

1^{er} principe de la thermodynamique

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

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

$A_{in} \rightarrow B_{fin}$

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

Comment trouver cette règle?

Une des lois fondamentales 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

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

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)

$$\overset{\text{cinétique}}{K} + \overset{\text{potentielle}}{E_{\text{pot}}} = \text{const}$$

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 inclut la chaleur (\equiv énergie) dans le bilan d'énergie :

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

Convention des signes (Giancoli) :

$W \equiv$ travail net **fait par** le système

$Q \equiv$ chaleur **donnée au** système (\equiv **reçu par** le système)

Note 1 : une autre convention est possible

$$\begin{array}{l} W = \text{travail } \textbf{fait sur} \text{ le système} \\ Q = \text{chaleur } \textbf{donnée au} \text{ système} \end{array} \left| \rightarrow \Delta U = Q + W \right.$$

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)

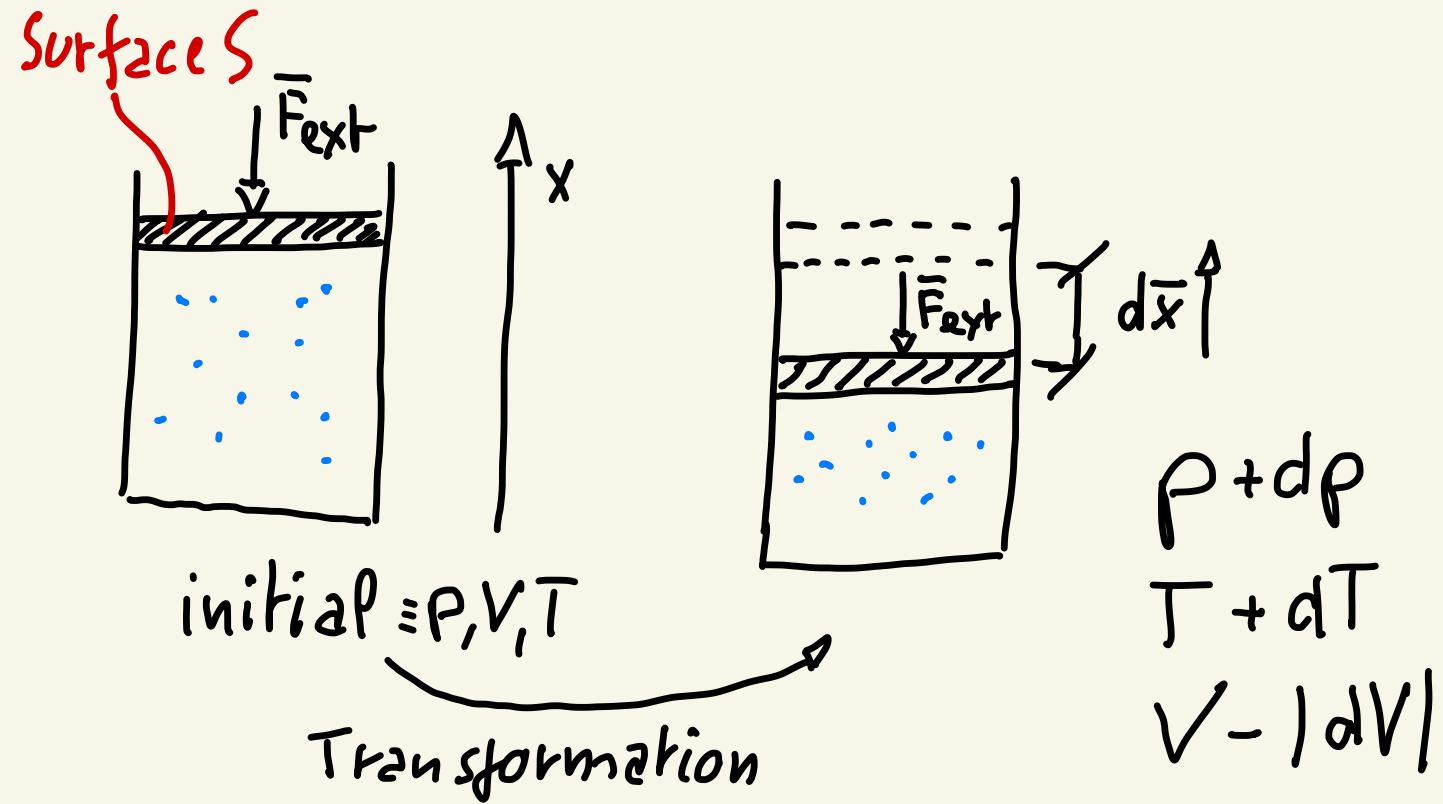
2) Travail

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!)
 $\Delta U = \text{const}(T_{\text{fin}} - T_{\text{in}})$ pour les gaz parfaits

Comment calculer le travail en Thermo



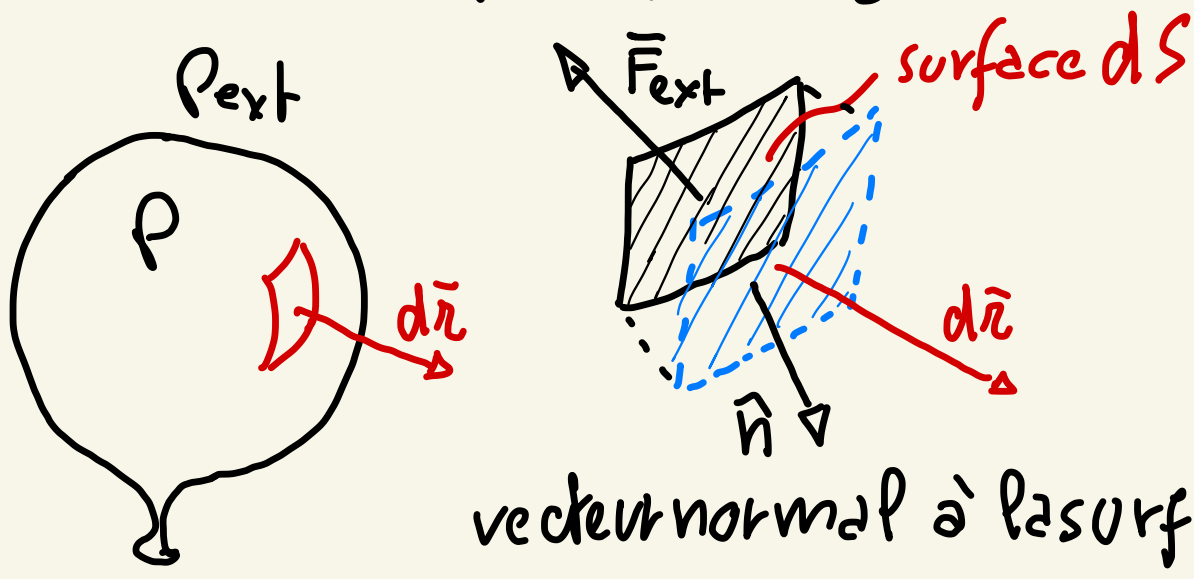
Travail fait par \bar{F}_{ext} : $\bar{F}_{ext} \cdot d\bar{x} = -F_{ext} dx =$

$$= - \underbrace{P}_{\bar{F}_{ext}} \underbrace{S dx}_{dV} = - P dV \rightarrow \text{Travail fait par le système (gaz)}$$

$$\boxed{\delta W = + P dV}$$

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

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



ballon de
bouduche

$$d\vec{F}_{ext} = -p_{ext} dS \vec{n} \stackrel{\text{équil.}}{=} -p dS \hat{n}$$

donc le travail de la force externe est

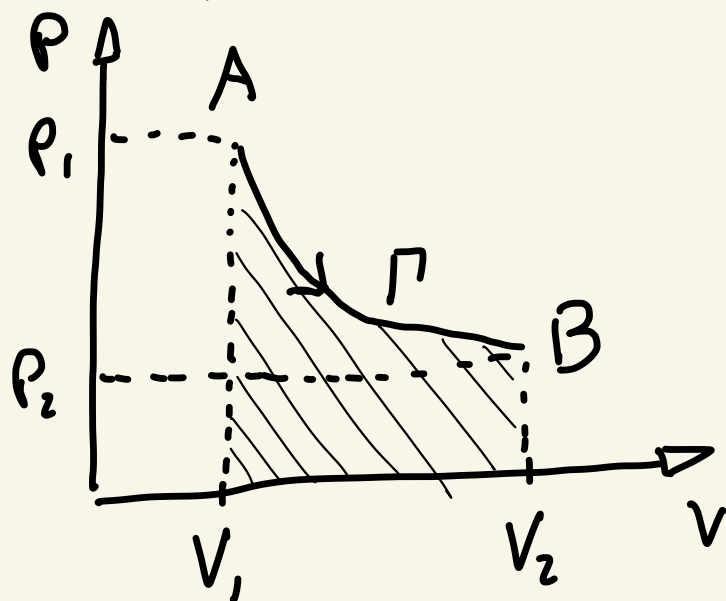
$$\delta W_{ext} = d\vec{F}_{ext} \cdot d\vec{r} = -p dS \underbrace{\hat{n} \cdot d\vec{r}}_{dV} = -p dV$$

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

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

$$W_{AB, \Gamma} = \int_{A, \Gamma}^B p dV \quad \Gamma \equiv \text{trajectoire (chemin)}$$

Graphiquement



A → B V augmente :
expansion

travail : + aire sous Γ

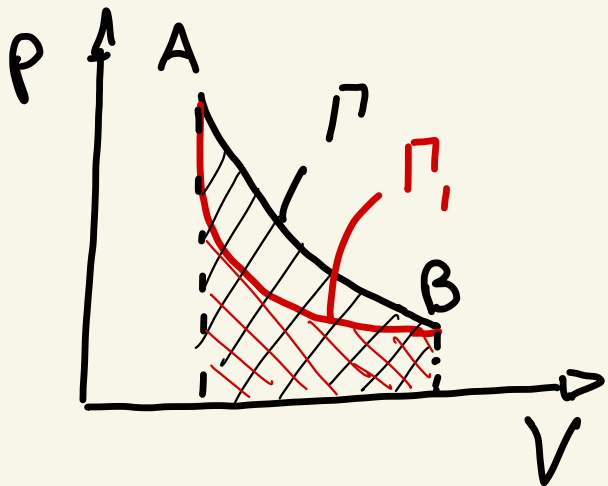
B → A V diminue :
compression

travail : -aire sous Γ

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

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

$$W_{AB} \neq W_A - W_B \neq \int_A^B \delta W$$

\uparrow
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

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

Donc entre deux points (états) A et B

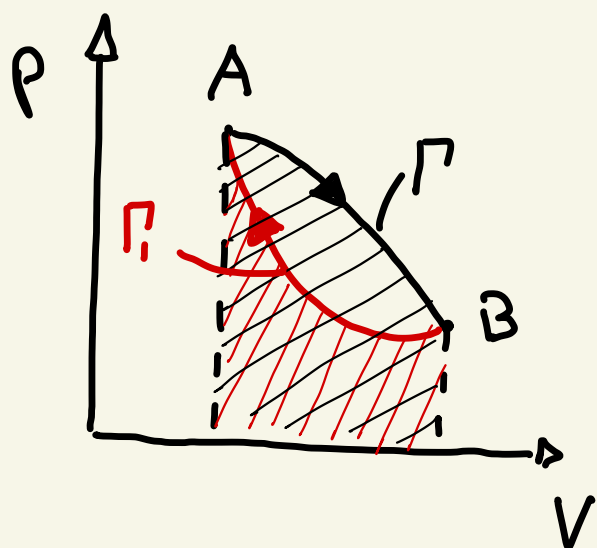
$$\Delta U_{AB} = \int_A^B dU = U(B) - U(A) = \int_A^B \delta Q - \int_A^B \delta W$$

Cycle thermodynamique = système revient à l'état initial après une série des 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!



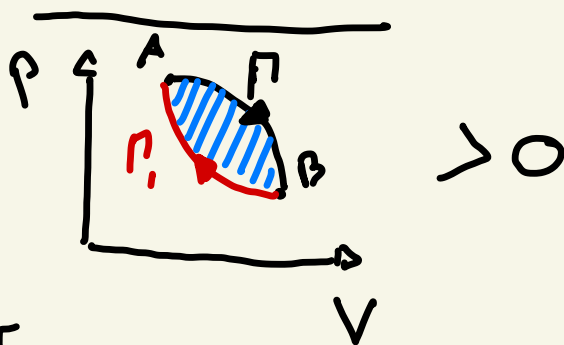
Travail W_{cyc} sur le cycle

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

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

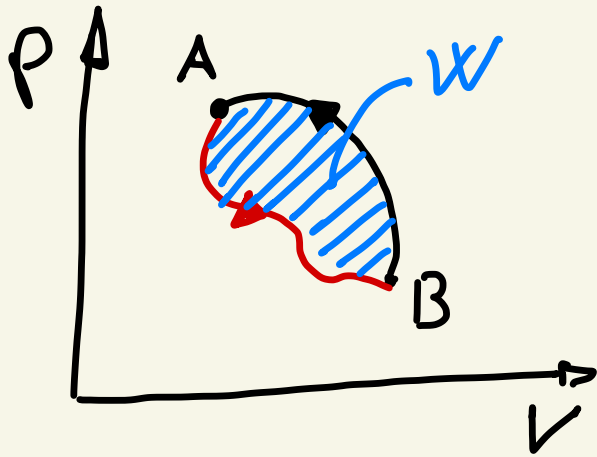
$$\oint \delta W_{cyc} > 0$$

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 (sense anti-horaire)



Travail = - aire fermée < 0

Comme $\oint \delta Q = 0 < 0$

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