TD T1-T2 - Équilibre et échanges d'énergie

Capacités exigibles

- *Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits :* exercices 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8.
- *Exprimer les conditions d'équilibres mécaniques et thermiques d'un système :* exercices 5, 6, 7.
- *Calculer directement un travail des forces de pression au cours d'une transformation :* exercices 3, 7.
- *Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement :* exercice 4.

1 Masse d'air dans une pièce

Calculer la masse d'air (considérer comme un gaz parfait) m contenue dans une pièce de surface $S = 25$ m^2, de hauteur $h = 3$ m. La température de la pièce est de 20 °C et la pression vaut 1013 hPa. On donne la masse molaire moyenne de l'air $M = 28,96$ g.mol^{-1}. On rappel la valeur de la constante des gaz parfaits $R = 8,31$ J.K^{-1}.mol^{-1}.

2 Fuite d'Hélium

On considère une bouteille de volume constant $V = 10$ L contenant de l'hélium, modélisé comme un gaz parfait monoatomique, à la pression $p = 2,1$ bar et à la température $T = 300$ K.
Données : masse molaire de l'hélium $M = 4,0$ g.mol^{-1}, constante de Boltzmann $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ J.K^{-1}, nombre d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

1. Calculer la masse m d'hélium contenue dans la bouteille et la densité particulaire n^*, c'est-à-dire le nombre d'atomes par unité de volume.
2. Calculer la vitesse quadratique moyenne u des atomes.
3. À la suite de l'ouverture de la bouteille, la pression passe à $p' = 1,4$ bar et la température à $T' = 290$ K. Calculer la masse Δm de gaz qui s'est échappé de la bouteille.
4. À quelle température T'' faudrait-il porter le gaz pour atteindre à nouveau la pression p ?

3 Transformation cyclique d'un gaz parfait

Une mole de gaz parfait subit une transformation cyclique constituée des étapes suivantes :

- À partir des conditions initiales $P_A = 1$ bar et $\theta_A = 27$ °C (état A), un échauffement isochore jusqu'à la température θ_B fait tripler sa pression (état B).
- Une détente isotherme lui fait ensuite retrouver sa pression initiale (état C).
- Un refroidissement isobare le ramène à l'état initial A.

Données : constante des gaz parfait $R = 8,31$ J.K^{-1}.mol^{-1}.

1. Déterminer les valeurs des grandeurs d'état P, T et V dans les états A, B et C.
2. Représenter le cycle dans un diagramme de Clapeyron (P, V). En déduire sans calcul le signe du travail reçu par le gaz au cours d'un cycle.
3. Calculer le travail reçu par le gaz pour chaque transformation puis sur le cycle. :: :

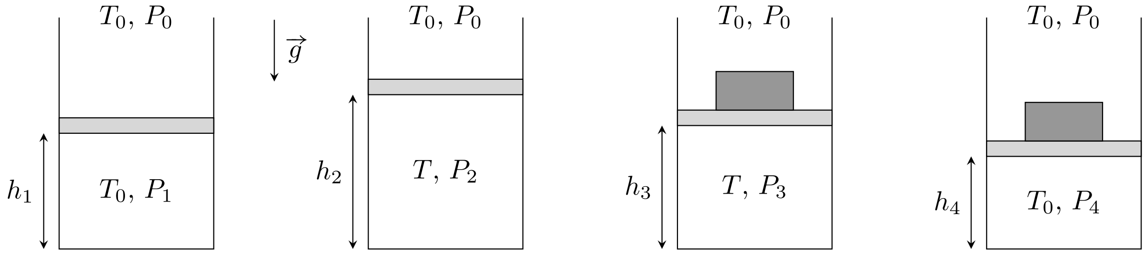
4 Transfert thermique et cuisine

1. Citer un procédé de cuisson dans lequel l'aliment reçoit de l'énergie thermique majoritairement, par conduction, par convection, et par rayonnement.
2. On cuit un œuf en le plongeant dans un casserole d'eau bouillante. Quel est le mode de transfert thermique dominant pour le système {œuf} ? pour le système {œuf + eau} ? pour le système {jaune d'œuf} ?

5 Gaz parfait dans une enceinte

Une quantité de matière n de gaz parfait est enfermée dans une enceinte de surface de section S. Cette enceinte est fermée par un piston de masse m, à même de coulisser sans frottement, et permet les transferts thermiques, si bien que lorsqu'on attend suffisamment longtemps le gaz contenu dans l'enceinte est en équilibre thermique avec l'extérieur. Le milieu extérieur se trouve à température et pression constantes T_0 et P_0 . On fait subir au gaz la série de transformations suivante :

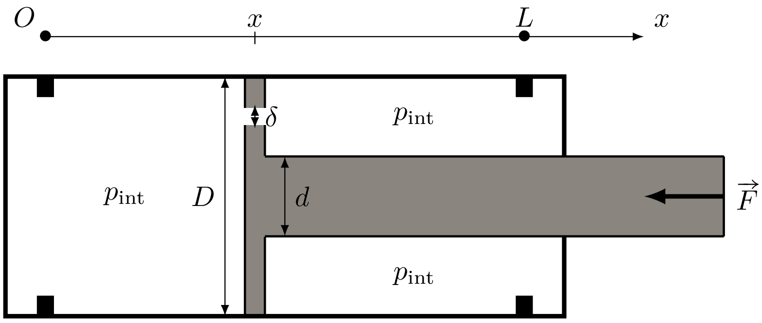
- Initialement, dans l'état (1), le système est au repos depuis suffisamment longtemps pour avoir atteint l'équilibre thermique et mécanique ;
- Le gaz est chauffé jusqu'à ce qu'il atteigne la température $T > T_0$, plaçant le système dans l'état (2) ;
- Une masse supplémentaire M est brusquement placée 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).



Exprimer les hauteurs h_1 à h_4 du piston dans chaque état.

6 Ressort à gaz

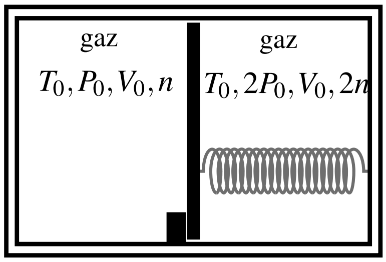
Un vérin cylindrique à air comprimé, gaz supposé parfait, est décrit par le schéma de la figure ci-dessous : Le piston a une épaisseur nulle et on pourra négliger la section de l'orifice de communication de diamètre δ. On notera V_0 les deux volumes morts (que le piston ne peut atteindre) situés en $x < 0$ et $x > L$. On prendra également $D = 2d$. On supposera que l'équilibre thermique du gaz avec l'air extérieur de température T_0 est réalisé pour toute position du piston. La pression de l'air extérieur est notée p_0.



1. Exprimer le volume $V(x)$ disponible pour le gaz dans le vérin, pour une position x donnée du piston en fonction de L, x et d.
2. En déduire une expression de $p_{\text{int}}(x)$ faisant apparaître n, T_0 et R.
3. On suppose le système à l'équilibre mécanique avec le piston a la position x. Exprimer la force $\vec{F}$ exercée *par la tige sur un système mécanique extérieur* en contact avec l'extrémité de la tige (non représenté sur la figure).

7 Recherche d'un état final

Une enceinte indéformable aux parois calorifugées est séparée en deux compartiments par une cloison étanche de surface S, mobile, diathermane et reliée à un ressort de constante de raideur k. Les deux compartiments contiennent chacun un gaz parfait. Dans l'état initial, le gaz du compartiment 1 est dans l'état (T_0, P_0, V_0, n), le gaz du compartiment 2 dans l'état $(T_0, 2P_0, V_0, 2n)$, une cale bloque la cloison mobile et la longueur du ressort est égale à sa longueur à vide. On enlève la cale et on laisse le système atteindre un état d'équilibre.

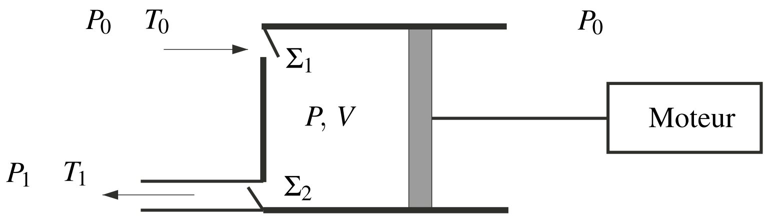


1. Décrire qualitativement l'évolution du système
2. Écrire cinq relations faisant intervenir certaines des six variables d'état : V_1 et V_2 (volumes finaux des deux compartiments), P_1 et P_2 (pressions finales dans les deux compartiments), T_1 et T_2 (températures finales dans les deux compartiments).

8 Étude d'un compresseur

Le problème étudie le compresseur d'un moteur à air comprimé (celui d'un marteau-piqueur, par exemple). L'air est assimilé à un gaz parfait. La constante des gaz parfaits est $R = 8,314$ J.K^{-1}.mol^{-1}.

L'air est aspiré dans les conditions atmosphériques, sous la pression $P_0 = 1$ bar et à la température $T_0 = 290$ K, jusqu'au volume V_m, puis comprimé jusqu'à la pression P_1, où il occupe le volume V_1, et refoulé à la température T_1 dans un milieu où la pression est $P_1 = 6$ bar. Bien que le mécanisme réel d'un compresseur soit différent, on suppose que celui-ci fonctionne comme une pompe à piston, qui se compose d'un cylindre, d'un piston coulissant entraîné par un moteur et de deux soupapes.



- La soupape d'entrée Σ_1 est ouverte si la pression P dans le corps de pompe est inférieure ou égale à la pression atmosphérique P_0
- La soupape de sortie Σ_2 est ouverte si P est supérieure à P_1
- Le volume V du corps de pompe est compris entre 0 et V_m
- Á chaque cycle (chaque aller et retour du piston), la pompe aspire et refoule une mole d'air.

1. a. Tracer sur un diagramme de Watt (P en ordonnée, V en abscisse) l'allure de la courbe représentant un aller et un retour du piston. Indiquer le sens de parcours par une flèche.
   b. Montrer que le travail de l'air situé à droite du piston est nul sur un aller-retour.
   c. Montrer que le travail fourni par le moteur qui actionne le piston est égal à l'aire d'une surface sur le diagramme. On supposera que le mouvement est assez lent pour que l'évolution soit mécaniquement réversible (i.e. quasi-statique).

2. Pendant la phase de compression, l'air suit une loi polytropique $PV^k = \text{cste}$; il sort du compresseur à la température $T_1 = 391$ K. Trouver la valeur de k.

3. Exprimer le travail mécanique W_{moteur} fourni par le moteur pendant un aller-retour en fonction de R, n, k, T_1 et T_0.

4. Le débit massique de l'air dans le compresseur est $D_m = 0,013$ kg.s^{-1}. Calculer la puissance $\mathcal{P}_{\text{moteur}}$ fournie par le moteur.