TD20 – INTRODUCTION A LA THERMODYNAMIQUE

On donne pour tout le TD : $k_B=1,38.10^{-23}J.K^{-1}$, $N_A=6,02.10^{23}mol^{-1}$, $R=8,31J.K^{-1}.mol^{-1}$

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

1 Qu'est-ce que la thermodynamique ? Pour la définir, on précisera son but et on utilisera entre autres l'ordre de grandeur de la constante d'Avogadro.
2 Définir l'échelle mésoscopique.
3 Définir un système fermé, un système ouvert, et un système isolé.
4 Donner un ordre de grandeur du libre parcours moyen dans un gaz, puis dans un liquide.
5 Définir l'énergie interne d'un système thermodynamique.
6 Définir l'équilibre thermodynamique. Établir l'état d'équilibre d'un système soumis aux forces de pression et à une force de frottement solide constante.
7 Différencier les variables d'état extensives et intensives et donner des exemples pour chacune
8 Définir la vitesse quadratique moyenne à l'aide d'une moyenne d'ensemble

9 a. Donner sans aucune démonstration l'expression de l'énergie cinétique moyenne d'une particule de gaz parfait monoatomique en fonction de la constante de Boltzmann k_B et de la température.
b. En déduire l'expression de la vitesse quadratique moyenne u en fonction de m, k_B et T.

10 Donner la relation entre la pression cinétique P, la densité particulaire d'un gaz n, la masse d'une particule de gaz m et la vitesse quadratique moyenne u. Etablir très précisément cette relation.
11 Quel est l'ordre de grandeur de la vitesse quadratique moyenne des particules d'un gaz parfait à T ambiante ?
12 Quelles sont les hypothèses du modèle du gaz « parfait » ?
13 Donner l'équation d'état d'un gaz parfait.

14 Quand peut-on dire qu'un gaz réel se comporte comme un gaz parfait ? Pour répondre, on pourra s'appuyer sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron et d'Amagat.
15 Définir la capacité thermique à volume constant C_V, la capacité thermique molaire à volume constant C_{Vm}, et la capacité thermique massique à volume constant c_{Vmasse}. On donnera les unités de chacune de ces grandeurs. Quelle est la signification physique de C_{Vm} ? de c_{Vmasse} ?
16 Comment calculer la variation d'énergie interne ΔU lors d'une transformation **à volume constant** d'un système passant d'une température T_i à une température T_f, connaissant la capacité thermique à volume constant ?
17 Donner l'expression de l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique en fonction de n, R et T.
18 Donner l'expression de l'énergie interne molaire U_m d'un gaz parfait monoatomique. Commenter.
19 Donner l'expression de C_V et C_{Vm} pour un gaz parfait monoatomique.
20 Comment calculer la variation d'énergie interne ΔU lors d'une transformation **quelconque** d'un gaz parfait passant d'une température T_i à une température T_f, connaissant la capacité thermique à volume constant ? Même question si on connait $C_{Vm.}$
21 Quel est le volume molaire d'un gaz parfait à 20°C et 1bar ? Même question à 0°C et 1bar.
22 Que dire (en ODG) du volume molaire d'un gaz par rapport au volume molaire des solides et liquides ?
23 Que dire de l'énergie interne molaire U_m d'une phase condensée incompressible et indilatable ?
24 Donner la valeur numérique de la capacité thermique massique de l'eau.
25 Comment calculer la variation d'énergie interne ΔU lors d'une transformation **quelconque** d'un solide ou d'un liquide passant d'une température T_i à une température T_f, connaissant la capacité thermique à volume constant (que l'on considère indépendante de la température) ? Même question si on connait $C_{Vm,}$ et même question si on connait c_{Vmasse}.

Exercice 2 : Pluie tombant sur une vitre

Une vitre horizontale de surface S=1,0m² est atteinte par des gouttes de pluie tombant verticalement. Les gouttes ont une masse m=0,10g, une vitesse de v=2,0m.s^{-1} et possèdent une densité volumique n=500gouttes.m^{-3}. On suppose que les gouttes s'écrasent sur la vitre sans rebondir. On prendra $\vec{e_z}$ vers le bas.

1 Pour un choc, quelle est la quantité de mouvement $\Delta\vec{p}_{\text{VITRE, 1 CHOC}}$ reçue par la vitre ?
2 Combien de gouttes atteignent la vitre pendant dt ?
3 En déduire la pression exercée par les gouttes de pluie sur la vitre. Faire l'application numérique.

Exercice 3* : Effusion gazeuse

On considère un récipient constitué de deux compartiments de même volume V maintenus à la température T. À l'instant t=0, une mole (c'est-à-dire $\mathcal{N}_A$ particules) d'un gaz parfait remplit le compartiment (1), le compartiment (2) est vide et on perce un petit trou de section S entre les deux compartiments. On étudie le passage du gaz entre le compartiment (1) et le compartiment (2). On note $N_1(t)$ et $N_2(t)$ les nombres de particules dans les compartiments (1) et (2). Soit $(\vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z}$¿ un trièdre cartésien dont $\vec{e_x}$ est la normale au trou de section S. On suppose : - Que toutes les particules ont la même vitesse u ;
- Que les particules ne peuvent se déplacer que selon $\pm\vec{e_x}, \pm\vec{e_y}$ ou $\pm\vec{e_z}$.

1 Établir l'expression du nombre $dN_{1\to2}$ de molécules contenues dans le compartiment (1) à l'instant t et traversant la surface S vers le compartiment (2) entre les instants t et t+dt.
Indication : On pourra reprendre un raisonnement équivalent à celui du cours lors de l'établissement de la pression cinétique.
2 Même question pour le nombre $dN_{2\to1}$ de molécules contenues dans le compartiment (2) à l'instant t et traversant S vers le compartiment (1) entre les instants t et t+dt.
3 En déduire les expressions de $\frac{dN_1}{dt}$ et $\frac{dN_2}{dt}$ en fonction de N_1, N_2, S, u, et V.
4 En utilisant la conservation du nombre de particules, déterminer l'équation différentielle vérifiée par $N_1(t)$ et la résoudre. On fera apparaître une constante de temps τ caractéristique du phénomène observé dont on proposera une application numérique.
5 Même question pour $N_2(t)$.
6 En déduire la relation donnant la variation temporelle de la pression $P_1(t)$ dans l'enceinte 1. On posera P_0 la pression dans l'enceinte à t = 0.
7 Comment varie τ avec la masse des molécules selon le modèle du gaz parfait ?
8 L'hydrogène H possède un isotope utilisé pour la fusion thermonucléaire, le deutérium D dont le noyau est constitué d'un proton et d'un neutron. Expliquer brièvement comment on peut enrichir en dideutérium D_2 un mélange de dihydrogène H_2 et de dideutérium D_2 par effusion gazeuse.

Exercice 4: Energie interne

On donne $c_{V\text{eau liquide}}$=4,18.10^{3}J.K^{-1}.kg^{-1}, $c_{V\text{vapeur d'eau}}$ =1,85.10^{3}J.K^{-1}.kg^{-1}, et M_{eau}=18g.mol^{-1}.

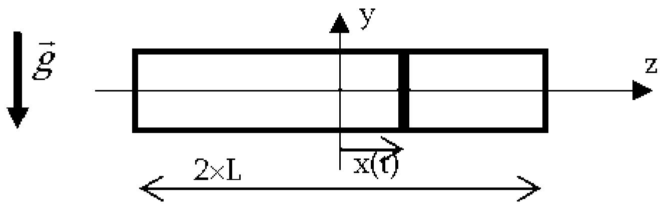
1 Calculer l'énergie qu'il faut fournir à pression atmosphérique pour porter à 100°C un volume de 25cL d'eau liquide initialement à 15°C.
2 Calculer l'énergie qu'il faut fournir à volume constant pour porter à 200°C une mole de vapeur d'eau initialement à 115°C.
3 Calculer l'énergie qu'il faut fournir à volume constant pour porter à 35°C une mole d'Hélium initialement à 10°C. On assimilera l'hélium à un gaz parfait.

Exercice 5 : Piston

Un cylindre vertical fermé aux deux bouts est séparé en deux compartiments égaux par un piston homogène, se déplaçant sans frottement. La masse du piston par unité de surface est σ = 1360kg.m^{-2}. Les deux compartiments contiennent un gaz parfait à la température T_1=0°C. La pression qui règne dans le compartiment supérieur est égale à P_H=0,133bar. On prendra g=9,8m.s^{-2}.

1 Exprimer puis calculer la pression P_B dans le compartiment du bas.
2 On porte les deux compartiments à T_2 = 100°C. De quelle distance se déplace le piston ?

Exercice 6: Oscillations d'un piston



Un tube cylindrique horizontal de section S et de longueur 2L, est séparé en deux compartiments par un piston de masse m, mobile sans frottement dans le tube. L'épaisseur de ce piston est négligeable par rapport à la longueur du tube.
Chaque compartiment ainsi délimité contient la même quantité d'un gaz parfait, à la température T_0 et sous pression initiale P_0. La position du piston dans le tube est repérée par son abscisse x(t) mesurée par rapport au milieu du tube. Lorsque le système est à l'équilibre, le piston est donc en x = 0. A la date t = 0, on écarte le piston d'une distante x(0) = d et on le lâche sans vitesse initiale. Le piston est assimilé à un point matériel. Le tube est fixe dans un référentiel d'étude supposé galiléen. De plus, on fait l'hypothèse que le gaz est maintenu à une température T_0 constante dans le temps.

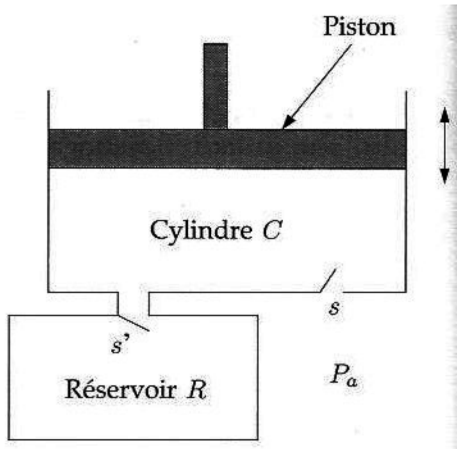
1 Etablir l'équation différentielle vérifiée par x(t).
2 On considère le cas de petits déplacements du piston : x(t) << L. Déterminer la période des oscillations.

Exercice 7* : Type concours - « résolution de problème »

A l'aide du tableau suivant, expliquer pourquoi il n'y a pas d'atmosphère sur Mars et sur Mercure.

Planète	Diamètre équatorial (km)	Rapport de la masse à celle de la Terre
Mercure	4878	0.055
Vénus	12 104	0.815
Terre	12 756	1
Mars	6794	0.107

Exercice 8 : Étude d'un compresseur



Un compresseur est constitué de la façon suivante : un piston se déplace dans un cylindre C qui communique par des soupapes S et S' respectivement avec l'atmosphère (pression P_a) et avec le réservoir R contenant l'air comprimé. Le réservoir R contient initialement de l'air considéré comme gaz parfait à la pression $P_0 \geq P_a$.
Compte-tenu des canalisations, le volume du réservoir R est V. Le volume offert au gaz dans C varie entre un volume maximum V_M et un volume minimal V_m, volume nuisible résultant de la nécessité d'allouer un certain espace à la soupape S.
La soupape S s'ouvre lorsque la pression atmosphérique P_a devient supérieure à la pression dans le cylindre C et se ferme pendant la descente du piston.
La soupape S' s'ouvre lorsque la pression dans le cylindre C devient supérieure à celle du gaz dans le réservoir R et se ferme pendant la montée du piston.
Au départ, le piston est dans sa position la plus haute ($V = V_M$), S' est fermée, S est ouverte et le volume V_M est empli d'air à la pression P_a.

1. a) En supposant que le piston se déplace assez lentement pour que l'air reste à température constante, calculer le volume V'_1 pour lequel S' s'ouvre en fonction de P_0, P_a et V_M.
   b) Calculer la pression P_1 dans le réservoir R après le premier aller et retour.
   c) En écrivant une condition sur V'_1, calculer la valeur P_{max} au-dessus de laquelle la pression ne peut pas monter dans le réservoir.
2. Montrer que la pression P_n dans le réservoir R après n allers et retours du piston est :

$$P_n=\left(\frac{V}{V_m+V}\right)^n\left(P_0-\frac{P_a V_M}{V_m}\right)+\frac{P_a V_M}{V_m}$$

<u>Donnée :</u> une suite dont la relation de récurrence est $u_{n+1}=a u_n+b$ a pour terme général $u_n=a^n(u_0-r)+r$ avec $r=\frac{b}{1-a}$.

3. Donner la valeur limite de P_n quand n >> 1. Comparer cette limite avec P_{max}.
4. Calculer P_1 et P_{max} avec V = 5 L, V_M = 0,25 L, V_m = 10 cm³, $P_0 = P_a$ = 1 bar.