{q_{m \text{ combustible}}}} = \frac{98 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 14,65} = \underline{3,37}$$

2<sup>ème</sup> méthode de résolution :

$$\text{PCI} * q_{m \text{ combustible}} = q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$$

$$\text{PCI} = \frac{q_{m \text{ gaz d'échapp}}}{q_{m \text{ combustible}}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - \frac{q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$$

$$\text{PCI} = \left( \frac{q_{m \text{ combustible}} + q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}}} \right) * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - \frac{q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$$

$$\text{PCI} = (1 + 14,65 * \lambda) * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - 14,65 * \lambda * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$$

$$\lambda = \frac{42600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (1000 \text{ °C} - 25 \text{ °C})}{14,65 * \left( 1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (1000 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) - 1,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (300 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) \right)} = 3,37$$

$$q_{m \text{ gaz d'échapp}} = q_{m \text{ air}} + q_{m \text{ combustible}} = \lambda * \frac{q_{m \text{ air stoe}}}{q_{m \text{ combustible}}} * q_{m \text{ combustible}} + q_{m \text{ combustible}} = 100 \text{ kg/s}$$

$$q_{m \text{ combustible}} = \underline{2 \text{ kg/s}} \quad q_{m \text{ air}} = \underline{98 \text{ kg/s}}$$

c)  $\text{PCI} * \lambda / 1,2 * q_{m \text{ combustible}} = q_{m \text{ gaz d'échapp}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - q_{m \text{ air}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$

$$\text{PCI} * \lambda / 1,2 = \frac{q_{m \text{ gaz d'échapp}}}{q_{m \text{ combustible}}} * c_{p \text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25 \text{ °C}) - \frac{q_{m \text{ air}}}{q_{m \text{ combustible}}} * c_{p \text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25 \text{ °C})$$

$$PCI * \lambda / 1,2 = \left( \frac{q_{m\text{combustible}} + q_{m\text{air}}}{q_{m\text{combustible}}} \right) * c_{p\text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25^\circ\text{C}) - \frac{q_{m\text{air}}}{q_{m\text{combustible}}} * c_{p\text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25^\circ\text{C})$$

$$PCI * \lambda / 1,2 = (1 + 14,65 \cdot \lambda) * c_{p\text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25^\circ\text{C}) - 14,65 \cdot \lambda * c_{p\text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25^\circ\text{C})$$

$$\lambda = \frac{c_{p\text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25^\circ\text{C})}{\frac{PCI}{1,2} - 14,65 * c_{p\text{ gaz d'échapp}} * (\theta_{\text{gaz d'échapp}} - 25^\circ\text{C}) + 14,65 * c_{p\text{ air}} * (\theta_{\text{air}} - 25^\circ\text{C})}$$

$$= \frac{1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (1000^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{\frac{42600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1,2} - 14,65 \cdot 1,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (1000^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) + 14,65 \cdot 1,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (300^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}$$

$$= 0,0484$$

$$q_{m\text{ combustible}} = 58,5 \text{ kg/s}$$

$$q_{m\text{ air}} = 41,5 \text{ kg/s}$$

- d) La solution b) est la meilleure. Le coût de fonctionnement de la solution c) est beaucoup plus élevé parce que la turbine à gaz consomme 58,5 kg/s du combustible et la pollution de l'environnement est beaucoup plus importante dans le cas de la solution c) parce que 55,7 kg/s de combustible non oxydé sont éjecté dans l'environnement.