

Thermodynamique : Cycles et Machines Thermiques

Carnet d'Ingé

*La Thermodynamique est une comptabilité d'énergie. La seule difficulté est de savoir qui paie et qui reçoit.
Maîtrisez les signes, et vous aurez les points.*

1 Les Fondamentaux du Cycle

Un cycle est une suite de transformations où l'état final est identique à l'état initial.

- **Fonction d'État :** Pour un cycle, la variation de toute fonction d'état (U, H, S) est NULLE.

$$\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \quad \text{et} \quad \Delta S_{\text{cycle}} = 0$$

- **Premier Principe :** $\Delta U_{\text{cycle}} = W_{\text{cycle}} + Q_{\text{cycle}} = 0 \implies W_{\text{cycle}} = -Q_{\text{cycle}}$

Convention du Banquier (Signes)

Le système est votre compte en banque.

- **Reçu (> 0) :** Ce qui rentre dans le système (Chauffage, Compression).
- **Cédé (< 0) :** Ce qui sort du système (Refroidissement, Détente motrice).

2 Typologie des Machines (Diagramme P,V)

Tout dépend du sens de parcours du cycle dans le diagramme (P, V).

Moteur Thermique

- **Sens :** Horaire \circlearrowleft
- **Travail :** $W < 0$ (Fourni).
- **But :** Produire du mouvement à partir de chaleur.

Récepteur (Frigo / PAC)

- **Sens :** Anti-Horaire \circlearrowright
- **Travail :** $W > 0$ (Reçu/Payé).
- **But :** Déplacer de la chaleur (du froid vers le chaud).

3 Calcul des Rendements et Efficacités

La formule générale est toujours : $\eta = \frac{|\text{Ce qui est Utile}|}{|\text{Ce qui Coûte}|}$.

1. Moteur (Cycle ditherme)

- **Utile :** Le travail fourni $|W|$.
- **Coût :** La chaleur reçue de la source chaude Q_C .
- **Rendement :** $\eta = \frac{-W}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C} \quad (\leq 1)$

2. Réfrigérateur (Clim)

- **Utile :** Chaleur prélevée à la source froide Q_F (l'intérieur du frigo).
- **Coût :** Travail électrique du compresseur W .
- **Efficacité (COP) :** $e = \frac{Q_F}{W}$.

3. Pompe à Chaleur (PAC)

- **Utile** : Chaleur donnée à la source chaude $-Q_C$ (la maison).
- **Coût** : Travail électrique W .
- **Efficacité (COP)** : $e = \frac{-Q_C}{W}$.

4 Outils de Calculs (Gaz Parfaits)

Le Choix : Enthalpie ou Énergie Interne ?

Pour un Gaz Parfait (lois de Joule) :

- $\Delta U = C_v \Delta T$: À utiliser pour le travail en adiabatique ($W = \Delta U$) ou transformation isochore.
- $\Delta H = C_p \Delta T$: À utiliser pour la chaleur en isobare ($Q = \Delta H$).

Lois de Laplace (Adiabatique Réversible)

Si $Q = 0$ et $S_{cr} = 0$ (et γ constant) :

$$PV^\gamma = \text{cste} \quad ; \quad TV^{\gamma-1} = \text{cste} \quad ; \quad T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{cste}$$

Travail adiabatique : $W = \frac{nR}{\gamma-1}(T_f - T_i)$.

5 Limites Théoriques (Le Second Principe)

Inégalité de Clausius (Entropie)

Sur un cycle complet : $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$.
(Égalité = 0 si le cycle est Réversible).

Théorème de Carnot (Rendement Max)

Aucune machine réelle ne peut dépasser le rendement d'une machine réversible fonctionnant entre les mêmes températures.

$$\eta_{\text{réel}} \leq \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Attention : Toujours utiliser les températures en Kelvin (K).