
Notions sur la combustion et la pollution

1 Pouvoir calorifique (inférieur) PCI [kJ/kg]

= Chaleur dégagée par la combustion complète de 1 kg de combustible

(1)

⇒ utilisé pour la plupart des machines thermiques

2 Pouvoir calorifique (supérieur) PCS [kJ/kg]

= Chaleur dégagée par la combustion complète de 1 kg de combustible
+ chaleur de condensation de la vapeur d'eau dans les gaz d'échappement

(2)

$$H_m = \frac{\text{masse des atomes H dans le combustible}}{\text{masse du combustible}}$$

$$E_m = \frac{\text{masse de l'eau dans le combustible}}{\text{masse du combustible}}$$

Δh_v : chaleur massique de condensation

$\Delta h_v(1 \text{ bar}) = 2250 \text{ kJ/kg}$

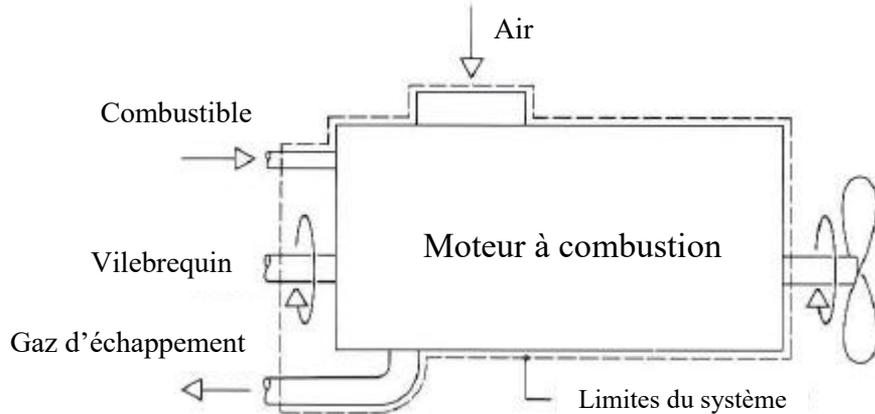
⇒ utilisé par des laboratoires : ils mesurent le PCS d'un combustible et déterminent le PCI à l'aide de l'équation (2)

⇒ utilisé pour les _____

⇒ utilisé sur les factures à gaz

3 Premier principe de la thermodynamique

Exemple "moteur à combustion":



Pour un système ouvert :

❖ si $c_{p_air} = c_{p_combustible} = c_{p_gaz\ d'échappement}$:

$$\Phi_e + P_i + \Phi_{combustion} = q_{mair} \cdot c_p \cdot (\theta_{gaz\ d'échapp} - \theta_{air}) + q_{mcomb} \cdot c_p \cdot (\theta_{gaz\ d'échapp} - \theta_{comb}) \quad (3)$$

Φ_e : pertes thermiques

$\Phi_{combustion}$: apport de chaleur dû à la combustion (voir equation (1))

❖ si $c_{p_air} \neq c_{p_combustible} \neq c_{p_gaz\ d'échappement}$:

$$\Phi_e + P_i + \Phi_{combustion} =$$

(4)

Attention: - $\theta_{gaz\ d'échapp}$, θ_{air} et θ_{comb} en °C !!!!

- si les gaz d'échappement (ou le combustible) sont composés de plusieurs composants:

$$c_{p_gaz\ d'échappement} = \sum (\xi_i \cdot c_{pi}) \quad \text{avec} \quad \xi_i = \frac{q_{mi}}{q_{mgaz\ d'échapp}} \quad (5)$$

4 Détermination du volume d'air nécessaire et de la composition des gaz d'échappement dans le cas d'un

Données : Composition _____ (= composition molaire) du combustible

➡ pour les gaz (parfaits) :

$$\boxed{\frac{V_i}{V_{\text{combustible}}} = \frac{n_i}{n_{\text{combustible}}}} \quad (\text{à } 0 \text{ °C et } 1 \text{ bar}) \quad (6)$$

n: quantité des molécules [kmol]

Volume d'air nécessaire (Pouvoir comburivore) :

	Composition volumique (ou molaire)	Composition massique
O ₂		
N ₂		

$$\Rightarrow V_{\text{air}} = \quad \quad \quad = 8.12 \cdot V_{\text{combustible}} \quad (\text{à } \theta_{\text{comb}} \text{ et } p_{\text{comb}})$$

Volume des gaz d'échappement (Pouvoir fumigène (humide)) :

$$\Rightarrow V_{\text{gaz d'échappement}} = \quad \quad \quad = 9.13 \cdot V_{\text{combustible}} \quad (\text{à } \theta_{\text{comb}} \text{ et } p_{\text{comb}})$$

Excès d'air λ :

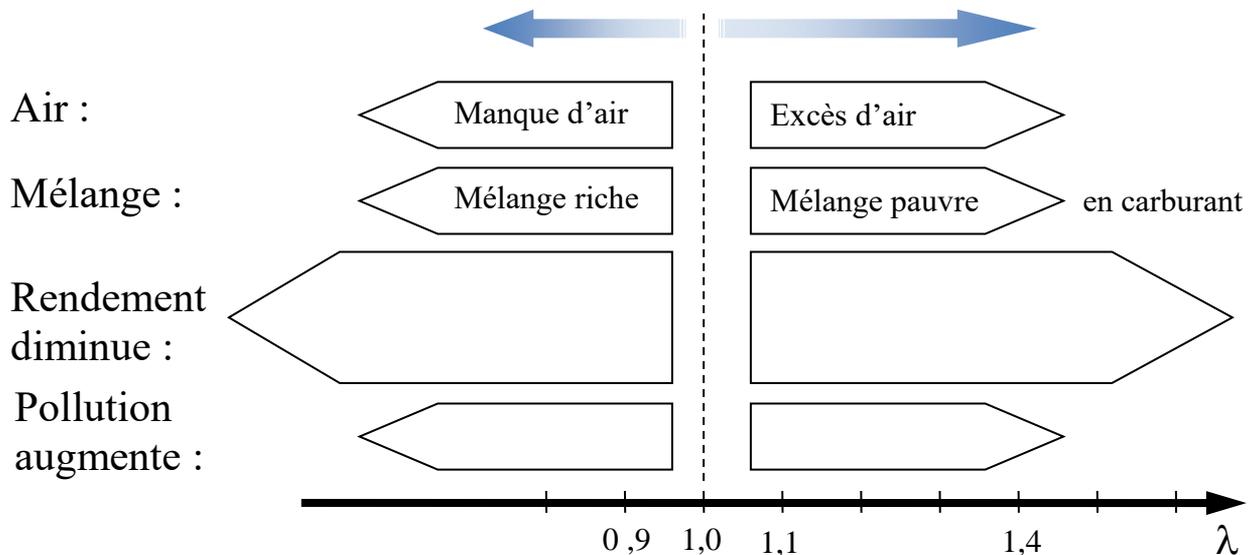
La masse d'air déterminée à l'aide du tableau 1 est la masse d'air pour le cas idéal d'une _____ : **chaque** molécule d'oxygène réagit avec une molécule du combustible (_____). Il y a ni du combustible ni d'oxygène dans les gaz d'échappement.

Souvent dans la réalité le combustible n'est pas bien mélangé avec l'air et certaines molécules d'oxygène ne tombent pas sur une molécule du combustible pendant la combustion. On trouve donc encore du combustible (et d'oxygène) dans les gaz d'échappement (_____).

Afin de brûler tout le combustible, il faut un **surplus** des molécules d'oxygène d'environ 10 à 40 % :

Exemple :

Les 20 % des molécules d'oxygène se trouvent après la combustion dans les gaz d'échappement (_____).



Pourquoi un moteur à essence peut fonctionner avec un $\lambda = 1$?

L'essence se mélange avec l'air avant d'entrer dans le cylindre. L'essence et l'air ont assez de temps pour se bien mélanger et un $\lambda = 1$ suffit.

Pourquoi un moteur diesel a besoin d'un excès d'air ?

Le combustible est mélangé avec l'air seulement dans le cylindre quand le piston arrive au point mort haut. Le combustible n'a pas le temps pour bien se mélanger avec l'air, il faut un excès d'air pour être sûr que tout le combustible a trouvé de l'air pour brûler.

On utilise aux Etats-Unis l'AF (Air-Fuel Ratio) à la place de λ : $AF = m_{air}/m_{combustible}$.

Détermination de la composition massique d'un gaz (par exemple du combustible ou des gaz d'échappement) :

Exemple : combustible du tableau 1 :

5 Détermination de la masse d'air nécessaire et de la masse des gaz d'échappement dans le cas d'un combustible

Données : Composition _____ du combustible $\left[\frac{m_i}{m_{\text{combustible}}} \right]$

Masse d'air nécessaire :

(8)

C_m (H_m , S_m , O_m) : part massique de Carbone (Hydrogène, Souffre, Oxygène) dans le combustible

Masse des gaz d'échappement :

$$m_{\text{gaz d'échapp}} = \left[3,664 * C_m + 8,937 * H_m + E_m + 1,998 * S_m + 0,231 * (\lambda - 1) * \frac{m_{\text{air stoe}}}{m_{\text{combustible}}} + N_m + 0,769 * \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{combustible}}} \right] * m_{\text{combustible}} \quad (9)$$

E_m (N_m) : part massique de l'Eau (de l'Azote) dans le combustible

ou par un bilan des masses :

(10)