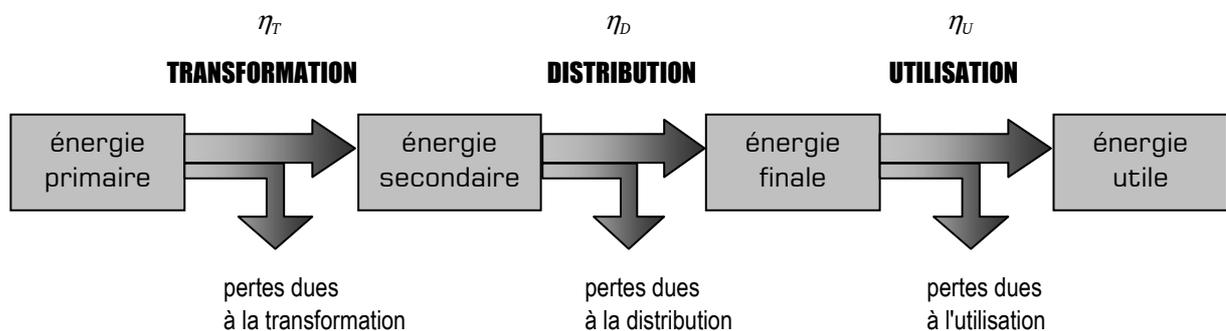


TRANSFORMATIONS DE L'ENERGIE

Nous allons revenir sur quelques définitions liées à la transformation de l'énergie : rendement énergétique global, pouvoir calorifique d'un carburant, consommation de carburant dans un moteur.

1. RENDEMENT ENERGETIQUE GLOBAL

Schéma d'une chaîne énergétique :



$$\text{rendement global } \eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{utile}}}{\mathcal{E}_{\text{primaire}}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{utile}}}{\mathcal{E}_{\text{finale}}} \times \frac{\mathcal{E}_{\text{finale}}}{\mathcal{E}_{\text{secondaire}}} \times \frac{\mathcal{E}_{\text{secondaire}}}{\mathcal{E}_{\text{primaire}}} = \eta_T \times \eta_D \times \eta_U$$

2. OBTENTION D'ENERGIE THERMIQUE A PARTIR D'ENERGIE CHIMIQUE : PCI ET PCS

Intéressons-nous à la combustion du méthane (gaz naturel), dont l'équation chimique s'écrit



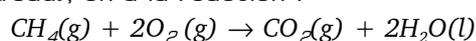
(g) : constituant à l'état gazeux

La thermodynamique chimique nous indique que cette combustion réalisée dans les conditions normales (pression extérieure de 10^5 Pa et température de 273 K) dégage une chaleur d'environ 800 kJ.mol^{-1} .

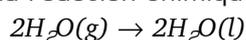
La mole n'étant pas une unité de quantité de matière utilisée dans l'industrie, on exprimera plutôt cette chaleur par unité de masse ou de volume de combustible consommé, soit 50 MJ.kg^{-1} ou $36,8 \text{ MJ.m}^{-3}$

La 1^e quantité est désignée par pouvoir calorifique inférieur massique, que nous noterons K_m et la seconde est désignée par pouvoir calorifique inférieur volumique, noté K_v . Ces deux quantités sont habituellement notées *PCI*.

Dans le cas où l'eau formée est obtenue sous forme liquide (après condensation de la vapeur d'eau), on a la réaction :



Cette réaction dégage une quantité de chaleur supérieure. En effet, elle fait intervenir en plus de la réaction chimique $\textcircled{1}$ la transformation physique :



Cette liquéfaction se traduit par le bilan enthalpique $\Delta H = -2nL_{VM}$.

n étant le nombre de moles de méthane consommé, L_{VM} désignant la chaleur latente molaire de vaporisation de l'eau.

Le signe " - " est dû au fait que l'on a réalisé la liquéfaction, réaction inverse de la vaporisation.

$L_{VM} > 0$ donc $\Delta H < 0$ ce qui traduit que l'eau perd de l'énergie. La chaleur supplémentaire produite vaut donc $+2nL_{VM}$.

Ramenée à la masse d'eau liquide produite, cette quantité de chaleur s'exprime par $m.l_v$, l_v désignant la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau.

Application numérique : Pour 1 kg de méthane consommé, soit 62,5 moles, la combustion produit $62,5 \times 2 = 125$ moles d'eau, soit 2,25 kg d'eau.

⇒ On notera $m_m = 2,25$ kg d'eau produite / kg de méthane consommé.

Pour 1 m³ de méthane consommé, soit 52 moles, la combustion produit $52 \times 2 = 104$ moles d'eau, soit 1,87 kg d'eau.

⇒ On notera $m_v = 1,87$ kg d'eau produite / m³ de méthane consommé.

$l_v = 2247$ kJ . kg⁻¹ = 2,247 MJ . kg⁻¹

La chaleur produite par la combustion sera donc

$50 + 2,25 \times 2,247 = 55$ MJ . kg⁻¹ ou $36,8 + 1,87 \times 2,247 = 41$ MJ . m⁻³

La 1^{ère} quantité est désignée par pouvoir calorifique supérieur massique, noté K_{mS} , et la seconde est désignée par pouvoir calorifique supérieur volumique; noté K_{vS} . Ces deux quantités sont également notées PCS.

Récapitulatif

◇ Combustion sans condensation de l'eau formée ou sans formation d'eau :

$$\boxed{Q_C = m K_m = \mu \varnothing K_m = \varnothing K_v}$$

$\begin{matrix} J & kg & J \cdot kg^{-1} & m^3 & J \cdot m^{-3} \end{matrix}$

Q_C = chaleur dégagée par la combustion

m = masse de combustible consommé

\varnothing = volume de combustible consommé

μ = masse volumique du combustible

$$PCI \begin{cases} K_m & \text{pouvoir calorifique inférieur massique (en général pour un combustible liquide ou solide).} \\ K_v & \text{pouvoir calorifique inférieur volumique (en général pour un combustible gazeux).} \end{cases}$$

Remarque : Q_C peut également désigner l'énergie chimique dégagée par une oxydation (par exemple celle du sucre) dans l'organisme.

◇ Combustion avec condensation de l'eau formée :

$$\boxed{Q_C = m K_{mS} = \varnothing K_{vS}}$$

$$PCS \begin{cases} K_{mS} = K_m + m_m \cdot l_v = \text{pouvoir calorifique supérieur massique.} \\ \quad \text{sans dim.} \quad J \cdot kg^{-1} \\ K_{vS} = K_v + m_v \cdot l_v = \text{pouvoir calorifique supérieur volumique.} \\ \quad kg \cdot m^{-3} \end{cases}$$

Avec m_m masse d'eau formée par unité de masse de combustible consommé.
 m_v masse d'eau formée par unité de volume de combustible consommé.
 l_v chaleur latente massique de vaporisation de l'eau.

Remarques : Q_c peut également s'exprimer en *tep* (tonne équivalent pétrole)
 (unités) $1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ}$
 Les *PCI* s'exprime souvent en MJ.kg^{-1} ou MJ.L^{-1}
 exemples : fioul : $K_m = 42$ à $42,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$
 gaz naturel (méthane) : $K_v = 36,8 \text{ MJ.m}^{-3}$

3. RENDEMENT D'UN MOTEUR ET CONSOMMATION DE CARBURANT

On définit la *consommation spécifique* par :

$$\mathcal{C}_s \text{ (ou } \alpha_s) = \frac{m}{|W|} = \frac{q_m}{\mathcal{P}_m}$$

$\begin{matrix} \text{kg} & & \text{kg.s}^{-1} \\ \swarrow & & \swarrow \\ & \frac{m}{|W|} = \frac{q_m}{\mathcal{P}_m} & \\ \swarrow & & \swarrow \\ \text{kg.J}^{-1} & & \text{J} & & \text{W} \end{matrix}$

Avec q_m débit massique de carburant,
 \mathcal{P}_m puissance mécanique utile fournie par le moteur,
 m masse de carburant nécessaire pour produire un travail $|W|$.

Rappels :

$$\mathcal{P}_m = \mathcal{M}_m \cdot \omega \quad \mathcal{M}_m = (\text{moment du}) \text{ couple moteur (N.m)}$$

$$\omega = \text{vitesse angulaire du moteur (rad.s}^{-1}\text{)}$$

souvent exprimée en tr. min^{-1} (attention)

et $|W|$ en régime permanent

$$|W| = \mathcal{P}_m \cdot t = \mathcal{M}_m \theta \quad \theta = \text{angle dont a tourné le moteur}$$

Rendement (à savoir retrouver) :

$$\eta = \frac{|W|}{Q_c} = \frac{\mathcal{P}_m t}{m K_m} = \frac{\mathcal{P}_m}{q_m K_m} = \frac{1}{K_m \mathcal{C}_s}$$

4. FLUX THERMIQUE

(notion développée dans le cours sur les transferts thermiques)

Soit un système ayant des échanges de chaleur avec l'extérieur. Exemple : un radiateur.
 On nomme flux thermique (ou puissance thermique) la quantité de chaleur sortant du système par unité de temps. Cette quantité algébrique, qui se note Φ , s'exprime donc en watts. Elle est définie "sortante", c'est-à-dire que $\Phi > 0$ si le système fournit cette chaleur.

On a donc la relation : $\Phi = - \frac{\partial Q}{\partial t}$