

## II - Premier principe

Prof. Cécile Hébert

14 février 2025

### Plan du cours

- I - Introduction
- II - Premier principe
- III - Second principe
- IV - Fonctions thermodynamiques et équilibres
- V - Gaz parfait et gaz de van der Waals ; théorie cinétique des gaz
- VI - Changement d'états
- VII - Machines thermiques
- VIII - Thermochimie
- IX - Transport
- X - Physique statistique

### Table des matières

1. Introduction
2. Premier principe
3. Application
4. Expression du travail élémentaire
5. Diagramme de Clapeyron
6. Exemples de conversion travail/chaleur

### **préambule : convention de signes**

En thermodynamique il est très important de délimiter le système qui nous intéresse (par exemple un moteur, les réactifs et produits d'une réaction chimique). Certaines lois sont valables uniquement pour des systèmes bien définis.

Quand un système échange de l'énergie  $\mathcal{E}$  sous quelque forme que ce soit la convention de signe suivante est appliquée :

$\mathcal{E} > 0$  Si le système reçoit l'énergie  $|\mathcal{E}|$

$\mathcal{E} < 0$  si le système cède l'énergie  $|\mathcal{E}|$

On se place donc toujours du point de vue du système

## Rappel de mécanique

Vous avez vu les notions d'énergie cinétique, d'énergie potentielle, les forces conservatives, et le travail de forces *externes* .

Entre un point A et un point B

$$\sum W_{\vec{F}_{\text{ext}}}^{A \rightarrow B} = W_{\text{forces conservatives}}^{A \rightarrow B} + W_{\text{forces non conservatives}}^{A \rightarrow B} = E_{c,B} - E_{c,A} = \Delta E_c$$

$$\sum W_{\vec{F}_{\text{ext}}}^{A \rightarrow B} = E_{p,A} - E_{p,B} + W_{\text{forces non conservatives}}^{A \rightarrow B} = -\Delta E_p + W_{\text{forces non conservatives}}^{A \rightarrow B} = \Delta E_c$$

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = W_{\text{forces non conservatives}}$$

Finalement, ce n'est pas très satisfaisant. On sent bien que "quelque chose arrive" à cette énergie mécanique "détruite". On postule donc qu'en fait l'énergie ne peut pas être créée ou détruite mais seulement échangée.

Soit un système délimité par une enceinte. On appelle  $E$  son énergie. Une variation (temporelle) de  $E$ ,  $\dot{E}$  est due à des échanges.

$$\dot{E} = I_E + \Sigma_E$$

$I_E$  courant d'énergie à travers l'enceinte

$\Sigma_E$  "source" : énergie venant des forces externes macroscopiques qui ont une action \*autre\* que la déformation de l'enceinte. (par exemple qui changent l'état de mouvement comme translation de  $G$  et/ou rotation autour de  $G$ )

## Premier principe de la thermodynamique

$$\dot{E} = I_E + \Sigma_E$$

$$\dot{E} = I_Q + I_W + I_C + P^{\text{ext}}$$

$E$  est une fonction d'état du système.

$$E = E(\vec{p}, \vec{L}_G, X_0, X_1, \dots, X_p)$$

Les échanges avec l'extérieur à travers l'enveloppe sont de trois formes possibles :

- $I_Q$  : Chaleur
- $I_W$  : Travail de déformation de l'enveloppe
- $I_C$  : Échange de matière à travers l'enveloppe

$I_Q = 0$  enceinte adiabatique

$I_W = 0$  enceinte rigide

$I_C = 0$  enceinte fermée



- Si par exemple  $P^{\text{ext}} = 0$  et que le système est au repos et le reste,  $E$  peut quand même varier par des échanges avec l'extérieur.
- On peut aussi être dans un autre cas où  $P^{\text{ext}} = 0$ , il n'y a pas d'échanges avec l'extérieur, et pourtant on "voit"  $E_c$  et  $E_{\text{rot}}$  qui changent ...

Il existe donc une *autre* forme d'énergie que  $E_c$ ,  $E_{\text{pot}}$  ou  $E_{\text{rot}}$ .

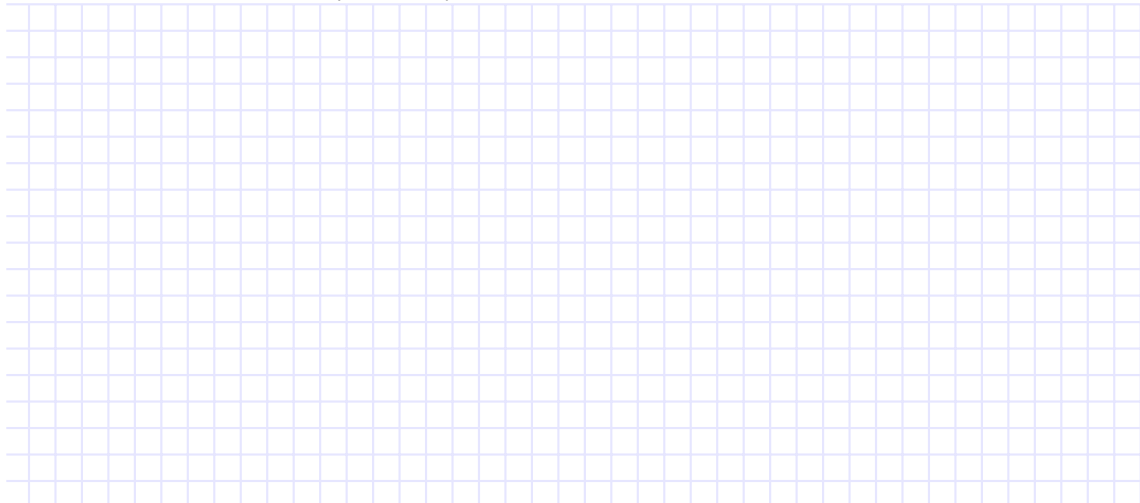
On l'appelle énergie interne, notée  $U$

$U$  est une fonction d'état du système

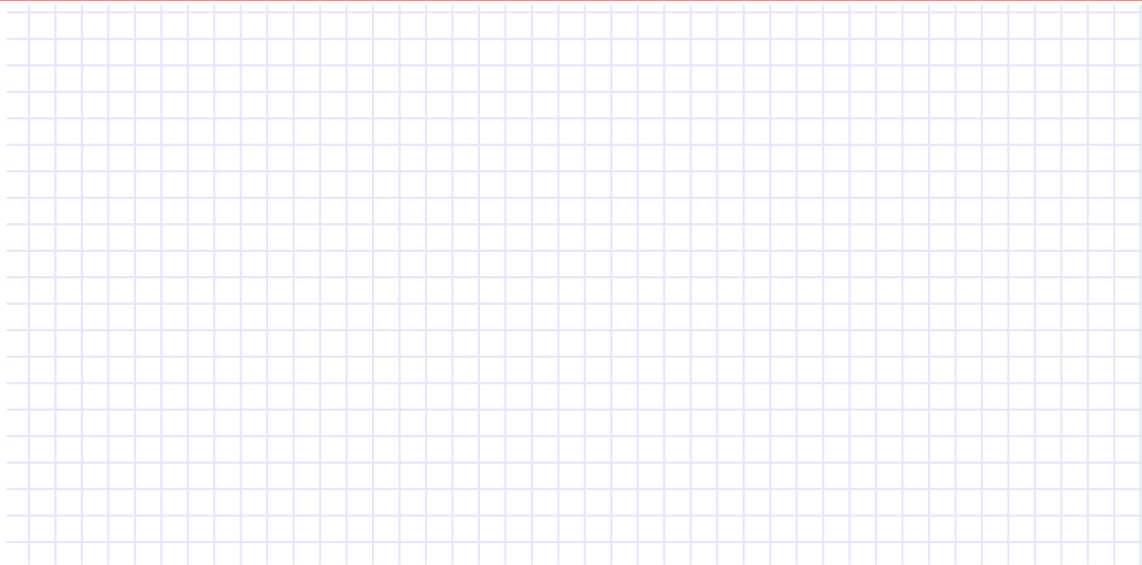
Si  $P^{\text{ext}} = 0$  et que le système est au repos et y reste, alors

$$\dot{U} = I_Q + I_W + I_C$$

## Notations sur les delta (Q, W, C) et les intégrales temporelles



## II - Premier principe 2. Premier principe



## II - Premier principe 2. Premier principe

Le premier principe *postule* que si on considère TOUTES les formes d'énergie, l'énergie *TOTALE* est conservée.

Historiquement :

Meyer, 1842 "ex nihilo nil fit" (rien ne surgit de rien). Helmolz 1847 "L'énergie ne peut être transformée que d'une forme à une autre"



Hermann von  
Helmoltz  
1821-1894

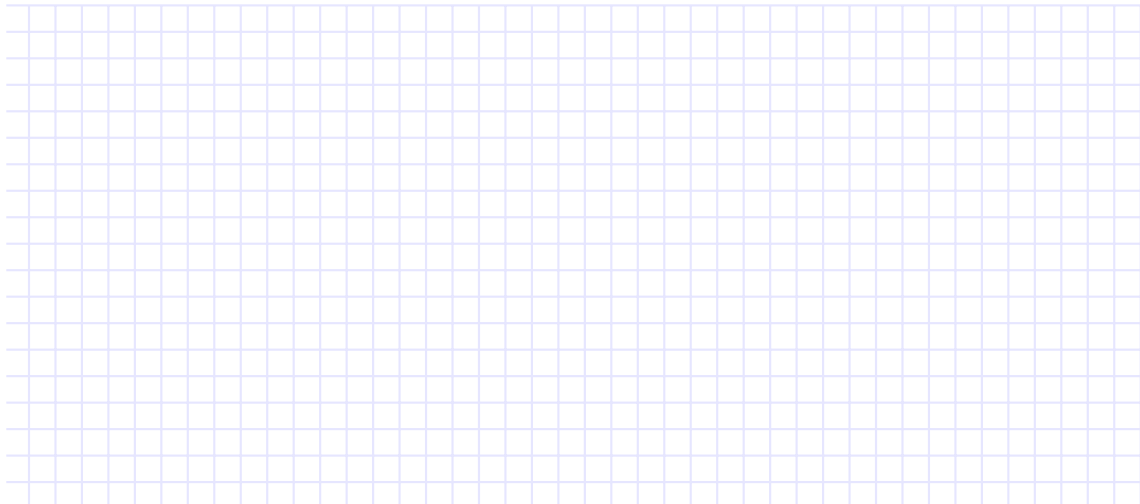


Julius Robert  
von Mayer  
1814-1878

Attention :  $+W$  ou  $-W$  ?



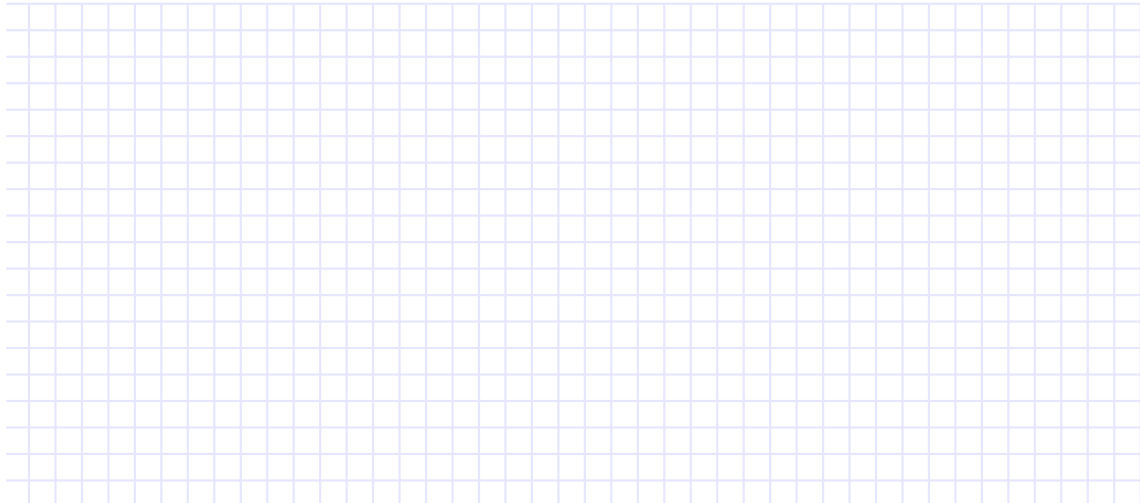
Exemple : piston qui frotte (frottements fluides)



## II - Premier principe 3. Application



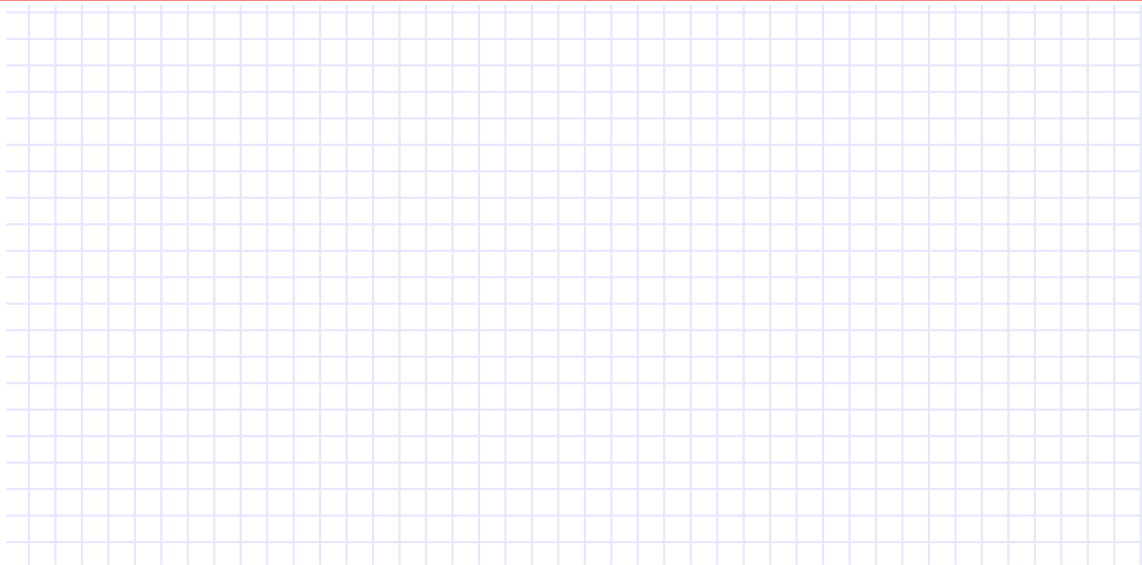
## II - 4. Expression du travail élémentaire de déformation de l'enveloppe





## II - Premier principe 4. Expression du travail élémentaire

---



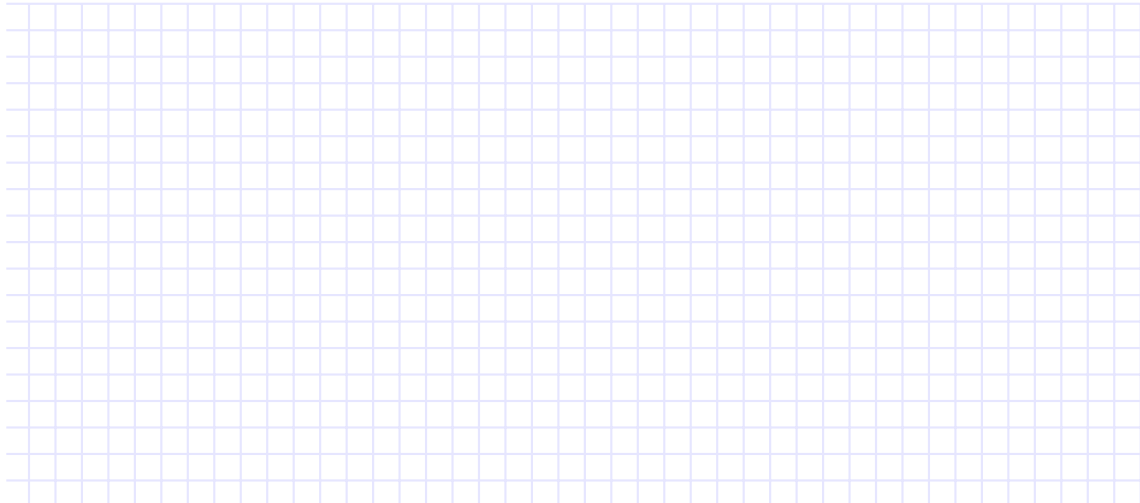
$$\delta W = -p_{\text{ext}} dV$$

Pour une transformation infiniment lente et avec un piston sans frottements

$$\delta W = -pdV = l_W dt$$

$$l_W = -p\dot{V}$$

## II - 5. Diagramme de Clapeyron

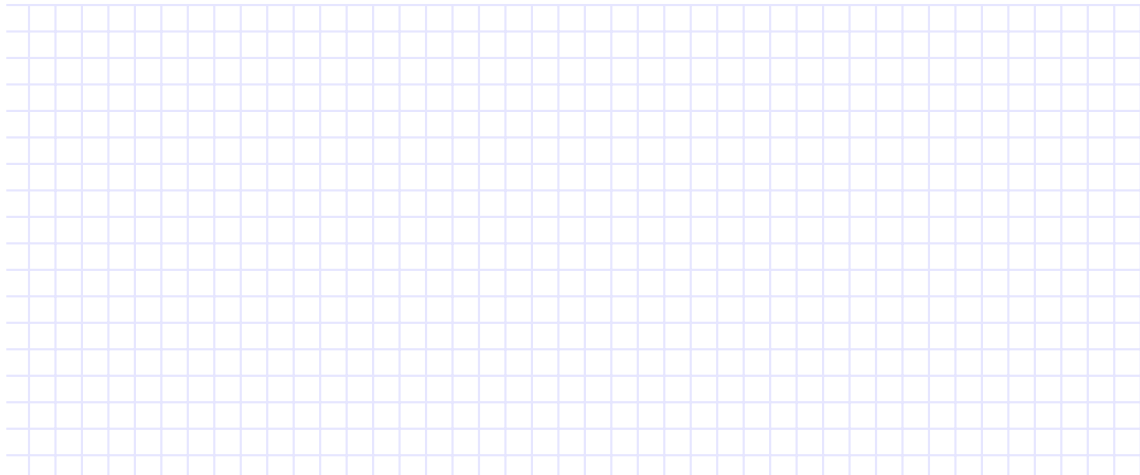


## II - Premier principe 5. Diagramme de Clapeyron

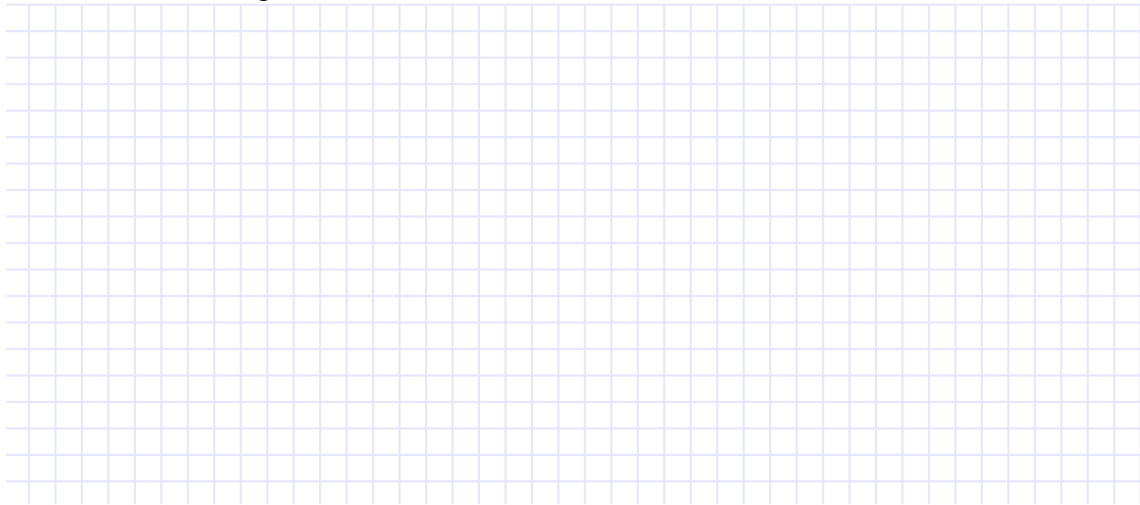


## II - 6. Exemples de conversion travail/chaleur

### Expérience de Joule



## Moteur de Stirling



### Résumé

Le premier principe généralise la conservation de l'énergie.

Nous avons introduit une nouvelle forme d'énergie, appelée énergie interne, qui est une fonction d'état du système.

Nous avons identifiée trois modes d'échanges d'énergie à travers l'enveloppe :  
déformation (travail), chaleur et échange de matière

Nous avons vu des expériences qui mettent en évidence la capacité du système à faire rentrer une forme d'énergie et en faire sortir une autre, permettant de convertir une forme en une autre.