



Thème III. L'énergie : conversions et transferts

TD n°19 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Gonflage d'une chambre à air

Capacités exigibles :

- ✓ Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
- ✓ Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.

Une chambre à air de volume constant $V_c = 6 \text{ dm}^3$ contient initialement de l'air (assimilé à un gaz parfait) sous une pression $P_0 = 1 \text{ bar}$.

On souhaite porter la pression dans la chambre à air à la valeur $P_1 = 5 \text{ bar}$ à l'aide d'une pompe à main constituée d'un cylindre de volume $V_0 = 125 \text{ cm}^3$ et d'un piston coulissant permettant de refouler la totalité de l'air contenu dans le cylindre à la pression P_0 .

L'opération de gonflage a lieu à température constante $T_0 = 17^\circ\text{C}$. On donne la masse volumique de l'air $\rho(T_0, P_0) = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

- Q1. Exprimer la quantité de matière initiale dans la chambre à air, et la quantité de matière finale.
- Q2. Exprimer la quantité de matière que la pompe peut refouler dans la chambre à air au cours d'un coup de pompe.
- Q3. En déduire le nombre de coups de pompe nécessaire pour mener la chambre à air jusqu'à la pression P_1 , en fonction de P_0 , P_1 , V_c et V_0 .
- Q4. Quelle est la pression dans la roue après k coups de pompe ?
- Q5. Quelle est la masse d'air contenue dans la chambre à air à l'état final en fonction de ρ_0 , V_c , P_0 et P_1 ?

Exercice n°2 Variation d'énergie interne

À la fin de la descente du cycliste, les disques du vélo sont à une température de 220°C (contre 20°C initialement). Leur masse est de $m = 0,5 \text{ kg}$ et la capacité thermique massique de l'acier est $c_V \approx 1000 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Calculer leur augmentation d'énergie interne.

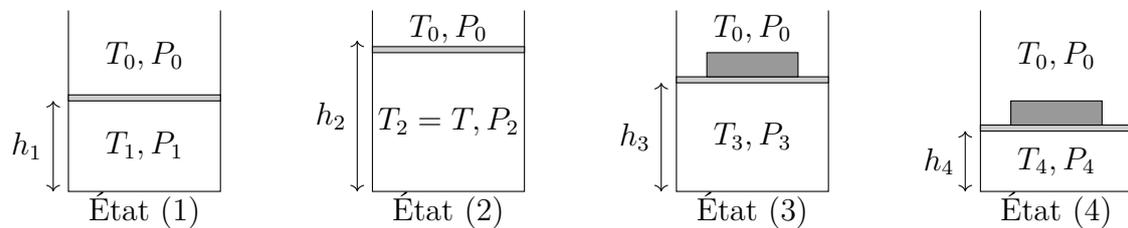
Exercice n°3 Gaz parfait dans une enceinte

Capacités exigibles :

- ✓ Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
- ✓ Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.
- ✓ Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.

On enferme une quantité n de gaz parfait dans une enceinte fermée par une paroi mobile de section S et de masse m pouvant coulisser sans frottement. On considère que les parois sont diathermanes sur un temps long (permettent les échanges d'énergie thermiques). La pression de l'atmosphère extérieure est constante et notée P_0 . On fait subir au système les transformations suivantes :

- Dans l'état (1), le système est au repos depuis suffisamment longtemps pour avoir atteint l'équilibre thermique et mécanique ;
- Le gaz est chauffé jusqu'à ce qu'il atteigne la température $T > T_0$, plaçant le système dans l'état (2) ;
- Une masse supplémentaire M est brusquement placée par dessus le piston : avant tout transfert thermique, le système est dans l'état (3) ;
- Enfin, l'équilibre thermique est atteint, le système est alors dans l'état (4).



- Q1. Déterminer la température du gaz dans l'état (1) et l'état (4).
- Q2. En étudiant l'équilibre du piston, exprimer la pression qui règne dans l'enceinte dans les états (1) et (2).
Faire de même pour les états (3) et (4)
- Q3. Exprimer les hauteurs h_i dans les quatre états, en fonction de $n, S, m, M, T_0, T, T_3, P_0, g$ et R .

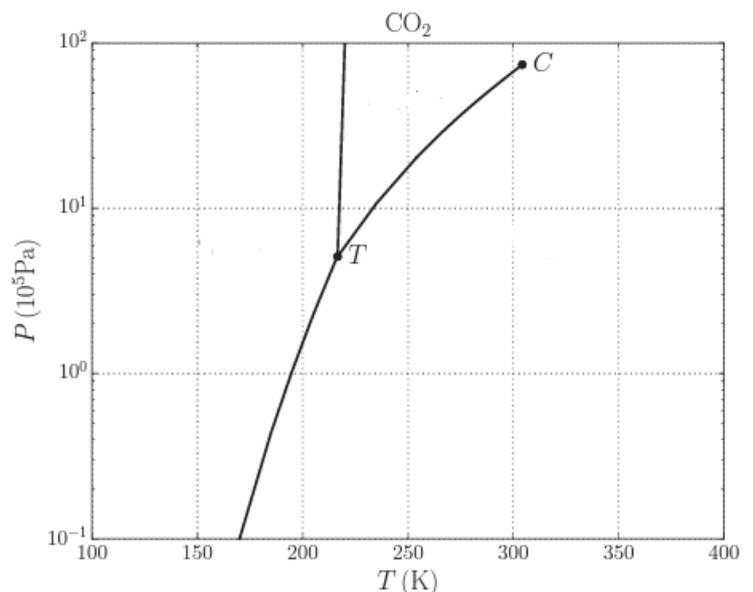
Exercice n°4 Lecture d'un diagramme (P, T)

Capacités exigibles :

- ✓ Positionner les phases dans le diagramme (P, T).
- ✓ Analyser un diagramme (P, T).

La figure ci-contre montre le diagramme (P, T) du dioxyde de carbone.

- Q1. Placer les phases sur le diagramme.
- Q2. On se place dans les conditions initiales suivantes $T_i = 250$ K, $P_i = 10$ bar.
Placer ce point dans le diagramme (P, T) et en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état initial.
- Q3. Partant de cet état, on comprime lentement le dioxyde de carbone à température constante, pour terminer à la pression $P_f = 50$ bar. Placer le point final sur le graphe, en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état final. Décrire alors les différentes étapes de cette compression.
- Q4. Tracer l'allure du graphe qui représente la pression du CO_2 en fonction du temps.
- Q5. Faire la même analyse si à la place d'une compression isotherme, on réalise un refroidissement lent à pression constante amenant le CO_2 dans l'état final $T'_f = 200$ K, $P'_f = 10$ bar. On tracera cette fois l'évolution de la température avec le temps.



Exercice n°5 Règle des moments

Capacités exigibles :

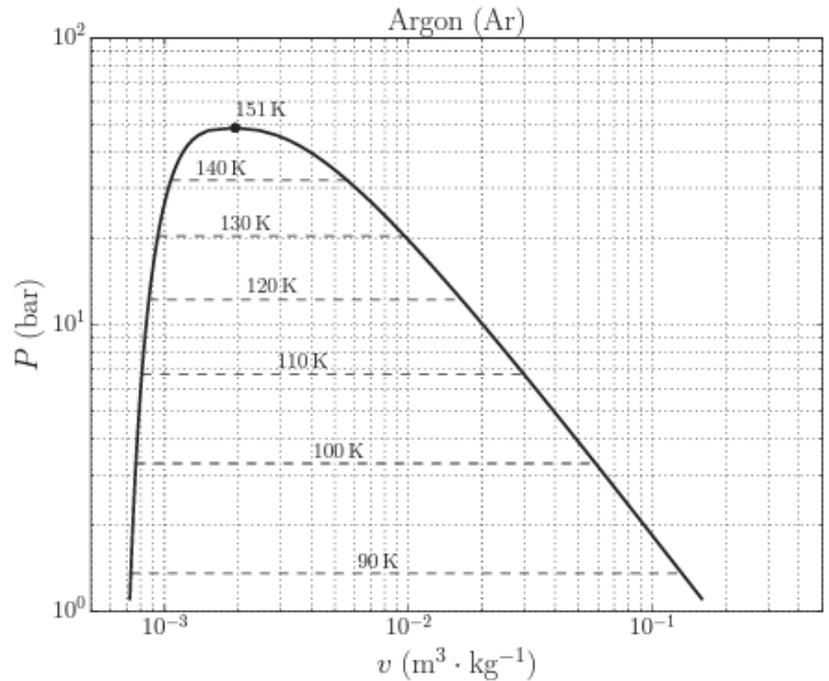
- ✓ Positionner les phases dans un diagramme (P, v) .
- ✓ Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v) .

On considère une masse $m = 1,0$ kg d'argon enfermée dans une enceinte indéformable de volume $V_0 = 1,0 \cdot 10^{-2}$ m³, à la température $T_i = 90$ K. La figure ci-dessous montre le diagramme de Clapeyron de l'argon, de masse molaire $M_{Ar} = 40$ g · mol⁻¹.

- Q1. Indiquer sur ce diagramme les zones correspondant à l'argon liquide, gazeux, et diphasé.
Q2. Compléter ce diagramme en traçant l'allure des isothermes $T = 90$ K et $T = 120$ K.

Q3. Placer sur le graphe le point I correspondant aux conditions de température et de volume données ci-dessus. En déduire la fraction massique $x_{I,l}$ en argon liquide présent initialement dans l'enceinte, ainsi que la pression de vapeur saturante de l'argon à 90 K.

Q4. On chauffe à présent l'enceinte jusqu'à la température de 120 K. Indiquer sur le graphe la position du point final F , et le chemin suivi pour aller de I à F . Déterminer la fraction massique $x_{F,l}$ en argon liquide présent dans l'enceinte dans l'état final, ainsi que la valeur de la pression de vapeur saturante de l'argon à 120 K. Le mélange s'est-il appauvri ou enrichi en liquide ?



Q5. Déduire du graphe la température minimale à imposer à l'enceinte pour que l'argon soit entièrement sous forme gazeuse. À quelle pression correspond-elle ?

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°6 Équilibre d'un piston (d'après oral CCP)

Capacités exigibles :

- ✓ Calculer la pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.
- ✓ Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.
- ✓ Utiliser la loi des gaz parfaits.
- ✓ Déterminer la composition d'un mélange diphasé.

Un récipient aux parois diathermane (permettant l'équilibre thermique avec l'extérieur) est fermé par un piston lui-même diathermane, dont la masse sera négligée.

Le récipient contient une mole d'eau dont la fraction en vapeur sera considérée comme un gaz parfait. À l'état initial d'équilibre, le piston est bloqué de telle sorte que le volume du récipient soit égal à $V_i = 0,10$ m³. On note T_i , P_i respectivement la température initiale et la pression initiale de l'eau dans le récipient. La température et la pression extérieures valent respectivement $T_0 = 373$ K et $P_0 = 1,01$ bar.

Le piston est lâché à l'instant $t = 0$, puis bloqué de telle sorte que le volume du récipient soit égal à $V_f = 0,010$ m³. On note P_f , T_f respectivement la pression et la température finales de l'eau dans le récipient.

- Q1. Dans quel état se trouve initialement l'eau ?
Q2. Montrer que l'eau est sous deux phases à l'état final et calculer la fraction massique en vapeur d'eau.

Données de la vapeur saturée :

T (°C)	P (bar)	v'' (m ³ · kg ⁻¹)
100	1,01	1,7

Le volume massique v' de l'eau liquide saturant sera pris égal à 1,0 L · kg⁻¹ aux deux températures envisagées.

Exercice n°7 Cocotte minute

Capacités exigibles : Calculer la pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.

Au voisinage de 100 °C, la pression de vapeur saturante de l'eau vaut : $P_s = P_0 \left(\frac{t}{100}\right)^4$ où $P_0 = 1$ bar et t la température en °C.

On considère une cocotte-minute dont la soupape a une masse de 40 g et le tuyau de soupape une section de 4 mm². On met de l'eau dans la cocotte-minute et on ferme hermétiquement le couvercle. L'ensemble est ensuite placé sur un brûleur de cuisinière. Au bout d'un certain temps, la soupape se met en rotation.

Quelle est la température à l'intérieur de la cocotte-minute ? Commentaire.

Exercice n°8 Bassine d'eau

Capacités exigibles :

✓ Utiliser la notion de pression partielle pour adapter les connaissances sur l'équilibre liquide-vapeur d'un corps pur au cas de l'évaporation en présence d'une atmosphère inerte.

On entend parfois qu'il peut être bien de placer une bassine d'eau dans sa chambre pour dormir, lorsque l'air de celle-ci est trop sec.

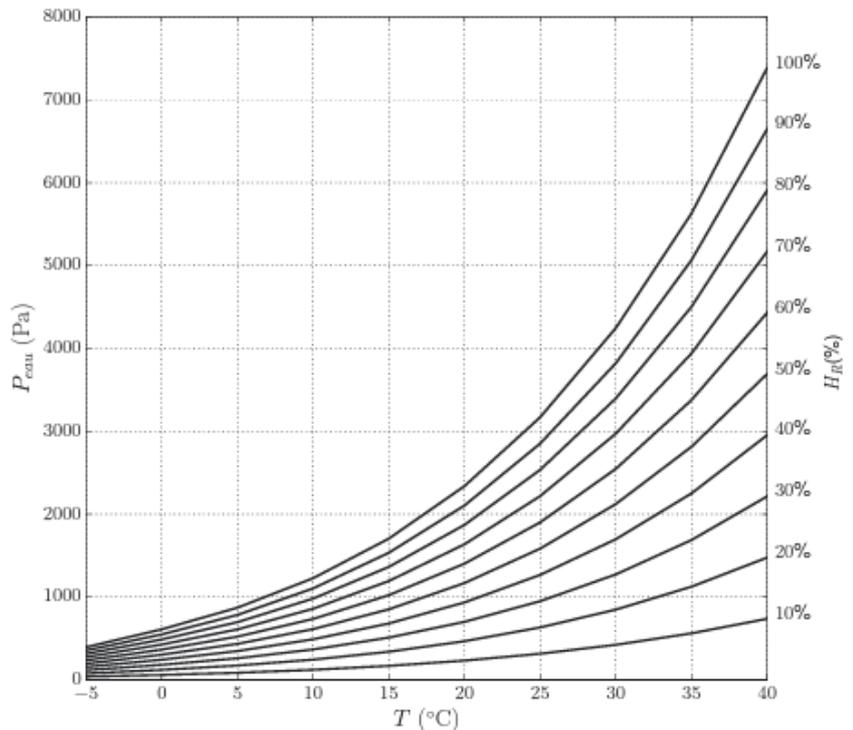
On considère une chambre de 12 m² au sol, et de hauteur de plafond de 2,5 m. La bassine utilisée contient 2,0 L d'eau, de masse volumique à température ambiante $\rho = 1,0$ kg · L⁻¹, et de masse molaire $M_{\text{eau}} = 18$ g · mol⁻¹.

On définit l'humidité relative H_R comme le rapport de la pression partielle en vapeur d'eau dans l'air sur la pression de vapeur saturante de l'eau, à la même température :

$$H_R = \frac{P_{\text{eau}}}{P_{\text{sat, eau}}(T)}$$

Le diagramme ci-contre représente un abaque définissant la valeur de la pression partielle en vapeur d'eau en fonction de la température et de l'humidité relative.

Avant de mettre la bassine, l'humidité relative de la chambre est de 30%, la pression totale est de 1,0 bar et la température est de 17 °C.



Q1. Déterminer, à partir du diagramme, la pression de vapeur saturante de l'eau à la température de la chambre, ainsi que la pression partielle initiale en vapeur d'eau.

Q2. En déduire la quantité d'eau vapeur en moles initialement présente dans la chambre et la masse correspondante.

Q3. Pourquoi l'eau liquide contenue dans la bassine s'évapore-t-elle ? Jusqu'à quand ce phénomène se produira-t-il ?

Q4. Déterminer la quantité d'eau en moles qui s'évaporera de la bassine, ainsi que la masse et le volume qui correspondent. Restera-t-il de l'eau dans la bassine ?

III Résolutions de problème

Exercice n°9 Existence d'une atmosphère ?

On donne les caractéristiques de trois planètes telluriques du système solaire.

Système solaire	Mercure	Vénus	Terre
Diamètre	4 880 km	12 100 km	12 700 km
Masse	3,30.10 ²³ kg	4,87.10 ²⁴ kg	5,97.10 ²⁴ kg
Température maximale à sa surface	430°C	470°C	40°C

Expliquer l'existence ou non d'atmosphère sur ces planètes.