

# PREPARATION À L'EXAMEN

## Si vous avez des questions:

- Envoyez moi un email: [anna.sfyrla@unige.ch](mailto:anna.sfyrla@unige.ch)
- Venez demander (sous rendez-vous, disponibilités ci-dessous)
  - Bureau: 213 B – 2ème étage, école de physique

Lundi 6/1 <del>XXXXXX</del>	Mardi 7/1 9:00-11:00	Mercredi 8/1 14:30-15:30	Jeudi 9/1 <del>XXXXXX</del>	Vendredi 10/1 14:00-16:00
Lundi 13/1 <del>XXXXXX</del>	Mardi 14/1 9:00-11:00	Mercredi 15/1 <del>XXXXXX</del>	Jeudi 16/1 14:30-17:00	Vendredi 17/1 14:00-16:00

- Contactez vos enseignants des sessions d'exercices

# THERMODYNAMIQUE

1<sup>er</sup> 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

2<sup>ème</sup> principe de la thermodynamique, Entropie

PGC-22

# LA THERMODYNAMIQUE

La thermodynamique c'est l'étude de l'énergie thermique  $E_T$ :

**son transfert**  
**sa transformation**

Une entité telle qu'une bouteille de gaz ou un moteur est appelée *un système*.

Tout ce qui ne fait pas partie du système est appelé *milieu extérieur* ou *environnement*.

Un système peut interagir avec le milieu extérieur et

- recevoir ou fournir de la chaleur à travers ses parois.
- échanger un travail mécanique.

Un système peut être complètement *isolé* de son environnement

- pas d'échanges thermiques ni de travail.

# PREMIER PRINCIPE

## 1<sup>er</sup> PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

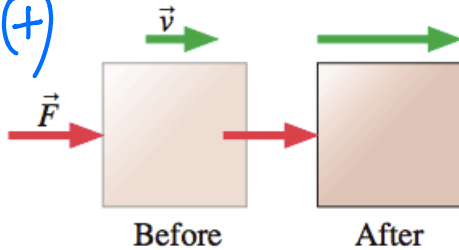
L'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement transférée d'un système à un autre ou transformée d'une forme en une autre.

# TRAVAIL

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{\ell}$$

FIGURE 17.3 The sign of work.

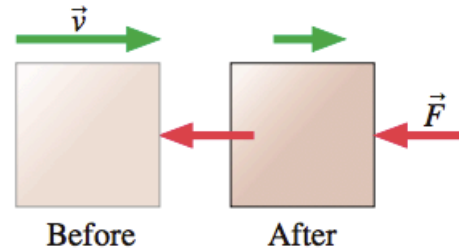
$W: (+)$



Work is *positive* when the force is in the direction of motion.

- The force causes the object to speed up.
- Energy is transferred from the environment to the system.
- The system's energy increases.

$W: (-)$



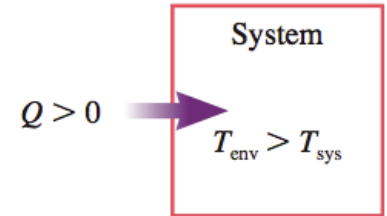
Work is *negative* when the force is opposite to the motion.

- The force causes the object to slow down.
- Energy is transferred from the system to the environment.
- The system's energy decreases.

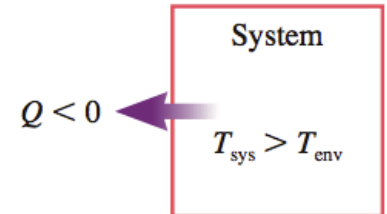
# TRAVAIL, CHALEUR

FIGURE 17.11 The sign of heat.

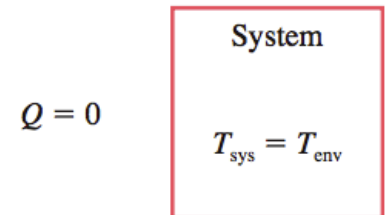
(a) Positive heat



(b) Negative heat



(c) Thermal equilibrium



# TRAVAIL, CHALEUR ET ÉNERGIE INTERNE

$$U = (n N_A) \left( \frac{1}{2} m \overline{v_2^2} \right) = \frac{3}{2} n R T$$

$$E_{th}^i \xrightarrow{W, Q} E_{th}^f$$

$$U = \frac{3}{2} n R T$$

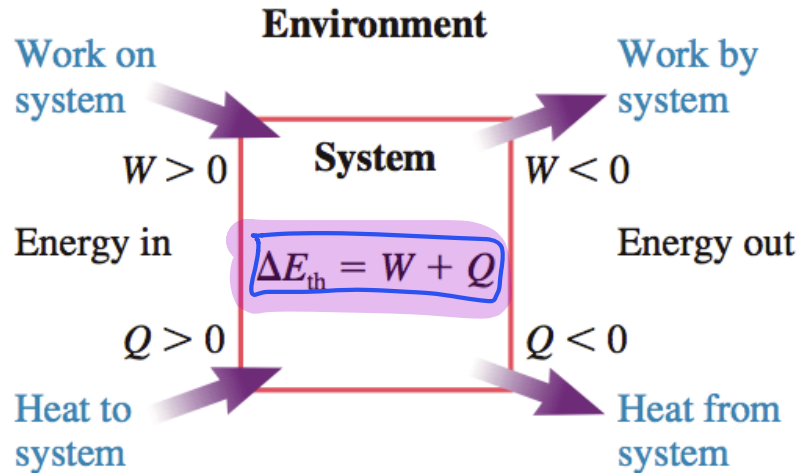
énergie thermique ou interne

$$\Delta U = Q + W_s$$

travail exécuté au gaz par l'extérieur

chaleur fournie au gaz

FIGURE 17.12 The thermodynamic energy model.



# TRAVAIL ET LE PREMIER PRINCIPE

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{\ell} = F \cdot \Delta \ell = PA \cdot \Delta \ell \quad \left. \begin{array}{l} \\ A \cdot \Delta \ell = \Delta V \end{array} \right\} \Rightarrow$$

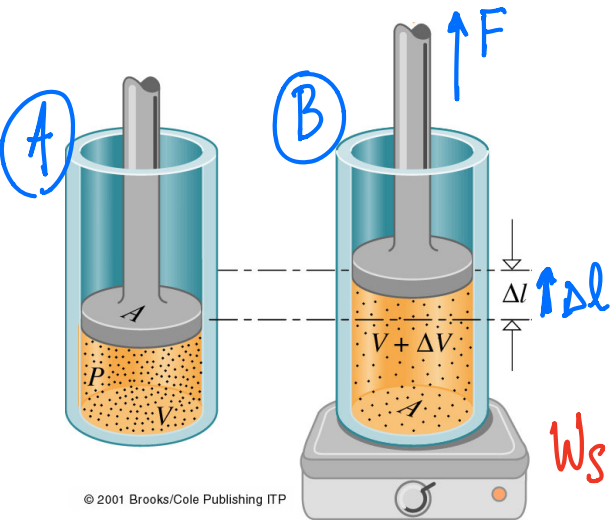
$$\Rightarrow W = P \cdot \Delta V$$

$$V: V_i \rightarrow V_f$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} dW = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

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

$W_s$ : (+) pour  $dV \downarrow$  gain pour gaz  
 (-) pour  $dV \uparrow$  perte pour gaz.





# TRANSFORMATIONS

$$PV = nRT$$

Isotherme

$$T = \text{const}$$

Isobare

$$P = \text{const}$$

Isochore

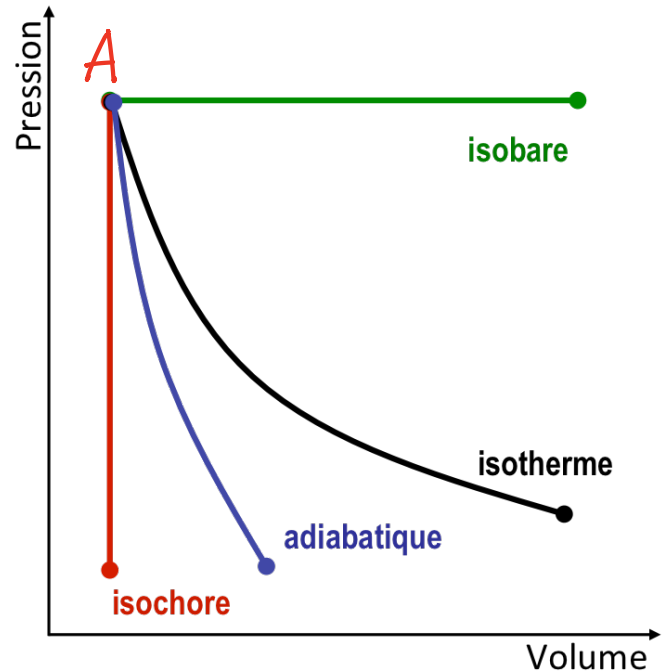
$$V = \text{const}$$

Adiabatique

$$\Delta Q = 0$$

Reversible  $A \rightarrow B$   $B \rightarrow A$

Irreversible  $A \rightarrow B \neq B \rightarrow A$



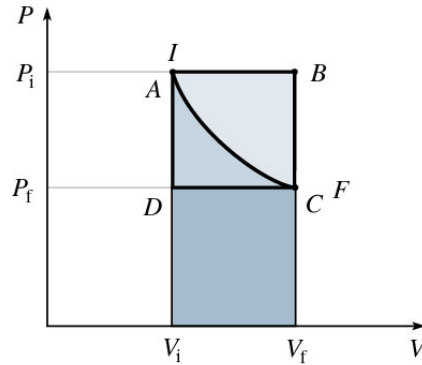
# TRAVAIL ET LE PREMIER PRINCIPE

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

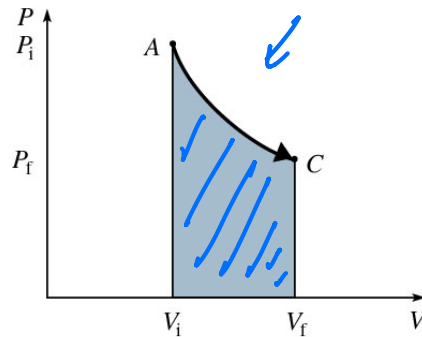
$$W_s = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

$W_{A \rightarrow C}$  n'est pas variable d'état

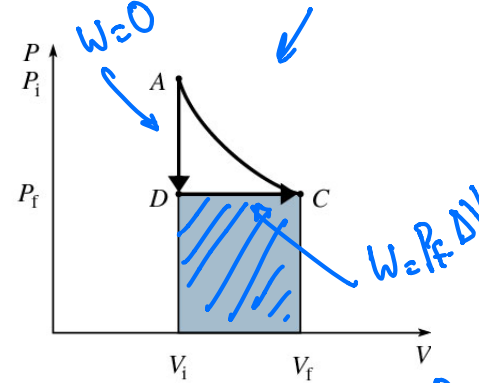
$$\int P dV = \int \frac{L}{V} dV$$



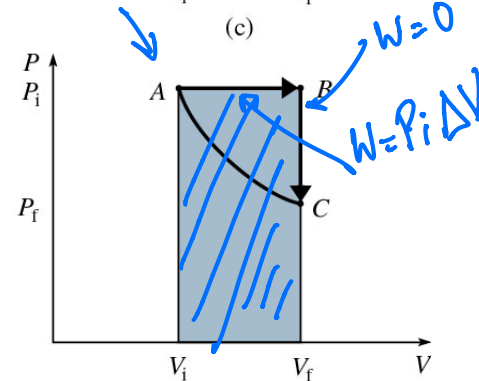
(a)



(b)



(c)



(d)

# QUESTION

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

$$W_A = 0$$

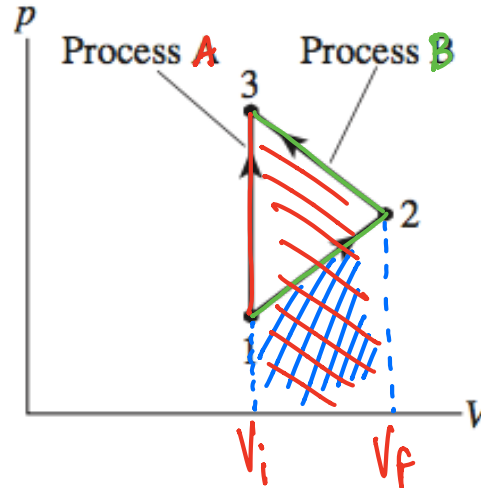
$$W_B = W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} : (-)$$

$$W_{2 \rightarrow 3} : (+)$$

$$W_B : (+)$$

Two processes take an ideal gas from state 1 to state 3. Compare the work done by process A to the work done by process B.



- $W_A = W_B = 0$
- $W_A = W_B$  but neither is zero
- $W_A > W_B$
- $W_A < W_B$

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

# TRANSFORMATION ISOTHERME

$$T = \text{constante}$$

$$\Delta T = 0$$

$$\Delta U = 0$$

$$\Delta U = Q + W_s$$

$$0 = Q + W_s \Rightarrow$$

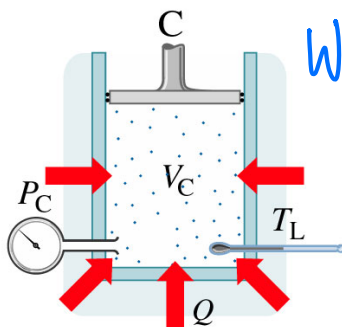
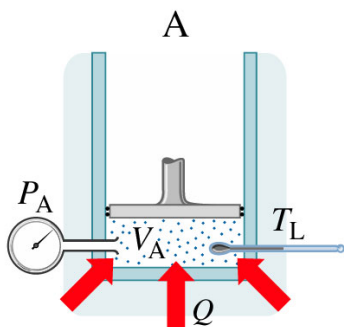
$$\Rightarrow Q = -W_s = W$$

$$PV = nRT \Rightarrow PV = \text{const} \Rightarrow P \propto \frac{1}{V}$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$W_s = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = - \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

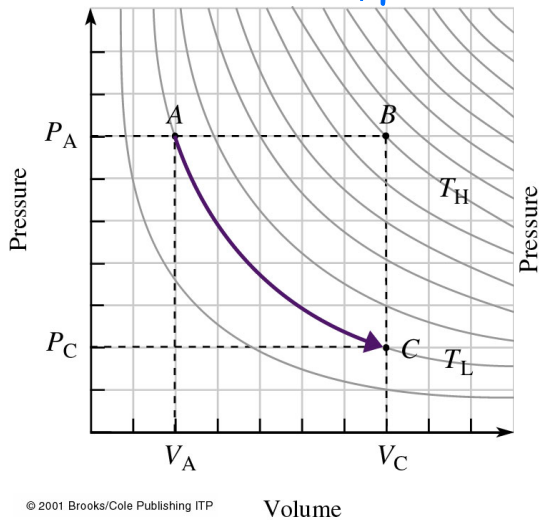
$$W_s = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$



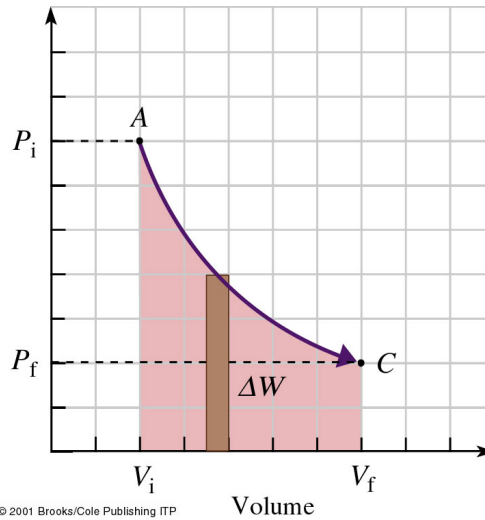
# TRANSFORMATION ISOTHERME

$$W_s = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{P_f} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$W_s = -nRT \ln \frac{P_i}{P_f}$$



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

# TRANSFORMATION ISOCHORE ET ISOBARE

$$P_c = \frac{nRT_i}{V_c}$$

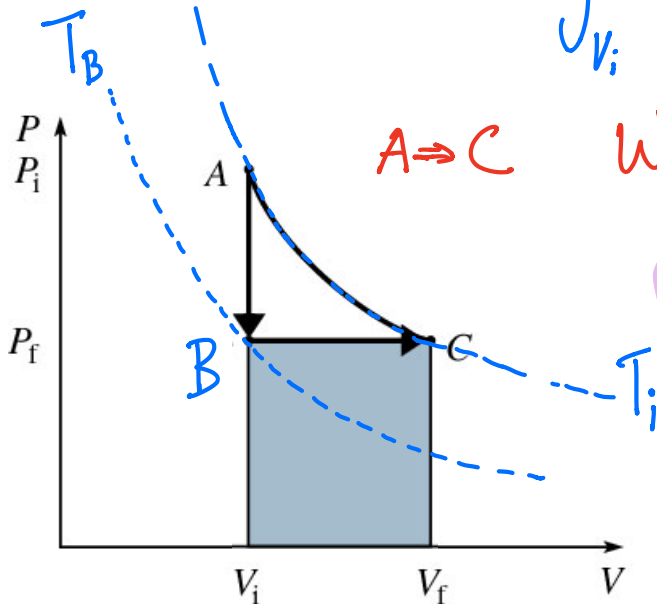
Isochore  $A \rightarrow B$   $V = \text{const}$   $dV = 0 \Rightarrow W_{A \rightarrow B} = 0$

Isobare  $B \rightarrow C$   $P = \text{const}$

$$W_{B \rightarrow C} = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = - P_f (V_f - V_i) = - P_c (V_c - V_A) = - P_c \Delta V$$

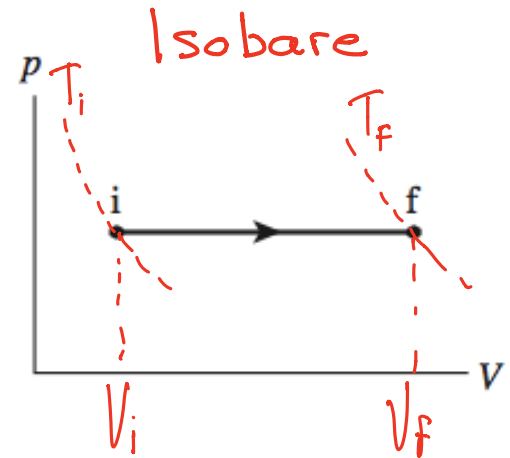
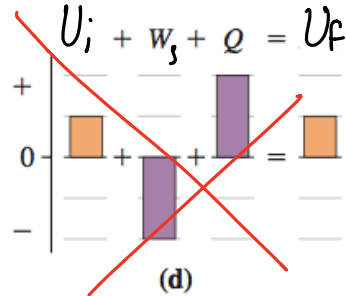
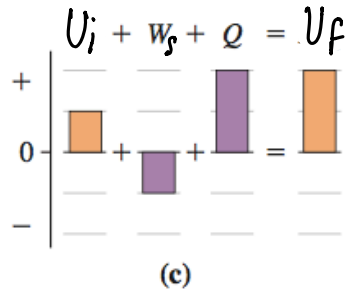
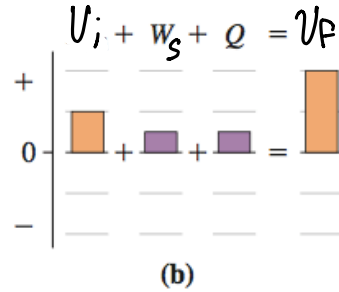
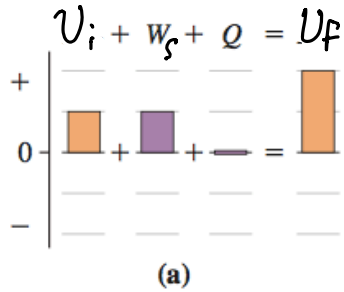
$$A \rightarrow C \quad W_{A \rightarrow C} = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} = - P_c \Delta V \Rightarrow$$

$$W_{A \rightarrow C} = - \frac{nRT_i}{V_c} \cdot (V_c - V_A)$$



Le travail d'un processus thermodynamique dépend de la façon dont on passe de l'état initial au final.  
Le travail n'est pas une variable d'état.

# QUESTION



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