



TD 18 – Description macroscopique d'un système thermodynamique

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

- Identifier un système ouvert, fermé, isolé
- Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.
- Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.
- Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits, l'interpréter à l'échelle microscopique.

J'apprends mon cours : Questions de cours, exercices 1, 3, 4

Questions de cours

- Q1. Savoir définir les notions suivantes : système ouvert, fermé, isolé.
- Q2. Quelles sont les 3 échelles de description d'un système ?
- Q3. Comment peut-on caractériser l'équilibre d'un système thermodynamique ?
- Q4. Quelle est la définition empirique d'un gaz parfait ? quel est le domaine de validité de ce modèle parfait ?
- Q5. Qu'est-ce qu'une phase condensée ? quel est le modèle classiquement adopté pour ces phases ?
- Q6. Déterminer le volume molaire V_m occupé par un gaz parfait sous les CNTP (conditions normales de température et de pression : $P = 1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et $T = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$).

Exercices

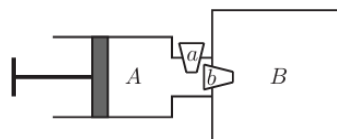
Exercice 1 : Pompe à vélo ♥

★★★

Ref. 0144

✓ Equation des gaz parfaits

Une chambre à air B de volume supposé constant $V_B = 6 \text{ L}$ contient initialement de l'air à $P_0 = 1 \text{ bar}$. On veut porter sa pression à $P_f = 5 \text{ bar}$ à l'aide d'une pompe à main. On suppose que la température reste constante, on la notera T_0 . La pompe est constituée d'un cylindre A de volume $V_0 = 125 \text{ mL}$ dans lequel peut coulisser un piston.



L'air est prélevé dans l'atmosphère à P_0 au niveau de la soupape (a) puis refoulé dans la chambre à air à travers la valve (b) qui permet de vider la totalité du cylindre. Les soupapes (a) et (b) ne laisse passer l'air que dans un seul sens.

- 1) Quelle est la pression P_k dans la roue après k aller-retours ?
- 2) Calculer le nombre de coups de pompe nécessaire pour gonfler la roue jusqu'à P_f .

Exercice 2 : Pression d'un pneu ♥

★★★

Ref. 0145

✓ *Equation des gaz parfaits*

En hiver, pour une température extérieure de $T_1 = -10\text{ °C}$, un automobiliste règle la pression de ses pneus à $P_1 = 2,0\text{ bar}$, pression relative préconisée par le constructeur. Cette valeur est affichée sur un manomètre qui mesure l'écart entre la pression des pneumatiques P' et la pression atmosphérique P_{atm} : $P' = P_{rel} + P_{atm}$ avec $P_{atm} \approx 1\text{ bar}$. L'air est assimilé à un gaz parfait et le volume du pneu reste constant.

- 1) L'automobiliste ayant roulé sur l'autoroute, la température de l'air dans le pneu atteint la valeur $T_2 = 50\text{ °C}$. Exprimer puis calculer la pression relative P_2 de l'air à cette température.
- 2) Le conducteur vérifie la pression des pneus et, la trouvant excessive, la ramène à P_1 , sans que l'air n'ait eu le temps de se refroidir. Quelle sera la pression relative P_3 des pneus quand l'équilibre thermique sera établi ?
- 3) Un pneu initialement vide de volume $V_1 = 50\text{ L}$ est gonflé au moyen d'air comprimé contenu dans une bouteille de volume $V_0 = 80\text{ L}$ sous une pression relative $P_0 = 15\text{ bar}$. La pression relative finale dans le pneu doit être fixée à P_1 . Déterminer la pression relative P_f dans la bouteille à la fin du gonflage d'un pneu, si l'opération se passe à température constante. Combien de pneus peut-on ainsi gonfler sachant que la pression dans la bouteille doit toujours être supérieure à celle du pneu à l'issue du gonflage du dernier pneu ?

Exercice 3 : Enceinte à deux compartiments ♥

★★★

Ref. 0146

- ✓ *Equilibre thermique*
- ✓ *Equilibre mécanique*
- ✓ *Equation des gaz parfaits*

On place dans les deux compartiments d'une enceinte la même quantité n de gaz parfaits identiques. Ces deux compartiments sont séparés par un piston mobile de section $S = 200\text{ cm}^2$. Initialement, les deux gaz ont même température $T_0 = 300\text{ K}$, même volume $V_0 = 10,0\text{ L}$ et même pression $P_0 = 10,0\text{ bar}$, et le piston est au centre de l'enceinte, à l'abscisse $x = 0$.

On élève la température du gaz du compartiment de gauche jusqu'à $T_F = 350\text{ K}$, tout en maintenant la température du compartiment de droite à T_0 . Calculer l'abscisse x du piston une fois le nouvel état d'équilibre atteint.

Exercice 4 : Existence d'une atmosphère

★★★

Ref. 0147

✓ *Vitesse quadratique moyenne*

- 1) Calculer la vitesse de libération à la surface des planètes telluriques. On donne $G = 6,7 \cdot 10^{-11}\text{ SI}$ et $M_T = 6 \cdot 10^{24}\text{ kg}$, la masse de la Terre.

Planète	Diamètre équatorial en km	Rapport de la masse à celle de la Terre
Mercure	4 878	0,055
Vénus	12104	0,815
Terre	12 756	1
Mars	6 794	0,107

- 2) Interpréter la présence possible d'une atmosphère stable à leur surface pour une température de 300 K. On ne considérera que le diazote ($M_{N_2} = 28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$), pour simplifier, l'ordre de grandeur étant comparable pour le dioxygène. On donne la constante Boltzmann : $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.
- 3) Quelle devrait être l'ordre de grandeur de la température pour que le diazote échappe à l'attraction terrestre ?

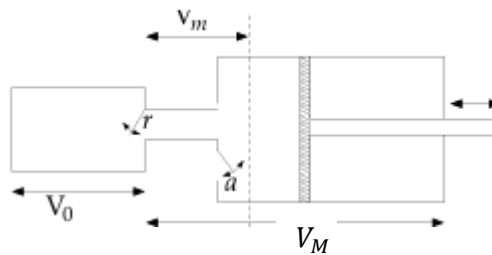
Exercice 5 : Compresseur



Ref. 0148

✓ Equation des gaz parfaits

Un compresseur à piston prélève de l'air (assimilé à un gaz parfait) à la pression atmosphérique P_0 constante, et après une compression le refoule dans un réservoir de volume V_0 . On suppose que l'air reste à température constante.



On décompose un cycle en 4 étapes :

- Aspiration à P_0 (soupape d'admission (a) ouverte), le volume maximal admis dans le « cylindre » est V_M ,
- Compression à température constante dans le « cylindre » (soupapes fermées). Lorsque le piston est en fin de course, le volume du « cylindre » est minimal, V_m .
- Refoulement dans le réservoir de volume V_0 , lorsque la pression dans le « cylindre » est égale à la pression dans le réservoir (soupape de refoulement (r) ouverte),
- Recul du piston (soupapes fermées) : la soupape d'admission s'ouvre à nouveau lorsque la pression du gaz résiduel contenu dans le « cylindre » atteint P_0 .

- 1) Après $(n - 1)$ cycles, la pression dans le réservoir est P_{n-1} . Réaliser l'étude du $n^{\text{ième}}$ cycle. Pour cela :
 - Préciser l'état initial du cylindre et du réservoir puis déterminer en fonction de V_m, P_0 et P_{n-1} , le volume V_n pour lequel la soupape d'admission s'ouvre,
 - Déterminer en fonction de V_M, P_0 et P_{n-1} le volume V_n' pour lequel la soupape de refoulement s'ouvre,
 - En déduire une relation de récurrence entre P_n et P_{n-1} .
- 2) Établir l'expression de P_n en fonction de V_M, V_m, P_0 sachant que la pression initiale dans le réservoir était P_0 .
- 3) Quelles sont les limites de P_n, V_n et V_n' quand n tend vers l'infini ?

Exercice 6 : Fuite dans une cabine spatiale



Ref. 0149

- ✓ Equation des gaz parfaits
- ✓ Vitesse quadratique

Une cabine spatiale, de volume $V = 100 \text{ m}^3$, contient de l'air, mélange de diazote à 80,0 % et de dioxygène à 20,0 % (composition molaire), assimilés à des gaz parfaits. En régime normal, la pression vaut $P_0 = 1,00 \text{ bar}$. À

la suite d'un accident, un petit trou de surface S met la cabine en communication avec le vide extérieur. La climatisation fonctionnant toujours, la température reste égale à $T = 295 \text{ K}$, mais la pression P diminue lentement...

Données: constante des gaz parfaits: $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$; masses molaires: O : $16,0 \text{ g.mol}^{-1}$ et N : $14,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

- 1) Après avoir présenté le modèle utilisé, déterminer le nombre δN_{O_2} de molécules qui s'échappent par le trou pendant une durée infinitésimale dt .
- 2) En déduire l'équation différentielle satisfaite par le nombre $N_{O_2}(t)$ de molécules de dioxygène présentes dans la cabine spatiale.
- 3) En déduire l'évolution de la pression partielle du dioxygène $P_{O_2}(t) = n_{O_2}RT/V$.
- 4) Exprimer puis calculer les vitesses quadratiques u_{O_2} et u_{N_2} des molécules de dioxygène O_2 et de diazote N_2 dans les conditions de température de la cabine. On suppose que la vitesse quadratique d'un gaz parfait diatomique de masse molaire M est $u = \sqrt{\frac{5RT}{M}}$
- 5) Au bout de 100 heures, pour $S = 2,00 \text{ mm}^2$, donner un ordre de grandeur de la pression P et du rapport des quantités de O_2 et de N_2 .