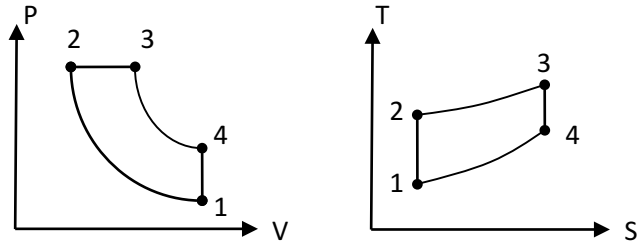


## MACHINES THERMIQUES

### Moteur alternatif

#### - Moteur diesel :



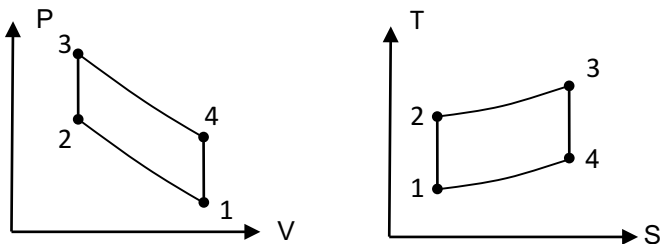
- 1-2 : Compression isentropique = adiabatique réversible
- 2-3 : Combustion isobare
- 3-4 : Détente isentropique
- 4-1 : Dégagement isochore de chaleur (ouverture soupape)

Rapport volumétrique de compression  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$  et  $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{\kappa-1}$   
 Rapport volumétrique de combustion  $\varphi = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$

#### Rendement thermique

$$\eta_{th} = \frac{q_{23} + q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{1}{\kappa} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\kappa} \frac{\varphi^\kappa - 1}{\varphi - 1} \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

#### - Moteur essence :



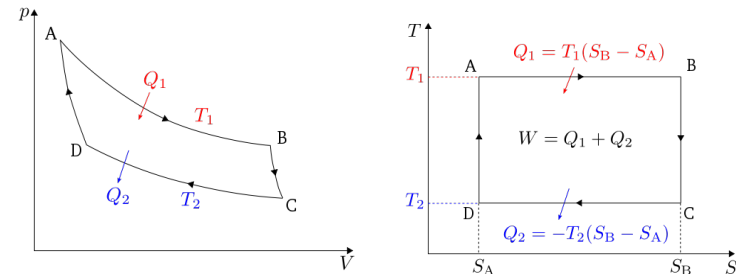
- 1-2 : Compression isentropique = adiabatique réversible
- 2-3 : Combustion isochore (car instantanée)

- 3-4 : Détente isentropique
- 4-1 : Dégagement isochore de chaleur (ouverture soupape)

#### Rendement thermique

$$\eta_{th} = \frac{q_{23} + q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

#### - Moteur Carnot :



- 3-4 : Compression isotherme réversible
  - 4-1 : Compression adiabatique réversible
  - 1-2 : Détente isotherme réversible
  - 2-3 : Détente adiabatique réversible
- $\eta = 1 - \frac{T_A}{T_D}$  Ce rendement est le rendement maximal atteignable pour un moteur thermique fonctionnant avec ces 2 valeurs extrémales de températures.

### Rappel de Thermodynamique :

1<sup>er</sup> Principe système ouvert :  $\phi + P_i = \dot{H}_s - \dot{H}_e$  et  $q + w_i = h_s - h_e$

#### Equation d'état des gaz parfaits

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \\ \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-n}{n}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1} \end{array} \right. \text{ Avec } \left\{ \begin{array}{l} \text{isobare} \rightarrow n = 0 \\ \text{isotherme} \rightarrow n = 1 \\ \text{isentropique} \rightarrow n = \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - r_i} \\ \text{adiabatique} \\ \text{isochore} \rightarrow n = \infty \end{array} \right.$$

## Notions de combustion

Pouvoir Calorifique Inférieur : PCI [kJ/kg] = chaleur dégagée par la combustion complète de 1 kg de combustible :

$$Q_{\text{combustible}} = PCI \cdot m_{\text{combustible}} \quad \text{et} \quad \Phi_{\text{combustible}} = PCI \cdot q_{\text{combustible}}$$

Exemple d'utilisation : dans le PPT moteur Diesel :

$$\phi + P_t + \phi_{\text{combustion}} = q_{m\_gaz\_ech} \cdot c_{p\_gaz\_ech} \cdot (\theta_{\text{gaz\_ech}} - 25^\circ\text{C}) - q_{m\_air} \cdot c_{p\_air} \cdot (\theta_{\text{air}} - 25^\circ\text{C}) - q_{m\_combustible} \cdot c_{p\_combustible} \cdot (\theta_{\text{combustible}} - 25^\circ\text{C})$$

Avec :

- $\Phi$  les pertes de chaleur
- Pt puissance transmise
- $\theta_i$  en °C
- $\Phi + Pt = P_i$  la puissance indiquée

Si les gaz d'échappement sont composés de plusieurs composants :

$$c_{p\_gaz\_ech} = \sum_i \xi_i c_{p_i}$$

$$\xi_i = \frac{q_{i_m}}{q_{m\_gaz\_d'echappement}} \quad \text{et} \quad \xi_{i\_molaire} = \frac{q_{i_m}}{M_i \cdot q_{m_{mol}}} \quad \text{avec} \quad q_{m_{mol}} = \sum q_{i_m} \cdot M_i$$

Masse d'air nécessaire et masse des gaz d'échappement pour combustible liquide ou solide :

$$m_{\text{air\_stoe}} = \frac{2,664 \cdot C_m + 7,937 \cdot H_m + 0,998 \cdot S_m - O_m}{0,233} \cdot m_{\text{combustible}}$$

$$m_{\text{air}} = \lambda \cdot m_{\text{air\_stoe}} \quad (\lambda \text{ excès d'air})$$

Liste de masses molaires :

H : 1 g/mol    C : 12 g/mol    N : 14 g/mol    O : 16 g/mol    S : 32 g/mol

	Composition massique	Composition molaire
O2	23,3 %	21 %
N2	76,7 %	79 %

Si on n'a pas la proportion des éléments dans le combustible ( $C_m$ ,  $H_m$ , etc.), on fait un bilan chimique de la réaction afin de déterminer les débits molaires d'O2 et de N2, puis on applique la formule suivante :  $m_{\text{air\_stoe}} = q_{n_{O_2}} \cdot M_{O_2} + q_{n_{N_2}} \cdot M_{N_2}$

Masse des gaz d'échappement / formule à utiliser pour avoir la composition des gaz de sortie :

$$m_{\text{gaz\_ech}} = \left[ \underbrace{3,664 \cdot C_m}_{CO_2} + \underbrace{8,937 \cdot H_m + E_m}_{H_2O} + \underbrace{1,998 \cdot S_m}_{SO_2} + \underbrace{0,233 \cdot (\lambda - 1) \cdot \frac{m_{\text{air\_stoe}}}{m_{\text{combustible}}}}_{O_2} \right] + \underbrace{N_m + 0,767 \cdot \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{combustible}}}}_{N_2} \cdot m_{cc}$$

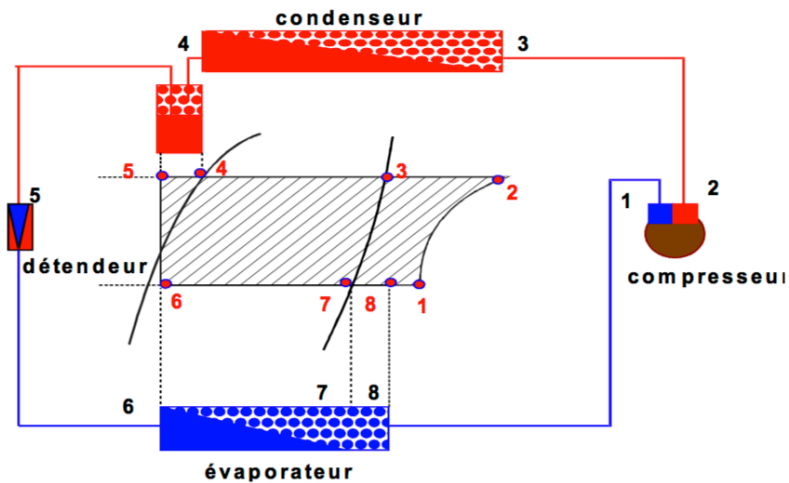
Ou par bilan massique :

$$m_{\text{gaz\_ech}} = m_{\text{combustible}} + m_{\text{air}}$$

Liste de mises en garde :

- Débit molaire =  $\frac{\text{débit massique total}}{\text{Masse Molaire}} \cdot \% \text{ du composant dans le mélange}$
- Penser à équilibrer les formules pour les bilans gazeux en sortie
- Pour les exercices du même type que le 2.3 si vous avez une calculatrice qui résout les systèmes d'équations, utilisez cette fonctionnalité et vous gagnerez beaucoup de temps aussi bien en résolution qu'en écriture en posant x = variable 1 et y = variable 2 dès le début ☺

## Machines frigorifiques



Compression : on suit la courbe iso-entropique car on considère qu'il est adiabatique la plupart du temps

Détente : on trace une droite verticale car cela correspond à une réaction iso-enthalpique. On passe d'une pression P1 à une pression P2 plus faible

Evaporation et condensation : ce sont des droites horizontales car ce sont des isothermes

Sous refroidissement : Cela fait passer de 4 à 5. C'est un artifice pour augmenter le cycle calorifique

Régime sec : Cela fait passer de 7 à 8 puis à 1. On chauffe les vapeurs entre 7 et 8. Entre 8 et 1 les vapeurs continuent à surchauffer en raison de l'inertie.

Formulaire :

$$q_{clim} = h1 - h6$$

$$\Phi_{clim} = q_{massique} \cdot q_{clim}$$

$$w_i = h2 - h1$$

$$\rho = \frac{q_{clim}}{w_i}$$