

1. PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE :

1.1. Notion de transformation d'un système :

On envisage, en général, la transformation d'un système depuis un ETAT INITIAL vers un ETAT FINAL.

- Transformation **quasi-statique** : l'évolution du système est suffisamment lente de telle sorte qu'il passe par une succession d'états d'équilibre voisins : le système est, à chaque instant, en état d'équilibre interne.
- Transformation **réversible** : le système peut repasser par tous les états d'équilibre mais en modifiant tous les paramètres en sens inverse. On peut repasser, par le même chemin, en allant de l'état final vers l'état initial.
- Transformation **irréversible** : son écoulement dans le temps ne peut se faire que dans un seul sens : impossible de revenir en arrière.
- Transformation **cyclique** : c'est une transformation où l'état final coïncide avec l'état initial après passages par plusieurs états d'équilibre successifs.

1.2. Transformations particulières :

- TRANSFORMATION **ISOBARE** : elle se fait à pression constante $P = \text{Cte}$
- TRANSFORMATION **ISOCHORE** : elle se fait à volume constant $V = \text{Cte}$
- TRANSFORMATION **ISOTHERME** : elle se fait à température constante $T = \text{Cte}$
- TRANSFORMATION **ADIABATIQUE** : elle se fait sans échange de chaleur avec l'extérieur $Q = 0$

1.3. Énergie interne : Premier principe :

Enoncé : à tout système est associée une fonction U , appelée énergie interne du système. Au cours d'une transformation, la variation d'énergie interne ΔU est égale à l'énergie totale échangée avec l'extérieur :

$$\Delta U = Q + W$$

Rq 1 : l'énergie peut s'échanger avec le milieu extérieur de deux manières :

- * soit par échange de chaleur : Q (voir calorimétrie)
- * soit par un travail fourni ou reçu : W

Rq 2 : la variation d'énergie interne ΔU ne dépend que de l'état initial et de l'état final.

Rq 3 : pour une transformation cyclique : $\Delta U = 0$

2. CAS DU GAZ PARFAIT :

Le modèle du gaz parfait donne une bonne représentation des propriétés des gaz dans la mesure où la pression n'est pas trop forte

$$P V = n R T$$

2.1. Compression ou détente isotherme :

Pour une masse donnée de gaz (càd $n = \text{Cte}$), lorsque la température T est constante on aboutit à :

$$P V = \text{Cte}$$

En réalisant une différentielle logarithmique :

$$\frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dP}{P} = - \frac{dV}{V} \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta P}{P} = - \frac{\Delta V}{V}$$

Les variations relatives de pression et de volume se font en sens opposé (si P augmente alors V diminue) et sont égales en valeur numérique .

2.2. Compression ou détente adiabatique :

Dans une transformation sans échange de chaleur avec l'extérieur on démontre que :

$$P V^\gamma = \text{Cte}$$

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

Un gaz possède deux valeurs de chaleur massique :

C_p = chaleur massique dans une transformation à **pression constante**

C_v = chaleur massique dans une transformation à **volume constant**

γ dépend de l'atomicité du gaz (nombre d'atomes dans la molécule) : $\gamma > 1$ toujours

En réalisant une différentielle logarithmique :

$$\frac{dP}{P} + \gamma \cdot \frac{dV}{V} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dP}{P} = - \gamma \cdot \frac{dV}{V} = 0$$

$$\text{ou } \frac{\Delta P}{P} + \gamma \cdot \frac{\Delta V}{V} = 0$$

Les variations relatives de pression et de volume se font en sens opposé (si P augmente alors V diminue) , mais ne sont pas égales en valeur numérique .

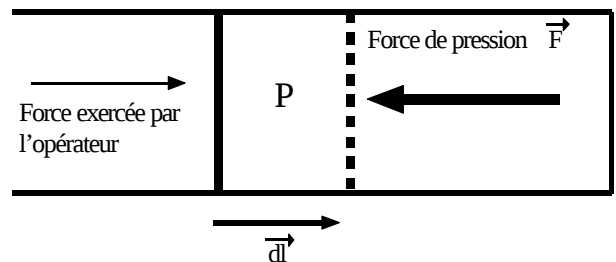
3. TRAVAIL DES FORCES DE PRESSION :

3.1. Travail élémentaire :

Soit un cylindre renfermant un gaz à la pression P ; le piston a une section S .

Lorsqu'un opérateur extérieur exerce une force sur le piston, celui-ci se déplace vers la droite :

Le gaz exerce alors une force pressante $F = P \cdot S$



Le travail de cette force pressante au cours du déplacement dl vaut alors :

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{dl} = F \cdot dl \cos 180^\circ = - F \cdot dl = - P \cdot S \cdot dl \quad \text{avec } S \cdot dl = dV \text{ variation de volume du gaz}$$

On obtient alors :

$$dW = - P \cdot dV$$

Rq : dans le cas d'une compression : $dV < 0$ (le volume diminue) $\Rightarrow dW > 0$
le gaz reçoit du travail .

dans le cas d'une détente : $dV > 0$ (le volume augmente) $\Rightarrow dW < 0$
le gaz fournit du travail au milieu extérieur .

3.2. Calcul du travail dans une transformation (compression ou détente) *isotherme* :

- une quantité donnée de gaz ($n = \text{Cte}$) se trouve dans les conditions P_1 et V_1
- après une transformation ISOTHERME ($T = \text{Cte}$) le gaz se retrouve dans les conditions finales P_2 et V_2

$$dW = -P \cdot dV \quad \text{avec} \quad P \cdot V = \text{Cte} \quad \Rightarrow \quad dW = -P \cdot \mathbf{V} \cdot \frac{dV}{\mathbf{V}}$$

On a multiplié par V et divisé par V : P et V varient, mais le produit $P \cdot V = \text{cte}$ et on peut donc le sortir de l'intégrale :

$$W = -P \cdot V \int_1^2 \frac{dV}{V} \quad \Rightarrow \quad \boxed{W = P_1 \cdot V_1 \ln \frac{V_1}{V_2}}$$

REMARQUES :

- Rq 1 : le rapport $a = \frac{V_1}{V_2}$ est ce qu'on appelle le rapport volumétrique

Si $a > 1$: c'est une compression $\Rightarrow W > 0$: le gaz reçoit du travail.

Si $a < 1$: c'est une détente $\Rightarrow W < 0$: le gaz fournit du travail.

- Rq 2 : la transformation doit être quasi-statique : déplacement lent du piston pour permettre à la pression de s'uniformiser à chaque instant et d'éviter une variation de température.

- Rq 3 : calcul du travail en fonction des pressions P_1 et P_2 :

$$P \cdot V = nRT = \text{Cte} \quad \text{donc} \quad P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

Donc

$$\boxed{W = nRT \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}} \quad \text{le rapport } \frac{P_2}{P_1} \text{ est ce qu'on appelle le taux de compression}$$

3.3. Calcul du travail dans une transformation (compression ou détente) *adiabatique* :

- une quantité donnée de gaz ($n = \text{Cte}$) se trouve dans les conditions P_1 et V_1
- après une transformation ADIABATIQUE ($Q = 0$) le gaz se retrouve dans les conditions finales P_2 et V_2

$$dW = -P \cdot dV \quad \text{avec} \quad P V^\gamma = \text{Cte} \quad \Rightarrow \quad dW = -P \cdot \mathbf{V}^\gamma \cdot \frac{dV}{\mathbf{V}^\gamma}$$

On a multiplié par V^γ et divisé par V^γ : P et V varient, mais le produit $P \cdot V^\gamma = \text{cte}$ et on peut donc le sortir de l'intégrale :

$$W = -P \cdot V^\gamma \int_1^2 \frac{dV}{V^\gamma}$$

Il faut trouver l'intégrale d'une fonction puissance : $\int_a^b x^n \cdot dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$

ce qui donne : $W = \left[-P \cdot V^\gamma \frac{V^{-\gamma+1}}{(-\gamma+1)} \right] \Rightarrow W = \frac{P V}{\gamma - 1}$

Donc

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1}$$

REMARQUES

- Rq 1 : pour que la transformation soit adiabatique, il est nécessaire :
 - * d'avoir une très bonne isolation qui empêche l'échange thermique
 - * que la transformation soit rapide : le système n'aura pas le temps d'échanger la chaleur avec l'extérieur.
- Rq 2 : expression du travail en fonction de la température :

$$P V = n R T \Rightarrow \begin{aligned} P_1 V_1 &= n R T_1 \\ P_2 V_2 &= n R T_2 \end{aligned}$$

$$W = \frac{n R (T_2 - T_1)}{\gamma - 1}$$

- Rq 3 :

pour une détente	$W < 0 \Rightarrow T_2 < T_1$	la température diminue
pour une compression	$W > 0 \Rightarrow T_2 > T_1$	la température augmente

3.4. Transformation cyclique / Diagramme de CLAPEYRON :

graphe $P = f(V)$

