

Programme de la semaine du 19 mai 2025

Cours

Chapitre 20 : Systèmes thermodynamiques en équilibre.

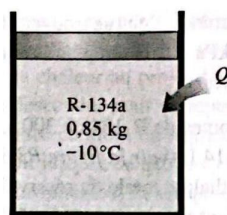
- Savoir que les phases condensées et la phase gazeuse d'un corps pur ont des masses volumiques très différentes. Connaître la masse volumique de l'eau liquide et de l'air. **Attention aux unités !** Savoir définir la densité particulaire, l'exprimer en fonction de la masse volumique, en calculer des ordres de grandeur et en déduire des ordres de grandeurs des distances intermoléculaires.
- Savoir définir le libre parcours moyen dans un liquide ou un gaz et son expression pour un gaz (la démonstration n'est pas exigible en première année), en connaître des ordres de grandeur.
- Savoir définir les échelles microscopique, macroscopique et mésoscopique.
- Savoir définir la notion de système thermodynamique et connaître le vocabulaire associé (milieu extérieur, frontière, corps pur vs. mélange, système monophasé vs. multiphasé, système ouvert, fermé, isolé), en utilisant des exemples.
- Savoir définir la notion de variable d'état. Savoir définir les variables d'état V , n , P et T . Connaître les unités SI associées ainsi que les unités dérivées dans le cas de la pression (bar, atm).
- Savoir définir la notion de variable extensive, intensive. Donner des exemples.
- Lien entre variables microscopiques et macroscopiques pour le gaz parfait monoatomique. Savoir définir la vitesse quadratique moyenne dans un gaz. Savoir établir l'expression de la pression cinétique à l'aide d'un modèle unidimensionnel de collision contre les parois. En déduire, en utilisant l'équation d'état du gaz parfait, l'expression de la vitesse quadratique moyenne en fonction de la température, puis celle de l'énergie cinétique du gaz (énergie cinétique microscopique).
- Savoir définir la notion d'équilibre thermodynamique et donner les conditions de l'équilibre thermique et de l'équilibre mécanique.
- Connaître l'équation d'état du gaz parfait (attention aux unités) et l'équation d'état d'une phase condensée incompressible et indilatable.
- Nous avons traité ces deux exercices pour illustrer la méthode permettant de déterminer l'état d'équilibre thermodynamique d'un système :

Exercice 1 (Gaz réfrigérant dans un récipient à paroi mobile)

Un cylindre fermé par un piston contient 0,85 kg de réfrigérant R134a à la température $-10,0^\circ\text{C}$ (sous forme gazeuse). La masse du piston est de 12,0 kg et son diamètre de 25,0 cm. Le piston est libre de se mouvoir sans frottements. La pression atmosphérique est de 88,0 kPa. Le gaz réfrigérant R134a reçoit un transfert thermique (de la chaleur dans le langage commun) jusqu'à ce que sa température atteigne $15,0^\circ\text{C}$.

On pourra assimiler le gaz réfrigérant R134a à un gaz parfait. On donne sa masse molaire $M = 102,030 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

▮ Caractériser l'état d'équilibre final.

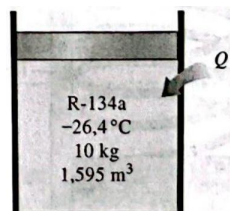


Exercice 2 (Variante)

Dix kilogrammes de réfrigérant R134a sous forme gazeuse remplissent un cylindre fermé par un piston libre de se mouvoir. Le volume initial du réfrigérant R134a est de $1,595 \text{ m}^3$ et sa température, de $-26,4^\circ\text{C}$. Le cylindre est chauffé jusqu'à ce que la température atteigne 100°C .

On pourra assimiler le gaz réfrigérant R134a à un gaz parfait. On donne sa masse molaire $M = 102,030 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

⚡ Déterminez : **1**) la pression initiale du réfrigérant (avant chauffage) et **2**) le volume final du réfrigérant (après chauffage).



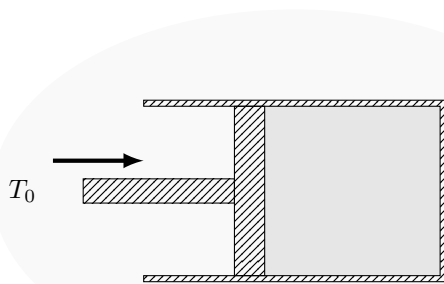
- Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables : savoir définir et utiliser les coefficients thermoélastiques (compressibilité isotherme et coefficient de dilatation isobare) afin de calculer des variations de volume.
- Savoir décrire en détail l'allure du diagramme de phases (P, T) d'un corps pur. **Cas de l'équilibre liquide-vapeur** : connaître l'allure générale du diagramme de Clapeyron (P, v) (isothermes d'Andrews, courbe de rosée, courbe d'ébullition, isotherme critique, etc.).
- Savoir énoncer et démontrer la règle des moments pour déterminer la composition d'un mélange diphasé liquide-vapeur à l'équilibre.
- Savoir utiliser la notion de pression partielle afin d'expliquer l'équilibre liquide-vapeur de l'eau en atmosphère inerte (évaporation)
- Notions sur les gaz réels. Le diagramme d'Amagat (PV_m, P) d'un gaz réel étant donné, savoir identifier les écarts à l'équation d'état du gaz parfait.

Chapitre 21 : Premier principe de la thermodynamique.

- Savoir définir la notion d'énergie interne d'un système thermodynamique. Savoir que l'énergie interne est une fonction d'état extensive. Savoir que l'énergie interne d'un GP ne dépend que de la température. Savoir définir la capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait et donner l'expression de la capacité thermique à volume constant pour un GP monoatomique et un GP diatomique. Savoir que l'énergie interne d'une phase condensée incompressible et indilatable ne dépend que de la température. Généralisation pour un corps pur réel : savoir écrire la variation infinitésimale de l'énergie interne et définir la capacité thermique à volume constant.
- Savoir définir la notion d'enthalpie d'un système thermodynamique. Savoir que l'enthalpie est une fonction d'état extensive. Savoir que l'enthalpie d'un GP ne dépend que de la température. Savoir définir la capacité thermique à pression constante d'un gaz parfait et donner l'expression de la capacité thermique à pression constante pour un GP monoatomique et un GP diatomique. Savoir citer et démontrer la relation de Meyer pour un gaz parfait, définir le coefficient isentropique et l'utiliser pour écrire les capacités thermiques à volume ou pression constante du GP. Généralisation pour un corps pur réel : savoir écrire la variation infinitésimale de l'enthalpie et définir la capacité thermique à pression constante.
- Savoir définir la notion de **transformation thermodynamique**.
- Savoir décrire les trois modes du transfert thermique. Savoir donner la définition d'un thermostat, d'une transformation monotherme, isotherme ou adiabatique.
- **Travail des forces de pression**. Savoir exprimer le travail élémentaire de la force de pression exercée par le milieu extérieur au cours d'une déformation infinitésimale de la frontière du système. On s'appuiera sur un schéma clair pour démontrer la formule dans le cas unidimensionnel, en précisant les hypothèses et les notations. En intégrant, savoir écrire le travail correspondant à une transformation du système entre le volume V_1 et le volume V_2 .

- **Travail des forces de pression, cas d'une transformation « très lente », « quasi-stationnaire » ou « quasi-statique » :** la pression à l'intérieur du système est uniforme et se confond avec la pression exercée sur la frontière déformable. Interpréter graphiquement le travail dans ce cas à l'aide d'un diagramme (P, V) . Toujours dans le cas d'une transformation « quasi-statique » savoir calculer le travail pour une transformation isochore, isobare ou pour la transformation isotherme d'un gaz parfait. Cas d'une transformation cyclique : interpréter graphiquement le travail dans un diagramme (P, V) , savoir distinguer graphiquement un cycle moteur d'un cycle récepteur.
- **Travail des forces de pression.** Enfin, savoir exprimer le travail dans le cas d'une transformation « monobare ». On ne fait aucune hypothèse sur la pression « à l'intérieur » du système, c'est-à-dire que la transformation subie n'est pas nécessairement « quasi-statique ».
- Savoir énoncer le **premier principe de la thermodynamique**. Savoir aussi l'énoncer sous forme infinitésimale.
- Exercices traités en cours :

Exercice 1 (Compression isotherme d'un gaz parfait)



Un cylindre fermé par un piston mobile renferme 20 L d'air à la pression 2 bar. L'ensemble est placé dans un thermostat à la température $T_0 = 20^\circ\text{C}$ et les parois du cylindre sont diathermanes.

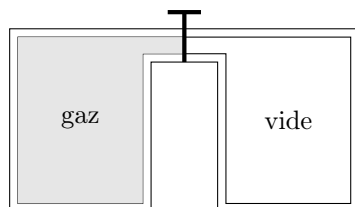
Un dispositif déplace très lentement le piston jusqu'à ce que le volume du gaz ait été divisé par deux. On suppose que la transformation est isotherme et que l'air se comporte comme un gaz parfait. On donne la masse molaire de l'air : $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

✎ Calculer le travail et le transfert thermique reçus par le gaz pendant la transformation.

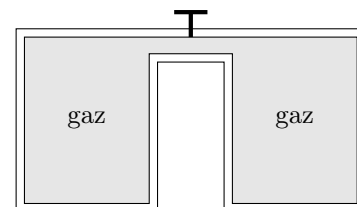
Exercice 2 (La détente de Joule Gay-Lussac)

On dispose d'un récipient aux parois calorifugées constitué de deux compartiments de volume V séparés par un robinet. Initialement, seul le compartiment de gauche contient n moles d'un gaz à la température T_i . Le compartiment de droite est vide. On ouvre le robinet : une partie du gaz passe alors dans le compartiment de droite. On suppose la transformation suffisamment rapide pour négliger tout transfert thermique avec l'extérieur.

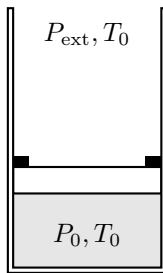
✎ Dans le cas d'un gaz parfait, déterminer la température T_f dans l'enceinte une fois l'équilibre thermodynamique atteint.



État initial



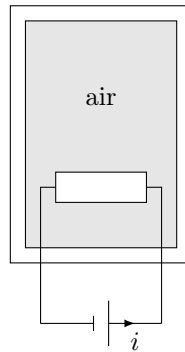
État final

Exercice 3 (Détente adiabatique d'un gaz parfait)

On considère un cylindre vertical contenant de l'air à la pression $P_0 = 2$ bar et à la température $T_0 = 25^\circ\text{C}$, fermé par un piston mobile dont on négligera la masse. Le milieu extérieur est à la pression $P_{\text{ext}} = 1$ bar et à la température 25°C . Les parois du cylindre et le piston sont parfaitement calorifugées. Au début de l'expérience le piston est bloqué par des cales et le volume du gaz est de 200 L. On retire brusquement les cales. Le piston se soulève puis s'immobilise. On suppose que le système $\Sigma = \{\text{air} + \text{piston} + \text{cylindre}\}$ atteint un nouvel état d'équilibre thermodynamique.

On pourra négliger les variations d'énergie interne du cylindre et du piston pendant la transformation et assimiler l'air à un gaz parfait.

➤ Déterminer l'état d'équilibre final du système Σ . On précisera toutes les hypothèses utilisées.

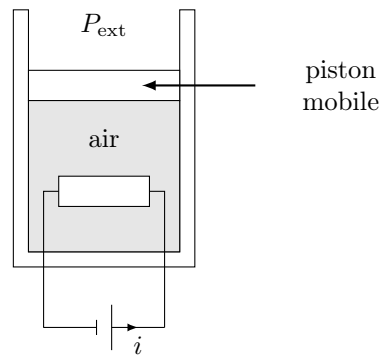
Exercice 4 (Chauffage d'un gaz à volume constant)

Une enceinte calorifugée dont le volume ne peut pas varier contient 20 L d'air à la température 20°C et à la pression 1 bar .

Une résistance chauffante est placée dans l'enceinte. Le générateur de tension délivre un courant d'intensité 2 A sous une tension de 15 V pendant 20 secondes.

L'air est assimilé à un gaz parfait et on négligera les variations d'énergie interne de la résistance chauffante et de l'enceinte.

- 1) Calculer le travail électrique W_e fournit par le générateur de tension.
- 2) Calculer la température dans l'enceinte une fois l'équilibre thermodynamique atteint.

Exercice 5 (Chauffage d'un gaz à pression constante)

Une enceinte calorifugée fermée par un piston mobile contient 20 L d'air à la température 20°C et à la pression 1 bar . L'atmosphère extérieure est la pression $P_{\text{ext}} = 1 \text{ bar}$ et le piston est de masse négligeable. Une résistance chauffante est placée dans l'enceinte. Le générateur de tension délivre un courant d'intensité 2 A sous une tension de 15 V.

L'air est assimilé à un gaz parfait et on négligera les variations d'énergie interne de la résistance chauffante, de l'enceinte et du piston.

On suppose que le générateur fonctionne pendant la durée Δt (à déterminer) nécessaire pour amener le gaz à la température finale de l'exercice précédent (on avait trouvé 56°C) .

- 1) Calculer le volume final du gaz une fois l'équilibre thermodynamique atteint.
- 2) Calculer le travail électrique nécessaire pour réaliser cette transformation puis la durée Δt pendant laquelle le générateur doit fonctionner.
- 3) Conclure en expliquant pourquoi la capacité thermique à pression constante est plus grande que la capacité thermique à volume constant.

Exercices

Exercices sur le **Chapitre 20** et d'application simple sur le **Chapitre 21**.