THERMODYNAMIQUE

PGC-11

1er principe de la thermodynamique

Travail, chaleur et énergie interne

Transformations d'état

Cycles et machines thermiques

Rendement d'une machine thermique

Cycle de Carnot

Moteur de Stirling

2ème principe de la thermodynamique, Entropie

PREMIER PRINCIPE

1er PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

L'énergie ne peut être ni crée ni détruite, mais seulement transférée d'un système à un autre ou transformée d'une forme en une autre.

$$\Delta U = Q + W_s$$

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

$$W_s = -\int_{V_i}^{V_f} P\,dV$$

$PV = nRT$

TRANSFORMATIONS

Isotherme $T = \text{const}$

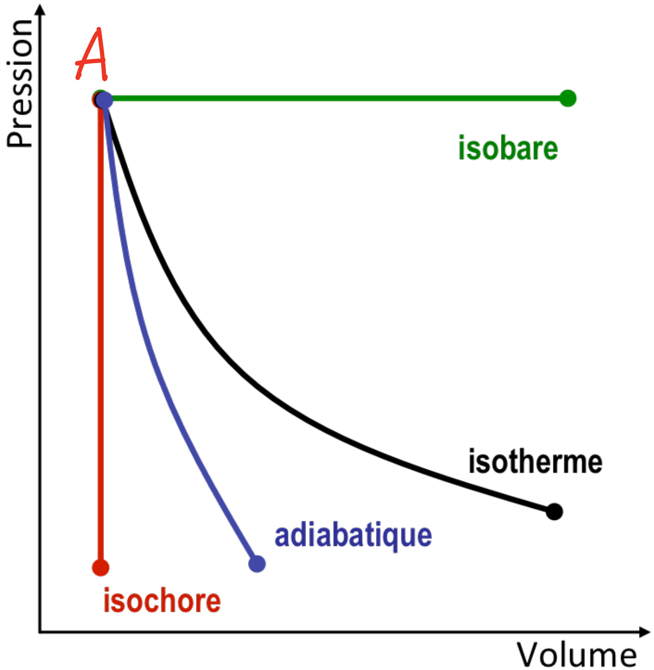
Isobare $P = \text{const}$

Isochore $V = \text{const}$

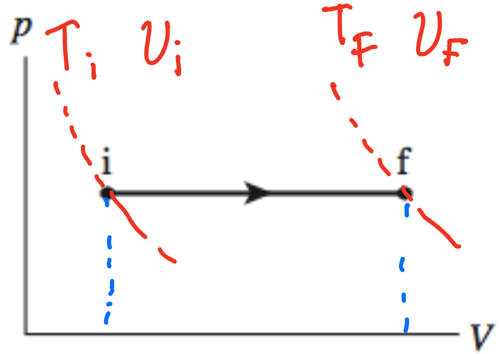
Adiabatique $\Delta Q = 0$

Reversible $A \to B \quad B \to A$

Irreversible $A \to B \neq B \to A$

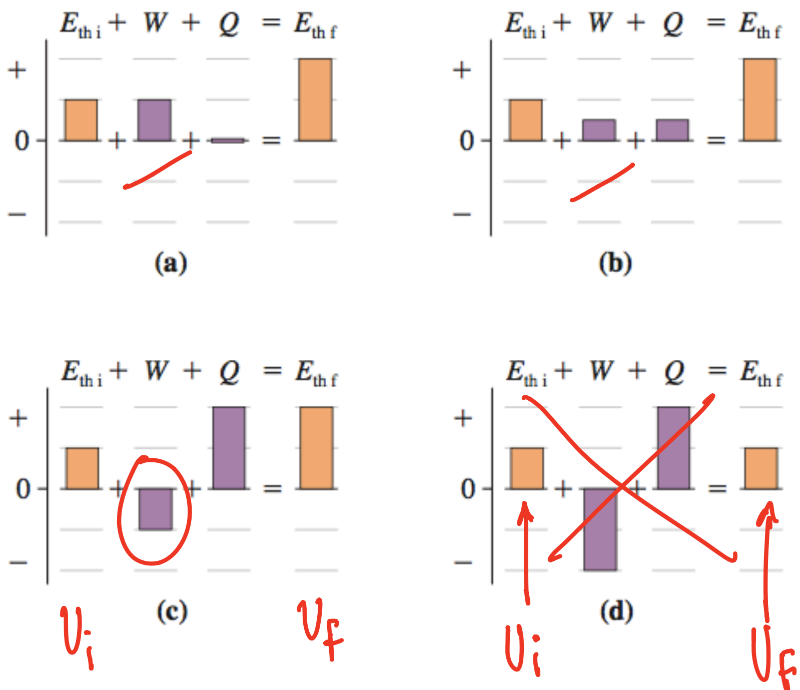


QUESTION



$$W_s = -\int_{V_i}^{V_f} P\,dV$$

$\Delta V > 0$



$\Delta U > 0$ $\quad W_s < 0 \quad Q$

$\Delta U = Q + W_s$

$\Delta U = Q - W$

CAPACITÉ CALORIFIQUE MOLAIRE À VOLUME CONSTANT

$$Q = mc\,\Delta T = n\,C\,\Delta T$$

$$\left.\begin{array}{l} \Delta U = Q_v + W_s \\ \Delta V = 0 \Rightarrow W_s = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta U = Q_v = n\,C_v\,\Delta T \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} C_v = \dfrac{1}{n}\dfrac{\Delta U}{\Delta T} \\ U = \dfrac{3}{2}nRT \Rightarrow \Delta U = \dfrac{3}{2}nR\,\Delta T \Rightarrow \dfrac{\Delta U}{\Delta T} = \dfrac{3}{2}nR \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C_v = \frac{3}{2}R}$$

d'où

$$U = \frac{3}{2}nRT = n\,C_v\,T$$

$$\boxed{\Delta U = n\,C_v\,\Delta T}$$

CAPACITÉ CALORIFIQUE MOLAIRE À PRESSION CONSTANTE

$$Q_p = n C_p \Delta T$$

$$\left.\begin{array}{l} \Delta U = Q_p + W_s \\ W_s = -P\Delta V = -\cancel{P}\,\dfrac{nR\Delta T}{\cancel{P}} = -nR\Delta T \\ \Delta U = n C_v \Delta T \\ Q_p = n C_p \Delta T \end{array}\right\} \Rightarrow$$

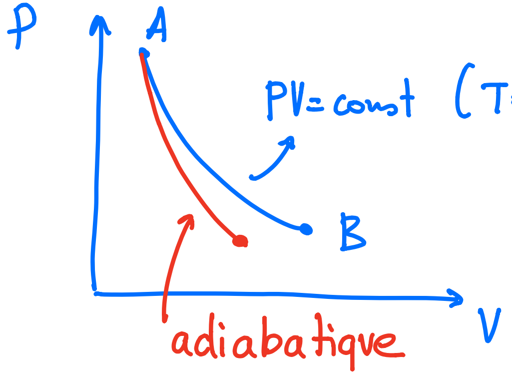
$$\cancel{n} C_v \cancel{\Delta T} = \cancel{n} C_p \cancel{\Delta T} - \cancel{n} R \cancel{\Delta T} \Rightarrow$$

$$\boxed{C_v = C_p - R}$$

TRANSFORMATION ADIABATIQUE

$Q = 0$

$\Delta U = W$



$\boxed{PV^{\gamma} = \text{const}}$

$\boxed{TV^{\gamma - 1} = \text{const}}$

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

monoatomique $\gamma = \frac{5/2}{3/2} = 1.67$

diatomique $\gamma = \frac{7/2}{3/2} = 1.40$

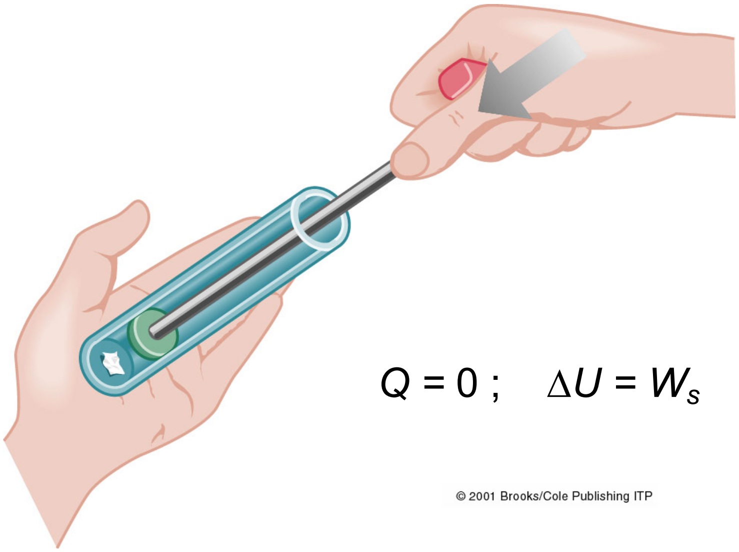
⋮

polyatomique $\gamma \simeq 1.30$

EXEMPLE

Si le gaz est comprimé, du travail s'effectue sur le gaz ($W_s > 0$) et son énergie interne augmente de même que T. Dans un moteur diesel, la compression adiabatique rapide de l'air par un facteur ~20 résulte en une élévation de température telle que lorsque l'essence y pénètre, le mélange s'enflamme spontanément.

Seringue de feu : en comprimant rapidement le gaz dans l'éprouvette avec un piston, le morceau de coton s'enflamme spontanément en raison de l'élévation de température.



$$Q = 0 \; ; \quad \Delta U = W_s$$

RÉSUMÉ DES TRANSFORMATIONS

Pour tout : $\Delta U = Q + W_s$

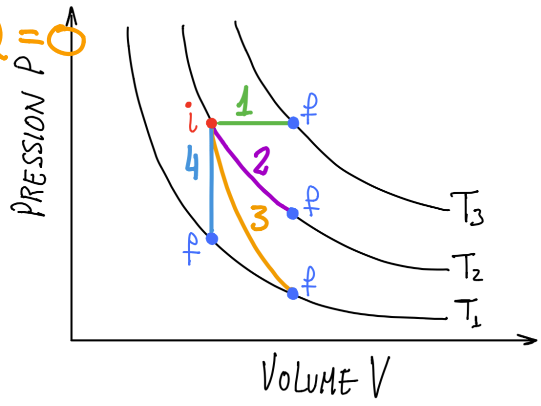
$\Delta U = n C_v \Delta T$

1) $P = \text{const}$ Isobare $Q = n C_p \Delta T$ $W_s = -P\Delta V$

2) $T = \text{const}$ Isotherme $Q = -W_s = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ $\Delta U = 0$

3) $PV^\gamma = \text{const}$ Adiabatique $Q = 0$

$W_s = \Delta U$



4) $V = \text{const}$ Isochore $W_s = 0$

$Q = \Delta U = n C_v \Delta T$

$$\Delta U = Q + W_s$$

Le diagramme ci-dessous décrit la transformation d'un gaz quand une chaleur Q est fournie. Pour le processus montré, laquelle des relations suivantes est correcte :

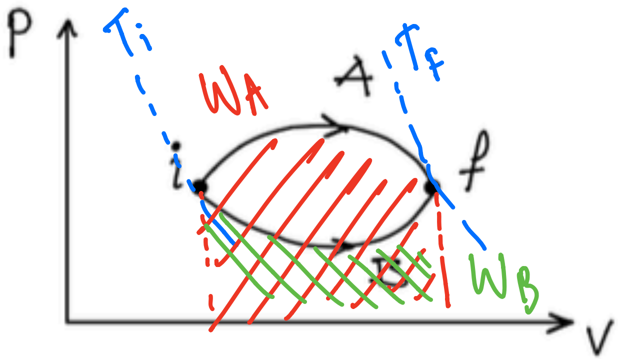
a. $Q_A > Q_B$
b. $Q_A = Q_B$
c. $Q_A < Q_B$

$$\Delta U_A = \Delta U_B \Rightarrow Q_A + W_{sA} = Q_B + W_{sB}$$

$$|W_{sA}| > |W_{sB}|$$

$$W_{sA} < W_{sB}$$

$$Q_A > Q_B$$



CYCLES THERMIQUES

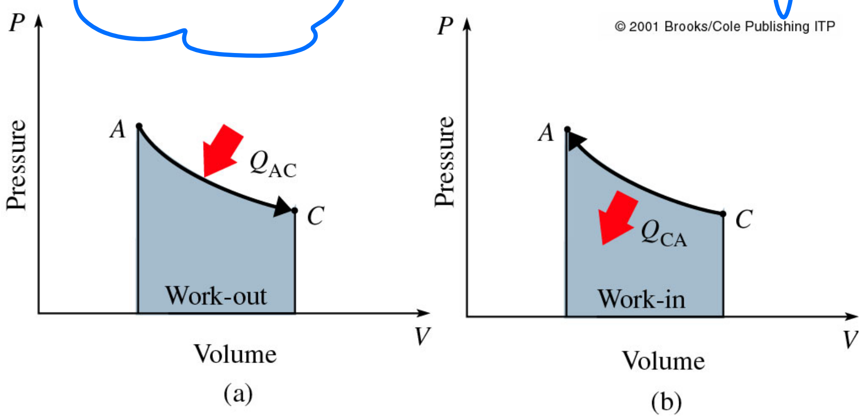
Dans ce qui suit, nous ne considérons que des transformations réversibles et nous voulons que le système revienne à son état initial après les transformations : $\Delta U = 0$.

Le diagramme dans le plan $P - V$ représente alors un cycle.

$$\Delta U = 0$$

$$W_{AC} = -\int P dV < 0 \qquad Q = -W_{AC} > 0$$

$$W_{CA} = -\int P dV > 0 \qquad Q = -W_{CA} < 0$$



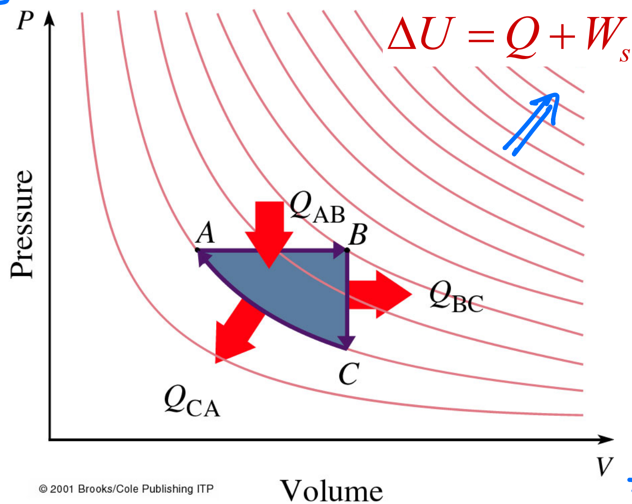
CYCLES THERMIQUES

$\boxed{\Delta U = Q + W_s}$

- $A \to B$ $\quad W_s < 0$

  $T \Uparrow \quad \Delta U \Uparrow \quad Q_{AB} = \Delta U - W_s > 0$

- $B \to C$ $\quad W_s = 0 \quad \Delta U < 0 \quad Q_{BC} < 0$



- $C \to A$ $\quad$ Isotherme $\quad \Delta U = 0$

  $W_s > 0$

  $Q < 0$

$\Delta U_{ABCA} = 0$

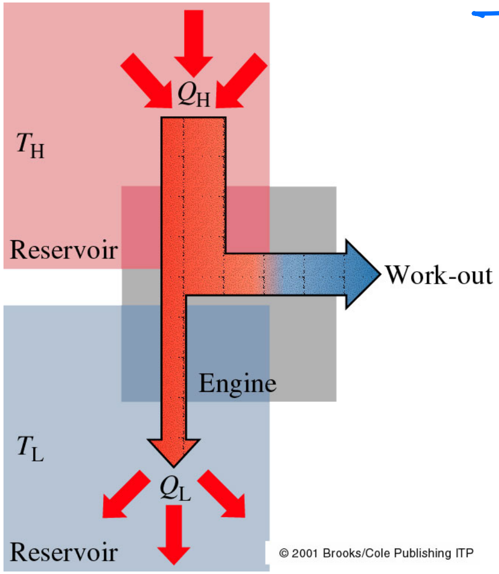
$W_{s\,TOT} + Q_{TOT} = 0$

$\Rightarrow$ Travail Total = chaleur reçue $\Leftarrow$

MOTEURS THERMIQUES

Un moteur thermique est un dispositif cyclique qui convertit l'énergie thermique en travail qu'il cède à l'extérieur.

Fluide, detente et compression // Si machine à T = const $\Delta U = 0$.



Travail entre reservoir à haute T_H et basse T_L

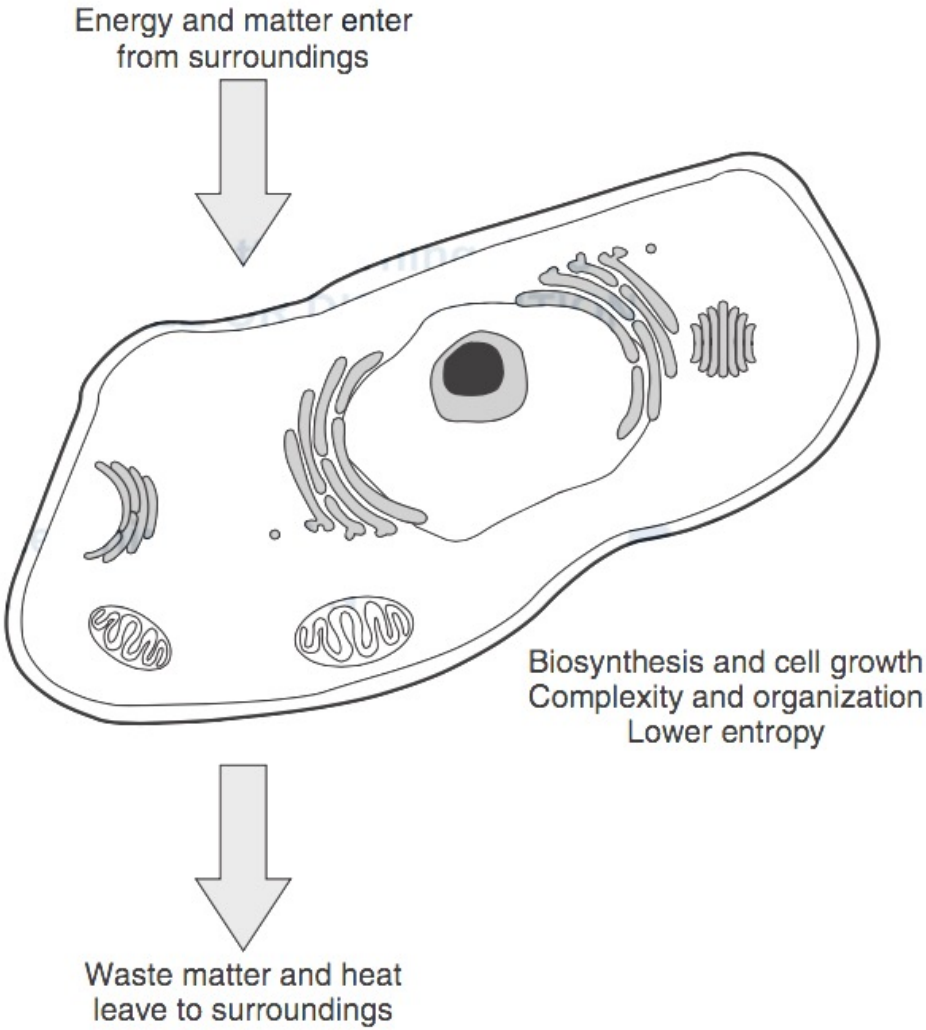
$Q_H > 0$

$Q_L < 0$

Chaleur absorbée $Q_H + Q_L = Q > 0$

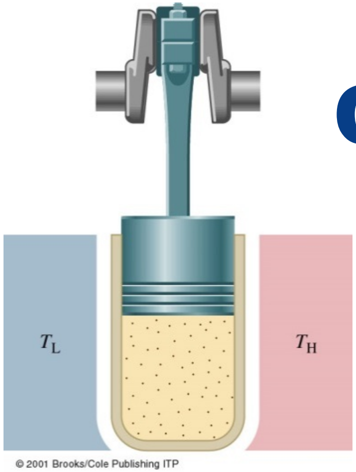
Travail fourni $W = -Q$

(Q_L n'est jamais zero)



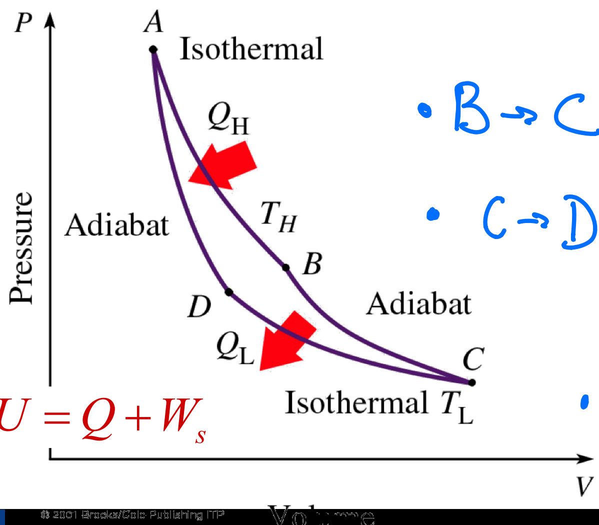
http://samples.jbpub.com/9780763763848/63848_CH01_p1_20.pdf

CYCLE DE CARNOT

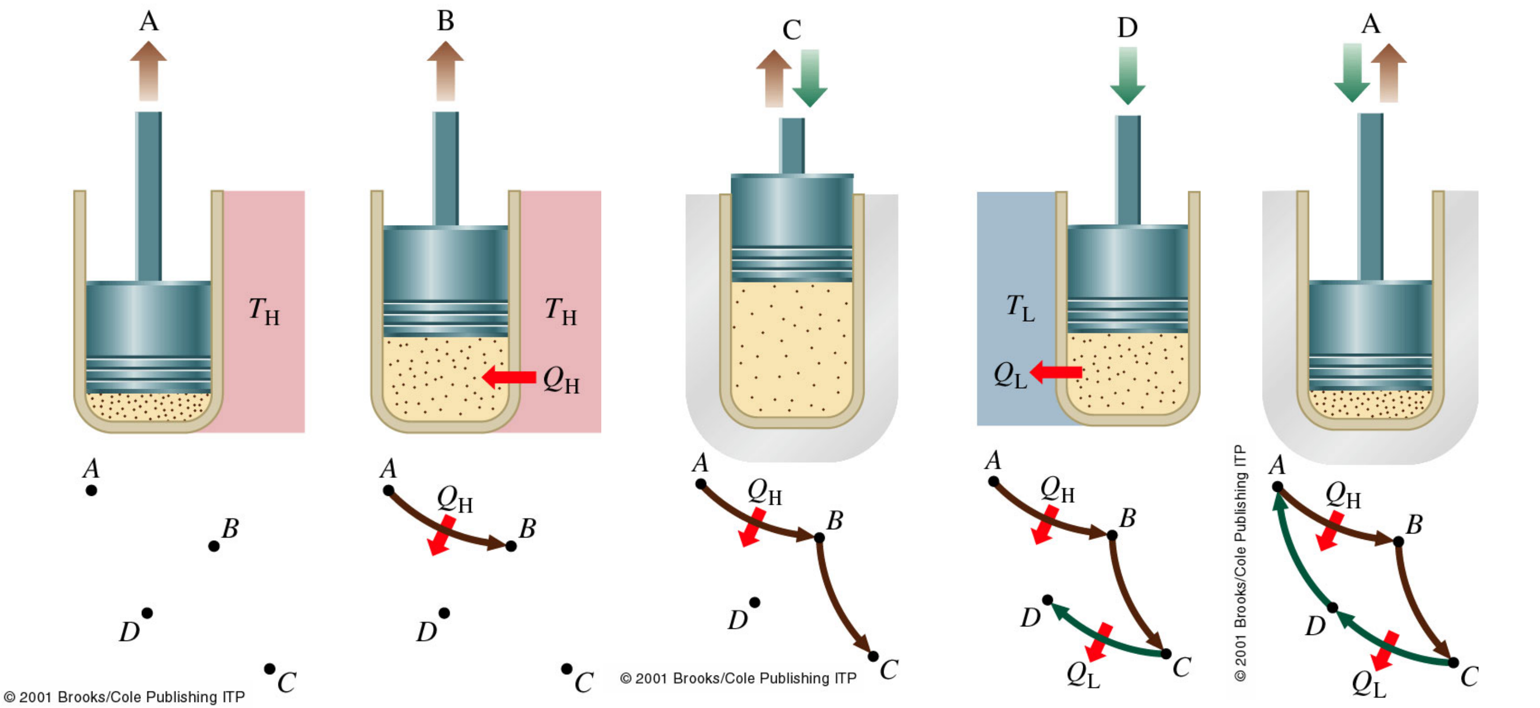


Le cycle de Carnot est un cycle idéal qui ne correspond à aucun moteur réalisable, fonctionnant selon un cycle réversible.

- $A \to B$ $T = \text{const}$ $\Delta U = 0$, $W < 0$, $Q_H > 0$
- $B \to C$ $Q = 0$ $W_s = \Delta U < 0$
- $C \to D$ $T = \text{const}$ $\Delta U = 0$ $W > 0$, $Q_L < 0$
- $D \to A$ $Q = 0$ $W_s = \Delta U > 0$



$$\Delta U = Q + W_s$$



1. détente isotherme

2. détente adiabatique

3. compression isotherme

4. compression adiabatique

RENDEMENT D'UNE MACHINE THERMIQUE

$$r = \frac{\text{énergie disponible sortante}}{\text{énergie entrante}} = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie fournie}}$$

CARNOT : idéal, la meilleure efficacité possible.

Pour moteur énergie utile : le travail effectué
énergie fournie : chaleur prise à la source chaude.

Pour cycle $W = Q_H - Q_L$

$$r = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

r moteur théorie 55% réel 35%

r centrale théorie 40% réel 30%

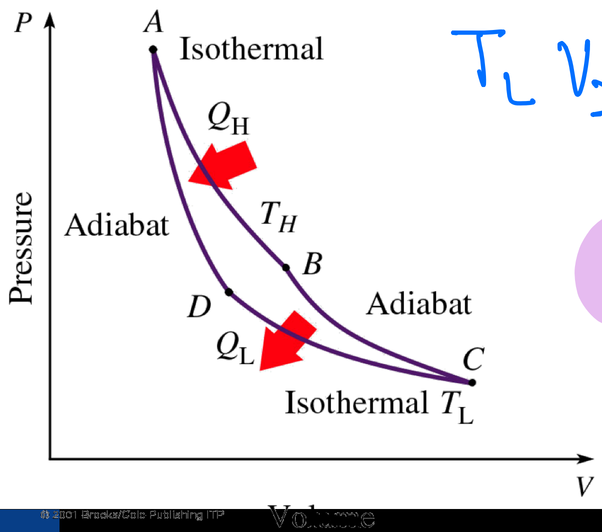
RENDEMENT DU CYCLE DE CARNOT

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{nRT_L \ln(V_C/V_D)}{nRT_H \ln(V_B/V_A)}$$

$$T_H V_B^{\gamma-1} = T_L V_C^{\gamma-1}$$

$$T_L V_D^{\gamma-1} = T_H V_A^{\gamma-1}$$

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$



$$r = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$r \neq 1$$