

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

### Récepteur (Frigo / PAC)

- **Sens** : Anti-Horaire  $\curvearrowleft$
- **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  $\gamma$  constant) :

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

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

## 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).*