

SUIS-JE AU POINT ?

Chapitre 23 : Premier principe

- 💡 Une notion à bien comprendre, un point à retenir.
- ♥ Une définition/formule à connaître PAR CŒUR.
- ✍ Un savoir-faire à acquérir.
- TD Un exercice du TD pour s'entraîner.

1 Transformations d'un système thermodynamique

1.1 Définition, vocabulaire

- ♥ Définir une transformation isotherme, montherme, isobare, monobare, isochore, adiabatique, cyclique.

1.2 Transformation irréversible (réelle)

- 💡 Une transformation est irréversible si la transformation inverse ne peut pas être observée. Toute transformation réelle est le siège de phénomènes irréversibles plus ou moins importants.
- 💡 Une transformation brutale est nécessairement irréversible. Au cours d'une telle transformation, il est possible que les variables d'état intensives ne soient pas définies entre les états d'équilibre initial et final.
- ♥ Citer des exemples de phénomènes irréversibles (*diffusion thermique, diffusion de particule, effet Joule, frottements mécaniques, etc.*).

1.3 Transformation quasi-statique

- ♥ Définir une transformation quasi-statique.
- 💡 Une transformation quasi-statique peut être représentée sur un diagramme d'état par une **courbe** allant d'un état d'équilibre initial à un état d'équilibre final.

1.4 Transformation réversible

- ♥ Définir une transformation réversible.
- 💡 Une transformation réversible est nécessairement quasi-statique. En revanche, une transformation quasi-statique n'est pas forcément réversible !
- ✍ Proposer un exemple de transformation réversible, en justifiant la pertinence du modèle (*compression/détente quasi-statique d'un gaz parfait, les frottements entre le piston et les parois du cylindre deviennent négligeables car le piston se déplace avec une vitesse quasi-nulle*).
- 💡 Nous reviendrons plus en détail sur le critère de réversibilité d'une transformation dans le chapitre 24 sur le deuxième principe de la thermodynamique.

2 Énergie échangée au cours d'une transformation

2.1 Travail des forces de pression

2.1.1 Transformation quelconque

- ♥ Donner l'expression du travail élémentaire des forces de pression dans le cas général (transformation quelconque), puis l'expression du travail sur un chemin macroscopique entre deux états d'équilibre.
- 💡 Le travail des forces de pression est défini par une quantité **algébrique**. Par convention, il s'agit de travail **reçu** par le système du milieu extérieur. Il est positif si le volume du système diminue et négatif si celui-ci augmente.

2.1.2 Transformation quasi-statique

- ♥ Donner l'expression du travail élémentaire des forces de pression dans le cas d'une transformation quasi-statique (*on remplace P_{ext} par la pression interne*), puis l'expression du travail sur un chemin macroscopique entre deux états d'équilibre.
- ♥ Connaître l'interprétation géométrique du travail des forces de pression avec le diagramme de Clapeyron dans le cas où le volume varie de manière monotone (*en valeur absolue, il s'agit de l'aire sous la courbe du chemin suivi*).
- ✍ Savoir s'adapter au cas où le volume varie de manière non monotone (*on compte positivement l'aire sous la courbe quand le volume diminue et négativement quand il augmente*). Connaître en particulier le cas d'une transformation cyclique (*en valeur absolue, le travail est égal à l'aire à l'intérieur du cycle*).
- ✍ Savoir distinguer un cycle moteur ou récepteur sur un diagramme de Clapeyron (*un cycle parcouru dans le sens horaire est **moteur**, un cycle parcouru dans le sens trigonométrique est **récepteur***).

2.1.3 Application : transformation isochore, monobare, isobare, isotherme

- ✍ Savoir calculer le travail des forces de pression dans chacun de ces cas (dans le cas de la transformation isotherme, le système est un gaz parfait).
- TD Calcul d'un travail des forces de pression par la méthode intégrale : exercices 3,4,5,9.

2.2 Chaleur échangée au cours d'un transfert thermique

2.2.1 Nature d'un transfert thermique

- ♥ Décrire les trois modes de transfert thermique : conduction, convection et rayonnement.

2.2.2 Thermostat

- ♥ Définir un thermostat. Citer un ou plusieurs exemples.

2.2.3 Transformation adiabatique

- ✍ Énoncer, en le justifiant, les critères permettant de considérer une transformation adiabatique (*parois calorifugées, transformation rapide devant le temps caractéristique des transferts thermiques*).

2.2.4 Transformation isotherme

- ✍ Énoncer, en le justifiant, les critères permettant de considérer une transformation isotherme (*parois diathermes, transformation lente devant le temps caractéristique des transferts thermiques*).
- 💡 On pourra également retenir la formulation suivante : **monotherme + quasi-statique = isotherme**.

3 Premier principe

3.1 Énoncé(s)

- ♥ Énoncer le premier principe sous sa forme la plus générale ($\Delta(E_c + U) = W + Q$ où W est l'ensemble des travaux de **toutes** les forces extérieures, conservatives et non conservatives). Préciser quelles sont les conditions d'application (*système **fermé** en évolution **entre deux états d'équilibre***). L'appliquer dans le cas d'une transformation sans déplacement macroscopique de matière ($\Delta U = W + Q$).
- 💡 Le premier principe traduit la **conservation de l'énergie totale de l'univers** {système + milieu extérieur} (l'énergie du système varie uniquement s'il y a échange avec le milieu extérieur, sous de forme de travail et/ou de chaleur).
- 💡 Par convention, W et Q sont respectivement le travail et la chaleur **reçus** par le système du milieu extérieur au cours de la transformation.
- TD Application du premier principe avec l'énergie interne : tous les exercices sauf le 6.

3.2 Variation d'une fonction d'état extensive

3.2.1 Fonction d'état

💡 Toute quantité qui peut s'exprimer comme une fonction d'une ou plusieurs variables d'état s'appelle une **fonction d'état**. C'est le cas de l'énergie interne, qui s'exprime généralement sous la forme $U = U(T, V)$. On rappelle que pour un gaz parfait, d'après la 1^o loi de Joule, l'énergie interne ne dépend que de la température : $U = U(T)$.

💡 La variation d'une fonction d'état entre deux états d'équilibres **ne dépend pas du chemin suivi**.

💡 Au cours d'une transformation cyclique, **la variation d'une fonction d'état est nulle**.

3.2.2 Extensivité

💡 Soit un nombre N quelconque de systèmes thermodynamiques en évolution entre deux états d'équilibre donnés ($i \rightarrow f$). Pour toute fonction d'état extensive X définie pour chacun de ces systèmes :

$$X_{\{1+\dots+N\}}^i = X_1^i + \dots + X_N^i$$

$$X_{\{1+\dots+N\}}^f = X_1^f + \dots + X_N^f$$

$$\Delta X_{\{1+\dots+N\}} = \Delta X_1 + \dots + \Delta X_N$$

3.3 Application : compressions/détentes d'un gaz parfait

📖 Mener un bilan énergétique pour la transformation d'un gaz parfait dans les cas suivants :

- compression/détente brutale avec parois diathermes (**monotherme**),
- compression/détente lente avec parois diathermes (**isotherme**),
- compression/détente brutale avec parois calorifugées (**adiabatique**),
- compression/détente lente avec parois calorifugées (**adia + QS + GP** → **lois de Laplace**)

TD Compression/détente d'un GP : exercices 4 et 5.

3.4 Application : détente de Joule Gay-Lussac

📖 Montrer que cette détente est isoénergétique. Déterminer la température finale pour un gaz parfait. Quelle différence pour un gaz réel ? Expliquer.

4 Fonction d'état enthalpie

4.1 Définitions

♥ Définir l'enthalpie et la capacité thermique à pression constante d'un système thermodynamique. Connaître leur unité, ainsi que celle des grandeurs molaires et massiques associées.

4.2 Transformation isobare ou monobare

♥ Connaître la formulation du premier principe avec l'enthalpie (**valable uniquement pour une transformation isobare ou monobare**, avec un système au repos macroscopique) : $\Delta H = Q + W'$ où W' désigne l'ensemble des travaux **autres que ceux des forces de pression**.

Connaître la formulation dans le cas où il n'y a pas d'autres travaux que ceux des forces de pression : $\Delta H = Q$.

📖 Établir les résultats précédents.

TD Application du premier principe avec l'enthalpie : exercices 1 et 6.

4.3 Gaz parfait : 2^o loi de Joule

♥ Énoncer la deuxième loi de Joule.

♥ Savoir que pour un gaz parfait : $\Delta H = C_p \Delta T$.

♥ Énoncer la relation de Mayer qui relie C_p et C_v pour un gaz parfait.

4.3.1 Gaz parfait monoatomique

♥ Exprimer H et C_p pour un gaz parfait monoatomique.

4.3.2 Gaz parfait diatomique

♥ Exprimer H et C_p pour un gaz parfait diatomique.

4.3.3 Coefficient de Laplace

♥ Définir le coefficient de Laplace d'un gaz parfait. Connaître sa valeur pour un GP monoatomique ($\gamma_{\text{mono}} = 5/3$) et un GP diatomique ($\gamma_{\text{dia}} = 7/5 = 1,4$).

♥ Dans le cas général, exprimer C_p et C_v pour un gaz parfait en fonction de n , R et γ .

4.4 Phase condensée

💡 Pour une phase condensée incompressible et indilatable, on fait les approximations suivantes : $H \simeq U$ et $C_p \simeq C_v$. On parle alors simplement de la capacité thermique C .

♥ Savoir que pour une phase condensée : $\Delta H = C\Delta T = mc\Delta T$ avec c la capacité thermique massique.

4.5 Lois de Laplace

♥ Énoncer les lois de Laplace et leurs conditions d'application (*transformation adiabatique* et *quasi-statique (reversible)* d'un **gaz parfait**). La démo n'est pas à connaître.

TD Lois de Laplace : exercice 7.

5 Calorimétrie

5.1 Introduction

♥ Décrire sommairement les éléments constitutifs d'un calorimètre (faire un schéma). Expliquer notamment de quelle manière on limite les transferts thermiques entre l'intérieur et l'extérieur.

♥ Décrire les conditions dans lesquelles s'effectue une expérience de calorimétrie (transformation **isobare**, généralement à pression atmosphérique, dans une enceinte **calorifugée**).

5.2 Application : mesurage d'une capacité thermique massique par la méthode des mélanges

♥ Expliquer le principe de la méthode des mélanges pour mesurer une capacité thermique massique inconnue.

♥ Définir la valeur en eau d'un calorimètre (masse d'eau liquide équivalente de capacité thermique égale à celle du calorimètre : $C_{\text{calo}} = \mu c_e$ avec c_e la capacité thermique massique de l'eau liquide).

✍ Réaliser le bilan enthalpique de la transformation pour relier la capacité thermique massique inconnue aux données du problème.

5.3 Application : mesurage d'une capacité thermique massique par la méthode électrique

♥ Expliquer le principe de la méthode électrique pour mesurer une capacité thermique massique inconnue.

✍ Réaliser le bilan enthalpique de la transformation pour exprimer la température en fonction du temps. Relier la capacité thermique massique inconnue au coefficient directeur de $T(t)$ et aux données du problème.

TD Calorimétrie (méthode électrique) : exercice 6.