

1^{er} principe de la Thermodynamique

- Conservation de l'énergie
- 1^{er} principe (convention des signes)
- Cycles Thermodynamiques

Transformation = passage (rev. ou irrev.) d'un état d'équilibre à un autre (état initial et final doivent être compatibles avec une équation d'état)



Nous avons besoin d'une règle pour calculer et comprendre les transformations d'un système.

Comment trouver cette règle ?

Une des lois fondamentale de la mécanique est la conservation de l'énergie. Nous allons la généraliser à la thermodynamique.

bilan entre énergie reçue et donnée par système

"
changement d'énergie interne

$$\text{Pour un gaz : } \Delta U = E_{\text{donnée}}^{\text{gas}} - E_{\text{prise}}^{\text{gas}}$$

L'idée de trouver une loi de conservation pour les systèmes thermodynamiques est inspirée par la mécanique. En mécanique cette loi est limitée aux systèmes pour lesquels on peut définir une énergie (potentielle)

potentielle

$$K + E_{\text{pot}} = \text{const}$$

cinétique

Cette loi ne s'applique pas aux cas dans lesquels E_{pot} ne peut pas être définie \rightarrow ex. si il y a du frottement (\equiv dissipation).

Le frottement fait "perdre" de l'énergie, sous forme de chaleur.

En thermodynamique, on inclus la chaleur (= énergie) dans le bilan d'énergie :

$$\Delta U = Q - W \quad 1^{\text{er}} \text{ principe}$$

Convention des signes (Giancoli) :

W ≡ travail net fait par le système

Q ≡ chaleur donnée au système (= reçue par le système)

Note 1 : une autre convention est possible

$$\begin{aligned} W &= travail fait sur le système \\ Q &= chaleur donnée au système \end{aligned} \quad \Rightarrow \Delta U = Q + W$$

Note 2 : On ne se trompe pas si on raisonne en termes de conservation de l'énergie

Note 3 : Le 1^{er} principe repose sur la vérification expérimentale

Quantités "réglementées" par le 1^{er} principe :

1) Énergie interne (\equiv toute l'énergie de toutes les molécules)

2) Travail

3) Chaleur (\equiv transfert d'énergie thermique)

1) Rappel de l'énergie interne U

- U est la somme de toute l'énergie de toutes les molécules

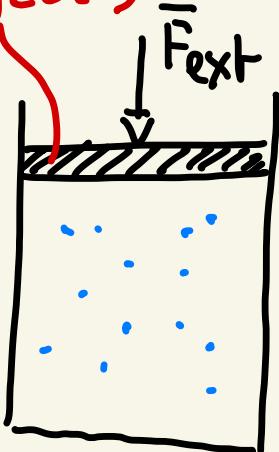
- Variable d'état

- Pour les gaz parfaits U ne dépend que de T ($\frac{1}{2}RT$ par mole, $\frac{1}{2}K_B T$ par molécule pour chaque degré de liberté)

- ΔU (changement suite à une transformation) ne dépend que de l'état final et initial (pas du chemin!) $\Delta U = \text{const} (T_{\text{fin}} - T_{\text{ini}})$

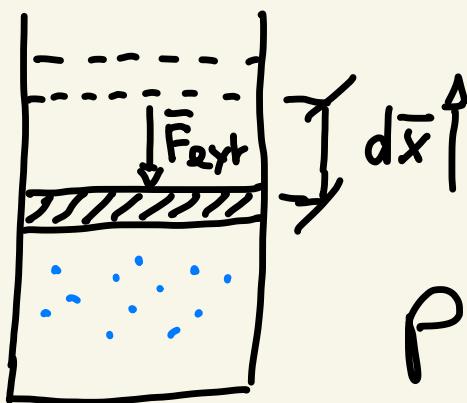
Comment calculer le travail en Thermo

Surfaces



$$\text{initial} \approx P, V, T$$

Transformation



$$P + dP$$

$$T + dT$$

$$V - |dV|$$

Travail fait par \bar{F}_{ext} :

$$= - \underbrace{\rho S dx}_{\bar{F}_{ext}} = - \rho dV$$

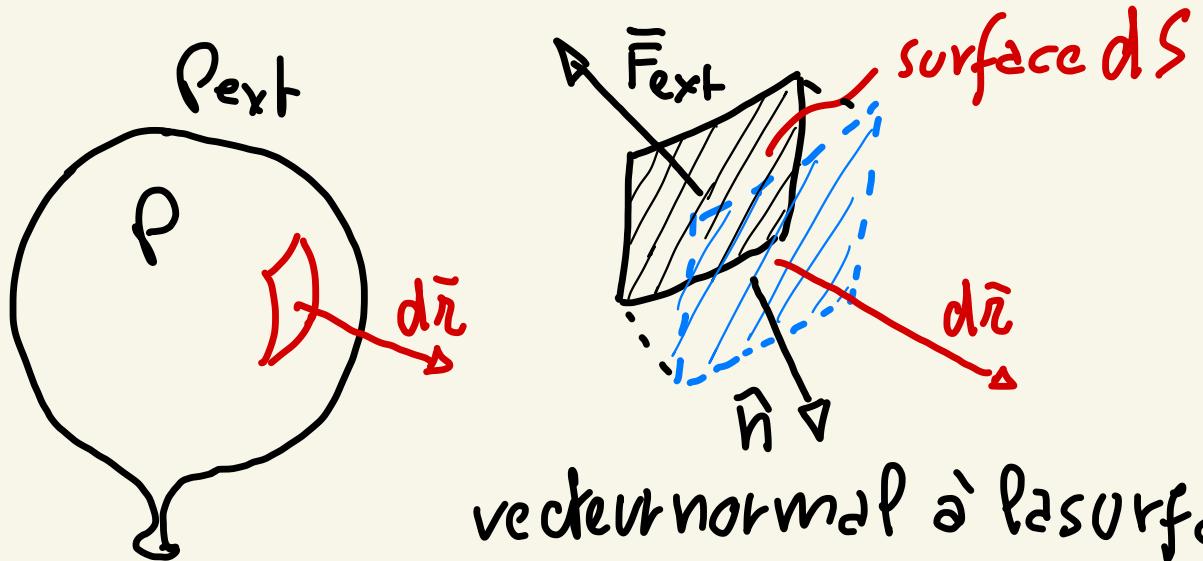
$$\bar{F}_{ext} \cdot d\bar{x} = - F_{ext} dx =$$

Travail fait par le système (gaz)

$$\boxed{\int dW = + \rho dV}$$

Note 1: $P_{ext} = \frac{F_{ext}}{S} = \rho$ sion a une succession d'états proches de l'équilibre

Note 2 : ce calcul peut être généralisé à n'importe quelle géométrie



ballon de baudruche

$$d\bar{F}_{ext} = -P_{ext} dS \bar{n} \stackrel{\text{équil.}}{=} -pdS \hat{n}$$

donc le travail de la force externe est

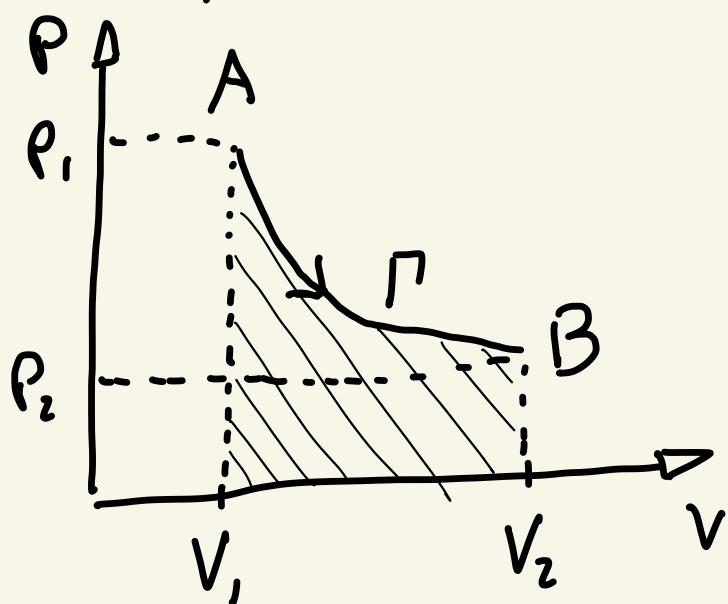
$$\delta W_{ext} = d\bar{F}_{ext} \cdot d\bar{r} = - \underbrace{pdS \hat{n} \cdot d\bar{r}}_{dV} = -pdV$$

Le travail fait par le gaz est $\delta W = -\delta W_{ext} = +pdV$

Quel est le travail **fait par** un système qui passe d'un état A à B selon une transform. reversible (\equiv succession d'états proches de l'équilibre) ?

$$W_{AB,\Gamma} = \int_{A,\Gamma}^B pdV \quad \Gamma \equiv \text{Trajectoire (chemin)}$$

Graphiquement



$A \rightarrow B$ \checkmark augmente : expansion

Travail : + aire sous Γ

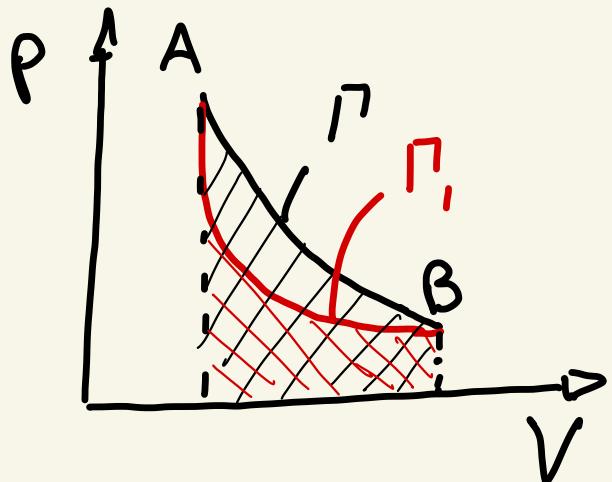
$B \rightarrow A$ \checkmark diminue : compression

Travail : - aire sous Γ

$$W_{AB} = \int_{A,\Gamma}^B pdV = - \int_{B,\Gamma}^A pdV = - \text{aire sous } \Gamma$$

Note 1: W_{AB} dépend du chemin!

Donc W n'est pas une fonction
d'état! \rightarrow super important!



Graphiquement

$$W_{AB,\Gamma} \neq W_{AB,\Gamma'}$$

Comme W dépend du chemin, W n'est pas une fonction d'état et donc

$$W_{AB} \neq W_A - W_B \neq \int_A^B S \, dV$$

↑
n'a pas de sens!

Le travail, comme la chaleur, n'est donc pas une propriété du système (comme P, V, T) mais une quantité échangée au cours d'une transf.

C'est pour cette raison qu'on écrit

$$\delta W(\delta Q) \text{ et non pas } dW(dQ)$$

et on dit que ce n'est pas un différentiel exacte.

Le premier principe nous dit que, malgré que δW et δQ ne soient pas des différentiels exactes, leur différence l'est, car c'est la fonction

$$dU = \delta Q - \delta W \quad , \quad \text{1}^{\text{er}} \text{ principe, version différentielle}$$

Dans entre deux points (états) A et B

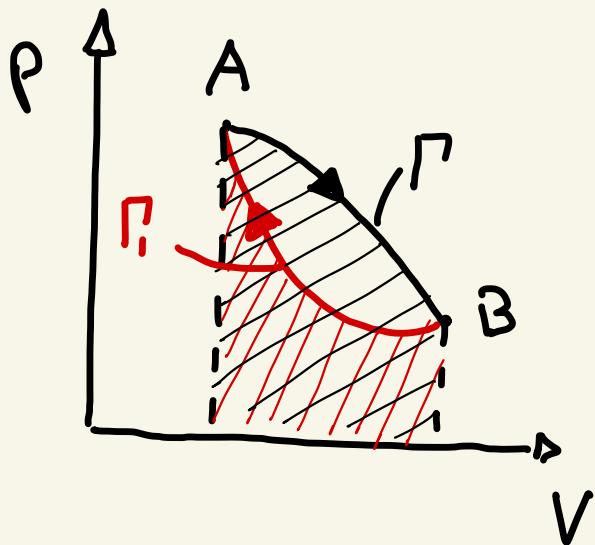
$$\Delta U_{AB} = \int_A^B dU = U(B) - U(A) = \int_A^B \delta Q - \int_A^B \delta W$$

Cycle thermodynamique = système revient à l'état initial après une série de transformations

Intégrale sur un cycle =

$$\oint dU = U_{in} - U_{in} = 0 = \oint \delta Q - \oint \delta W$$

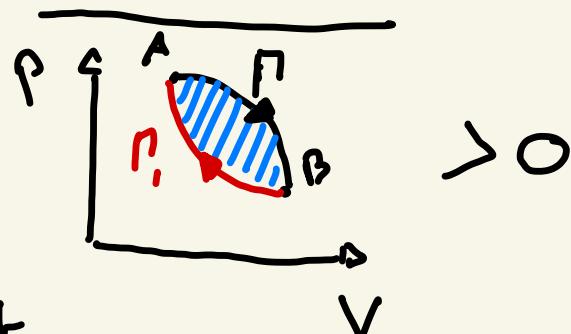
Est-ce que le travail et la chaleur sont aussi nuls sur un cycle? NO!



Travail $\int \delta W$ sur le cycle

$$\int_{A,\Pi}^B \delta W = + \text{aire } // / /$$

$$\int_{B,\Pi}^A \delta W = - \text{aire } // / / /$$

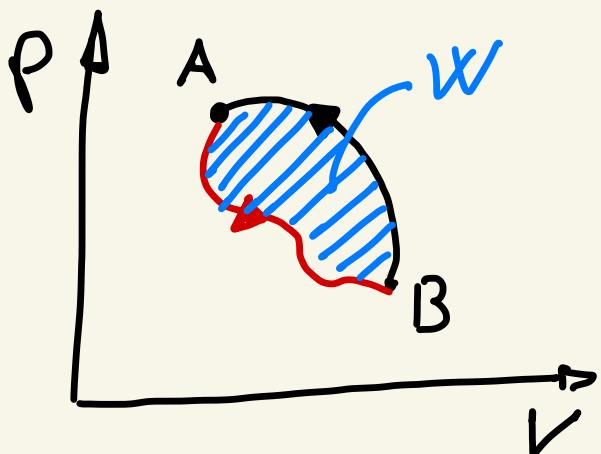


$$\int \delta W_{cycle} > 0$$

cycle moteur \rightarrow fournit
(sens horaire) du travail

Comme $Q = \oint \delta Q = W = \oint \delta W > 0 \rightarrow$ il faut fournir de la chaleur au système!
puisque $\oint dU = 0$

Cycle réfrigérateur (sens anti-horaire)



$$\text{Travail} = -\text{aire fermée} < 0$$

$$\text{Comme } \oint \delta Q = 0 < 0$$

le système utilise du travail ($W < 0$) et fournit de la chaleur ($Q < 0$)