TD18 : TH1 – Bases de la Thermodynamique

Compétence 1 : Exploiter l'équation d'état du gaz parfait

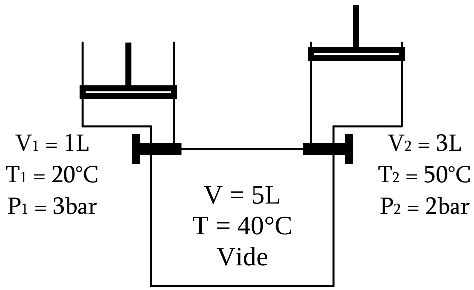
Exercice 1.1 : Le Gaz Parfait

Une enceinte de volume V contient un gaz supposé parfait constitué de n moles de particules identiques de masse m en équilibre avec un thermostat à la température T. On désigne par P la pression régnant dans l'enceinte.

1. Préciser les hypothèses du gaz parfait.
2. Donner l'équation d'état d'un gaz parfait. Combien y a-t-il de molécules dans $1cm^3$ d'un gaz supposé parfait dans les conditions atmosphériques suivantes : $P = 10^5$ Pa et T = 293K. On donne $R = 8{,}314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$. Cela dépend-t-il du gaz considéré ?
3. On définit aussi le volume molaire V_m comme le volume occupé par 1 mol de gaz. Calculer le volume molaire dans les mêmes conditions. Cela dépend-t-il du gaz considéré ?
4. Dans les mêmes conditions, calculer la distance moyenne entre deux molécules, en déduire dans quelle mesure les fluides réels constitués de molécules polyatomiques tendent vers le comportement limite d'un gaz parfait.
5. Calculer la quantité n de molécules d'eau liquide dans 1 cm^3 ($M=18g.mol^{-1}$) et comparer.
6. Calculer les pressions partielles $P(O_2)$, $P(N_2)$ et P(Ar) dans l'air libre supposé être un mélange idéal de gaz parfaits. (P = 1bar, T = 293K)
7. Déterminer la masse molaire de l'air (On donne $M(N_2)=28$, $M(O_2)=32$, $M(Ar)=40\ g.mol^{-1}$)
8. En déduire la masse d'air contenue dans une pièce de $5m\times5m\times3m$ à 20°C.

Exercice 1.2 : Mélange de gaz parfaits

On considère le dispositif suivant, avec lequel on mélange le gaz contenu dans V_1 et V_2 dans une enceinte de volume V = 5L initialement vide. On considère que tout le gaz est contenu dans V à l'état final.

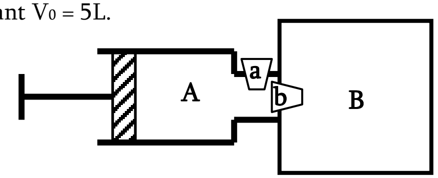


1. Calculer la pression finale du mélange obtenu (modèle du GP)
2. Calculer les fractions molaires de chaque gaz, et leurs pressions partielles dans l'état final

Exercice 1.3 : Etude d'une pompe simple

On utilise une pompe dont le corps A a un volume maximal V_P = 200mL pour gonfler d'air une chambre à air B supposée de volume constant V_0 = 5L.

Les soupapes (a) et (b) ne laissent passer l'air que dans un sens. Lors de chaque coup de pompe, le piston effectue un aller-retour complet faisant varier A d'un volume 0 à un volume V_P, on suppose les évolutions isothermes.



Au début de l'opération, la température de l'air est T = 298K et sa pression $P_0 = 10^5$Pa dans tous les compartiments et à l'extérieur. On donne la constante des gaz parfaits $R = 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}$.

1. Préciser le sens dans lequel les soupapes laissent passer l'air.
2. Calculer la pression de l'air P_1 à l'intérieur de B au bout du premier aller-retour.
3. Etablir la relation entre P_K, P_0, V_P, V_0, et k. (P_k = pression après k coups de pompe)
4. Calculer le nombre de coups de pompe nécessaires à gonfler jusqu'à P_f = 5bar.
5. Pourquoi est-ce de plus en plus difficile de gonfler la roue ?
6. On donne la masse volumique de l'air ambiant $\rho=1{,}3g.L^{-1}$. Quelle est la masse d'air finale ?

Exercice 1.4 : Etude d'un pneumatique

On considère un pneumatique d'automobile monté sur sa jante. On admettra que le pneu se comporte comme une enveloppe déformable, parfaitement étanche, qui avec la jante délimite un volume qui reste toujours constant, et que le gaz qu'il contient se comporte comme un gaz parfait. La pression dans ce pneumatique, mesurée à 20°C est 3,0 bar.

1. Quelles seront les pressions dans le pneu (en bar) :
   1.a) lorsque la température du gaz à l'intérieur du pneumatique est de 10°C ?
   1.b) lorsque la température du gaz à l'intérieur du pneumatique est de 40°C ?
2. Quatre pneumatiques identiques, dont la pression mesurée est 3 bar à 20°C, sont montés sur une voiture de tourisme de masse totale 1440kg répartie de manière équilibrée sur les deux essieux. Donner, à 20°C, la surface de contact entre le pneu et le sol (supposé parfaitement dur et horizontal). On prendra $g = 10\ m.s^{-2}$.
3. Des essais d'aquaplaning réalisés sur une voiture à vitesse constante montrent que le phénomène d'aquaplaning ne se manifeste plus lorsque la température du gaz dans les pneumatiques est supérieure à 30°C. Quel est selon vous le facteur qui détermine, ici le phénomène d'aquaplaning, et comment faire pour l'éviter ?

Compétence 2 : Passer du gaz parfait au gaz réel

Exercice 2 : Tables Thermodynamiques et Modélisation

Masse Volumique aux Basses Pressions :

Voici un extrait de tables thermodynamiques donnant la masse volumique de l'air sous 1,013 bar en fonction de la température. On rappelle que M_{air}=29 g.mol^{-1}. Comparer ces valeurs graphiquement avec celles obtenues avec le modèle du gaz parfait. Conclure.

t(°C)	0	5	10	15	20	25	30	35
ρ(kg.m^{-3})	1,293	1,270	1,247	1,226	1,205	1,184	1,165	1,146

Produit PV aux hautes pressions :

On donne les valeurs de Vm en fonction de la pression pour l'eau vapeur à T = 773K.

P (bar)	1,0	20	70	100
V_m (L.mol^{-1})	64,3	3,17	0,87	0,59

→ Représenter PV_m en fonction de P. Que peut-on en conclure ?

→ Calculer l'écart relatif $(V_{mGP}-V_m)/V_m$ en fonction de P et commenter son évolution.

→ On pourrait faire correspondre à l'eau vapeur sous ces conditions un modèle de Van Der Waals, mais il nous faut plus de connaissances… voir prochain chapitre…

Compétence 3 : Utilisation des coefficients thermoélastiques

Exercice 3.1 : Calculs de Coefficients Thermoélastiques

On rappelle l'équation d'état du gaz parfait (GP) et de différents modèles de gaz réels :

GP	GR de Joule	GR de Van Der Waals
$PV = nRT$	$P(V_m - b) = RT$	$\left(P + \frac{a}{V_m^{\ 2}}\right)(V_m - b) = RT$

→ Donner le sens physique de a et de b

→ Calculer les expressions des coefficients thermo élastiques α et χ_T.

→ Retrouver la continuité avec le gaz parfait.

Exercice 3.2 : Equation d'état de l'eau et stockage des fluides

L'eau, comme tous les fluides, est peu compressible. Mais si l'eau était rigoureusement incompressible, le niveau de la surface des océans serait plus élevé de 30m.

Dans un domaine restreint de température et de pression autour de P_0=1bar, T_0=293K, et V_0=1L, l'eau sous forme liquide peut être caractérisée par les coefficients de dilatation isobare et de compressibilité isotherme supposés constants : $\alpha = 3.10^{-4} K^{-1}$ et $\chi_T = 3.10^{-10} Pa^{-1}$

1. Vérifier que l'équation d'état $\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \alpha(T - T_0) - \chi_T(P - P_0)$ convient pour l'eau liquide
2. Quelle équation d'état particulière retrouve-t-on pour des valeurs de α et χ_T nulles ?
3. Comparer les valeurs des coefficients à celles correspondant à l'air, gaz supposé parfait, dans le même état caractérisé par T_0 et P_0. Cela semble-t-il raisonnable ?
4. Calculer le volume de cet échantillon d'eau pour T = T_0 sous une pression de 1000bar. En déduire la validité de l'approximation de fluide incompressible dans le cas de l'eau liquide.
5. Le liquide est enfermé dans une bouteille métallique de volume V_0 constant. Par suite d'un incendie, la température augmente à 400°C. Calculer la pression P_1 dans le récipient et commenter. Reprendre ces calculs dans le cas d'un gaz supposé parfait. Que peut-on en déduire quant au stockage des fluides ?