

Feuille d'exercices n°23 : Introduction à la thermodynamique

Exercice 1 : Loi des gaz parfaits :

Dans cet exercice, l'air est assimilé à un gaz parfait.

- 1) Un pneu de voiture, de volume supposé constant, est gonflé à froid, à la température $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, sous la pression $P_1 = 2,1$ bar. Après avoir roulé un certain temps, le pneu affiche une pression $P_2 = 2,3$ bar. Quelle est alors sa température ?
- 2) Une bouteille d'acier, munie d'un détendeur, contient dans un volume $V_1 = 60$ L, de l'air comprimé sous $P_1 = 15$ bar. En ouvrant le détendeur à la pression atmosphérique, quel volume d'air peut-on extraire à température constante ?
- 3) Un pneu de volume $V_1 = 50$ L est gonflé au moyen d'air comprimé contenu dans une bouteille de volume $V_0 = 80$ L, initialement à la pression $P_0 = 15$ bar. Si la pression initiale dans le pneu est nulle et la pression finale $P_1 = 2,6$ bar, déterminer la pression P dans la bouteille à la fin du gonflage d'un pneu, puis le nombre de pneus que l'on peut gonfler, en supposant que l'opération a lieu à température constante.

Exercice 2 : Airbag :

L'ouverture d'un coussin gonflable (airbag) permet d'amortir la décélération subie par le thorax et la tête du passager lors d'un accident. L'airbag doit être entièrement gonflé en 25 ms environ avant de réceptionner le passager.

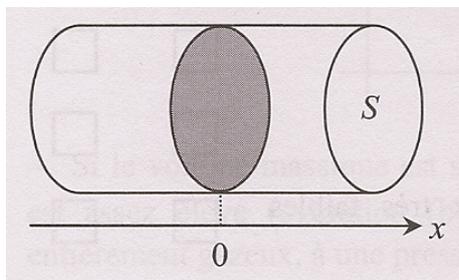
Soit $P_1 = 1$ bar la pression et $t_1 = 27^\circ\text{C}$ la température de l'airbag gonflé avant réception du passager. On assimilera l'airbag gonflé à un sac cylindrique de hauteur $H = 30$ cm et de rayon $R = 50$ cm.

Un détecteur de choc déclenche électriquement l'explosion d'une poudre d'azoture de sodium $\text{NaN}_3(\text{s})$ qui se décompose totalement en diazote gazeux et en sodium solide.

Données : $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{Na}) = 23 \text{ g.mol}^{-1}$ et $R = 8,3 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ constante des gaz parfaits.

- 1) Ecrire la réaction chimique d'explosion de la poudre.
- 2) Quel est le nombre n de moles de diazote qui doit être formé lors de la réaction pour arriver à gonfler l'airbag ? (on considèrera le diazote dans l'airbag comme un gaz parfait).
- 3) Quelle masse de $\text{NaN}_3(\text{s})$ cela nécessite-t-il au départ ?

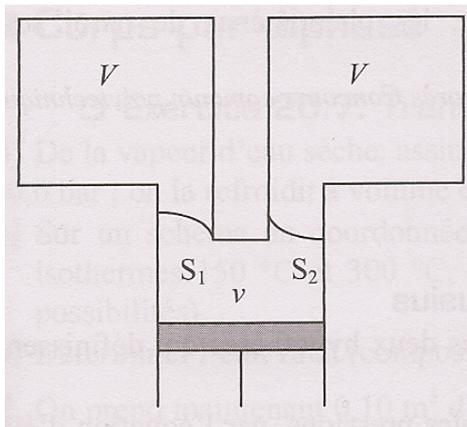
Exercice 3 : Enceinte à deux compartiments :



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

- 1) Calculer la quantité de matière n de gaz dans chacun des compartiments.
- 2) 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 : Etude d'une pompe :



Deux réservoirs, de même volume V , sont mis en communication par une pompe dont le cylindre a un volume maximal v . A l'instant initial, les deux réservoirs contiennent deux gaz parfaits identiques à la même pression P_0 et à la même température T_0 . Le piston est initialement en position haute, de telle sorte que le volume du cylindre est nul au début de l'expérience.

A la descente du piston, la soupape S_1 est ouverte et la soupape S_2 est fermée. A la remontée du piston, la soupape S_1 est fermée et la soupape S_2 est ouverte.

On note P_n^g et P_n^d les pressions respectivement dans le réservoir de gauche et le réservoir de droite après n aller-retours du piston, depuis sa position haute initiale. On suppose que toutes les transformations s'effectuent de manière isotherme, et que le système constitué par le gaz contenu dans les deux réservoirs et le cylindre est fermé.

1) En utilisant une loi de conservation, établir une relation entre P_n^g , P_n^d et P_0 .

2) Quelle est la relation entre P_{n-1}^g et P_n^g ? En déduire les expressions de P_n^g puis de P_n^d en fonction de P_0 , V et v .

Exercice 5 : Gazoduc (CCP PC 1999) :

Le gaz naturel est transporté à haute pression dans un gazoduc avant d'être détendu, souvent en plusieurs étapes, dans la région d'utilisation.

On peut lire dans une brochure Gaz De France (GDF) : « Le gaz naturel est puissant. Son pouvoir calorifique est de 10 th/m³. La thermie (th) est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1000 L d'eau ».

On suppose que le gaz est constitué uniquement de méthane (masse molaire $M = 16 \text{ g.mol}^{-1}$).

La capacité thermique de l'eau sera prise égale à $4,18 \text{ kJ.}^\circ\text{C}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

1) Calculer le pouvoir calorifique q_v du gaz naturel en kJ.m^{-3} .

2) En admettant que les données de la brochure font référence au gaz dans les conditions de température (avant combustion) et de pression d'utilisation domestique (20°C, soit 293 K et 1 bar, soit 10^5 Pa) et que le méthane obéit dans ce cas à l'équation d'état des gaz parfaits (avec $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$), en déduire le pouvoir calorifique massique q_m du gaz naturel en kJ.kg^{-1} .

3) Le débit massique du gaz naturel dans le gazoduc est $D = 2,5 \text{ kg.s}^{-1}$. Calculer le nombre de foyers alimentés par le gazoduc pour une consommation moyenne de 3 kW par foyer.

Exercice 6 : Etude d'un gaz réel de Clausius :

- 1) Donner l'équation d'état d'un gaz parfait. Quelles sont les deux hypothèses qui définissent, au niveau microscopique, un gaz parfait ?
- 2) L'argon est un gaz noble qui peut être modélisé, aux faibles pressions, par l'équation d'état molaire : $P(V_m - b) = RT$ où R est la constante des gaz parfaits, et b une constante positive caractéristique de ce gaz.
 - a) Ecrire cette équation d'état pour une quantité de matière n quelconque.
 - b) Quelle est l'hypothèse du gaz parfait qui reste valable pour ce gaz, et quelle est celle qui ne l'est plus ?
 - c) Tracer l'allure de quelques courbes isothermes (ensemble de points pour une valeur de T fixée) en coordonnées d'Amagat (c'est à dire PV en ordonnées, et P en abscisses). Si on obtient de telles isothermes expérimentalement, comment en déduire la valeur de b ?
 - d) Déterminer la limite du produit PV quand P tend vers 0 et commenter le résultat obtenu.

Exercice 7 : Transformations de masses d'eau :

- 1) De la vapeur d'eau sèche, assimilée à un gaz parfait, se trouve à 300°C sous une pression de 10,0 bar. On la refroidit à volume constant jusqu'à 150°C.
 - a) Sur un schéma en coordonnées de Clapeyron, tracer la courbe de saturation et les deux isothermes 150°C et 300°C, puis représenter la transformation (il faudra envisager deux possibilités).
 - b) Déterminer l'état final (composition et pression).
- 2) On prend maintenant 0,10 m³ d'eau liquide et 0,90 m³ de vapeur en équilibre sous une pression de 4,76 bar. Un transfert thermique isobare porte la température à 200°C.
 - a) Quelle est la masse totale du mélange ?
 - b) Représenter la transformation dans le diagramme de Clapeyron précédent, et déterminer le volume final.

Données pour l'eau : Masse molaire $M = 18 \text{ g.mol}^{-1}$

A 150°C, pression de vapeur saturante $P_s = 4,76 \text{ bar}$, volumes massiques : $v_l = 1,09.10^{-3} \text{ m}^3 .\text{kg}^{-1}$ et $v_v = 0,393 \text{ m}^3 .\text{kg}^{-1}$.

La constante des gaz parfaits est $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Exercice 8 : Stockage dans un ballon d'eau chaude :

On souhaite stocker une masse m d'eau dans un ballon d'eau chaude modélisé par une cuve fermée, indéformable et de volume $V_0 = 200 \text{ L}$. Pour simplifier, on suppose qu'il est initialement vide. Suite à un échauffement accidentel, l'eau maintenue à $T_0 = 333 \text{ K}$ (soit $\theta_0 = 60^\circ\text{C}$) passe à la température $T = 773 \text{ K}$ (soit $\theta = 500^\circ\text{C}$).

- 1) Lorsqu'il est rempli, le ballon contient $m = m_1 = 50 \text{ kg}$ d'eau.
 - a) En utilisant le diagramme de Clapeyron (P,v) fourni (en échelles logarithmiques), déterminer la composition du mélange liquide-gaz dans le ballon à T_0 .
 - b) Déterminer la pression P_1 dans le ballon après l'échauffement accidentel.
- 2) Le ballon est maintenant presque vide et contient seulement $m = m_2 = 400 \text{ g}$ d'eau. Reprendre les questions précédentes et déterminer la pression P_2 à l'issue de l'échauffement.

Diagramme (P, v) de l'eau

