Description microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

1. Équations d'état Parmi ces trois équations, lesquelles sont des équations d'état d'un fluide (a, b et c sont des constantes dont la dimension est adaptée) ?

$$\left(\mathrm{P}+\frac{a}{\mathrm{TV_m^2}}\right)(\mathrm{V_m}-b)=\mathrm{RT} \qquad \mathrm{PV}^{3/2}=c \qquad (\mathrm{P}+a)(\mathrm{V}-b)=\frac{\mathrm{RT}}{\mathrm{V}^2}$$

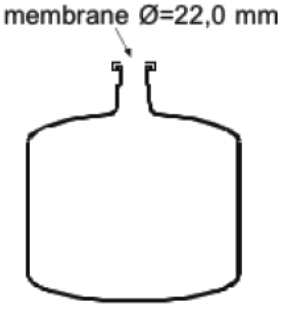
2. Stérilisation des cerises Vous cherchez dans la cave de votre grand-mère un bocal de cerises au sirop, mais même après avoir ouvert la fermeture du bocal, le couvercle ne s'ouvre pas. Pourquoi ? Expliquer ce qui se passe lors de la stérilisation (on plonge les bocaux dans de l'eau à 80-90°C) et pourquoi, après, l'ouverture des bocaux est tellement difficile. Faire un bilan des forces sur le couvercle.

3. Liens entre paramètres microscopiques et température

1. Un ballon de football se déplace à 20 m/s par rapport au sol . Comparez l'énergie cinétique microscopique de l'air contenu à l'intérieur (20°C) et l'énergie cinétique macroscopique de l'ensemble du gaz par rapport au sol.(Ceux qui en on assez du foot peuvent prendre une balle de volley ou de tennis).
2. Comparez l'énergie cinétique de translation des molécules d'un gaz et l'énergie de liaison entre deux atomes de la molécule (typiquement 300 kJ/mole). Conclusion : à partir de quelle température risque-t-on une rupture de liaison par chocs intermoléculaires ?
3. Des expériences de refroidissement d'atomes par laser permettent aux atomes d'atteindre des vitesses de l'ordre du $\mathrm{mm.s^{-1}}$. Quelle est la température associée du nuage de gaz ?

4. Soupape pour autocuiseur Une soupape de sécurité relâche la vapeur quand la pression dépasse 1,8 bar. Sachant que le diamètre du tube de sortie sur lequel repose la soupape ci-contre est de 1,5 mm, déterminez la masse de la soupape.

5. Réacteur de laboratoire bouché Un réacteur de laboratoire prévu pour les réactions sous pression est équipé d'une membrane de sécurité qui se rompt sous une force de 57,0 N. On le ferme hermétiquement sous une pression de 99,4 kPa et une température de 24,0°C. On chauffe le réacteur. À quelle température observera-t-on la rupture de la membrane ?



6. Dissociation du dibrome*

1. Quel est le volume occupé par 1,0 g de brome (molécule $\mathrm{Br_2}$) à 600°C sous la pression normale (1,0 bar) en supposant que c'est un gaz parfait ? On donne la masse molaire de l'élément Brome : $\mathrm{M_{Br}} = 80\ \mathrm{g.mol^{-1}}$. À cette température on peut négliger la dissociation des molécules.
2. Que deviendrait ce volume à 1600°C, toujours sous la pression normale, en supposant que l'on puisse encore négliger la dissociation ?
3. L'expérience montre que ce volume est en fait 1,195 L. Montrer que cela peut s'expliquer en considérant qu'une certaine proportion des molécules $\mathrm{Br_2}$ s'est dissociée en atomes Br. Calculer le coeffcient de dissociation (proportion des molécules dissociées).
4. Calculer la valeur de la constante d'équilibre de la réaction $\mathrm{Br_2} = 2\,\mathrm{Br}$ à cette température.

7. Où est la faute?* Pour justifier la relation entre la pression et la vitesse quadratique moyenne des molécules, un étudiant fait le raisonnement suivant. « Supposons qu'une augmentation de température entraine un doublement de la vitesse de chaque molécule (et donc un doublement de la vitesse quadratique moyenne). La variation de la quantité de mouvement d'une molécule lors d'un choc sur la paroi serait donc deux fois plus grande et donc la force exercée par chaque molécule heurtant la paroi serait multipliée par deux. La pression du gaz serait donc également multipliée par deux. »

8. QCM théorie cinétique des gaz

1. La force exercée par les molécules d'un gaz parfait sur les parois du récipient qui le contient est due
   (a) à l'attraction gravitationnelle des parois ;
   (b) à l'attraction coulombienne (électrostatique) entre les parois et les molécules de gaz ;
   (c) aux chocs entre les molécules et les parois ;
   (d) à la tension superficielle des parois ;
   (e) à l'attraction magnétique entre les parois et les molécules.
2. Les molécules d'un gaz ont à la température ordinaire (20°C) une énergie cinétique moyenne E. À la température de 300°C, celle d'un four de cuisinière, que vaut approximativement cette énergie cinétique ?

   (a) $E' = 2E$ (b) $E' = 5E$ (c) $E' = 10E$ (d) $E' = 20E$

   (e) Je n'ai pas assez d'éléments pour répondre à la question
3. Il n'y a pratiquement plus d'hydrogène dans l'atmosphère terrestre car les molécules de ce gaz :
   (a) ont une vitesse assez élevée pour échapper à l'attraction terrestre ;
   (b) ont été chassées par la force centrifuge (ou axifuge) due à la rotation de la terre ;
   (c) se sont combinées aux molécules d'oxygène, sous l'action des rayons UV, pour former de l'eau ;
   (d) ont été capturées par des météorites carbonées (chondrites) pour former des hydrocarbures) ;
   (e) n'ont jamais existé dans l'atmosphère terrestre.

9. Oui ou non ?

1. Deux récipients de tailles inégales contiennent le même nombre de moles d'argon à même T.
   (a) Les vitesses quadratiques moyennes des atomes sont les mêmes dans les deux récipients ?
   (b) L'énergie cinétique de l'argon est la même dans les deux récipients ?
   (c) La force due à l'impact d'un atome sur la paroi est la même dans les deux récipients ?
   (d) La fréquence des chocs sur les parois des récipients est la même ?
2. Deux récipients A et B, tels que $V_A = 2V_B$, $t_A = 27°C$, $t_B = 123°C$, contiennent le même nombre de moles d'argon.
   (a) Dans quel récipient la force due à l'impact d'un atome sur la paroi est-elle la plus grande ?
   (b) Dans quel récipient la fréquence des chocs sur les parois est-elle la plus grande ?
   (c) Dans quel récipient la pression est-elle la plus grande ?
3. Deux récipients aux mêmes pressions, températures et volumes contiennent le même nombre de moles l'un d'argon (M = 40 g/mol), l'autre d'hélium (M = 4 g/mol).
   (a) À 27řC la vitesse quadratique moyenne de chaque atome d'hélium vaut 926 m/s ?
   (b) La vitesse quadratique moyenne des atomes d'argon est-elle égale à la vitesse quadratique moyenne des atomes d'hélium ?
   (c) L'énergie cinétique moyenne de l'argon est-elle égale à celle de l'hélium ?

10. Pompage cryogénique : obtention de basses pressions* Une ampoule de 10 cm de rayon contient de l'eau sous une pression très faible de 0,10 mm de Hg et à 300 K. On refroidit un centimètre carré de la surface de l'ampoule à la température de l'azote liquide (77 K). Si on admet que les molécules d'eau qui frappent cette surface y restent toutes collées, combien de temps faut-il pour que la pression descende à la valeur 10^{-5} mm.Hg. Pour faire le calcul, on admettra que le résultat est le même qu'avec les hypothèses suivantes : gaz isotrope mais avec des vitesses dirigées suivant Ox, Oy ou Oz (Ox normal à la surface), et de module la vitesse quadratique moyenne u.

11. Vide intersidéral (ou pas)*

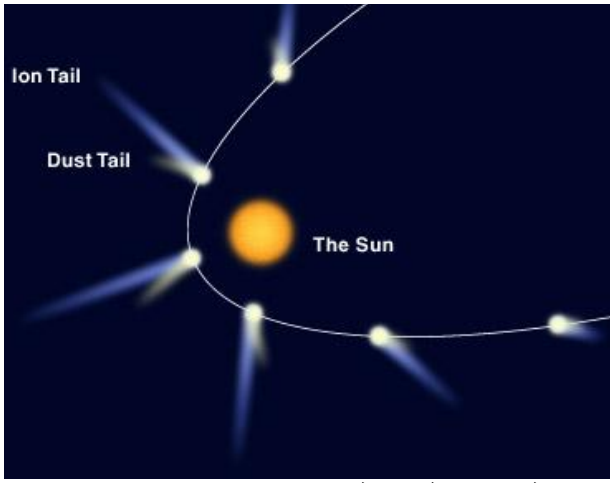
1. Le libre parcours moyen ℓ_m est la distance moyenne parcourue avant de subir une collision. Il peut être évalué par un modèle simple en fonction du diamètre d des atomes supposés sphériques et de la densité particulaire n^* en atomes par m^3. Son expression est $\ell_\mathrm{m} = \dfrac{1}{\pi d^2\, n^*} = \dfrac{k_\mathrm{B}\mathrm{T}}{\pi d^2\,\mathrm{P}}$. Commentez cette expression.
2. Le vide intersidéral (entre deux étoiles) n'est pas vide ; il contient quelques atomes, une dizaine par mètre cube, et la température y est de 3 K. Quel est l'ordre de grandeur du libre parcours moyen entre deux atomes et la durée entre deux chocs ? (en années lumière et en années).

12. Bouteille de plongée sous pression* Une bouteille d'air utilisée par un plongeur sous-marin est normalement remplie sous une pression de 20 MPa à 20°C. La soupape de sécurité est réglée pour s'ouvrir dès que la pression atteint 28 MPa. Si l'on assimile l'air dans la bouteille à un gaz parfait diatomique, la bouteille étant pleine et abandonnée au soleil, la soupape s'ouvrira pour une température de

(a) 62řC (b) 86řC (c) 104řC (d) 125řC (e) 137řC

13. Libre parcours moyen et probabilités** Soit un gaz renfermant N_0 molécules. On appelle $\mathrm{N}(x)$ le nombre de molécules se déplaçant de la distance x sans subir de collision. Le nombre de molécules dont le libre parcours moyen est compris entre x et $x+\mathrm{d}x$ vaut $\mathrm{dN} = -a\mathrm{N}(x)\,\mathrm{d}x$ (a est une constante appelée « probabilité de collision »)

1. Exprimer $\mathrm{N}(x)$ à l'aide de N_0 et a.
2. Donner le libre parcours moyen ℓ en fonction de a.
3. Tracer N/N_0 en fonction de $\mathrm{X} = x/\ell$.



14. Pression de radiation** Un pinceau lumineux de surface $\mathrm{dS} = 1\ \mathrm{cm}^2$ éclaire une paroi située en $z = 0$. La lumière est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500$ nm. Elle est constituée de photons. Chaque photon possède une énergie $\mathrm{E} = h\nu$ et une quantité de mouvement $\vec{p} = \dfrac{h\nu}{c}\vec{u}$, où $\vec{u}$ est un vecteur unitaire orienté dans la direction de propagation de la lumière. On suppose que la direction des photons peut être orientée suivant $\pm\vec{u_x}$, $\pm\vec{u_y}$ ou $\pm\vec{u_z}$ avec équiprobabilité. On notera n la densité de photons.

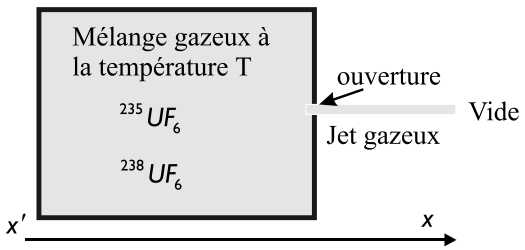
1. On suppose que les photons sont réfléchis par la paroi.
   (a) Combien de photons arrivent-ils sur la plaque pendant une durée $\mathrm{d}t$?
   (b) De combien varie la quantité de mouvement de la plaque pendant une durée $\mathrm{d}t$?
   (c) Que vaut la force exercée par les photons sur la plaque ? Que vaut la pression qui en résulte ?
2. Interprétez l'image ci dessus.

15. Pression exercée par la pluie** Des gouttes de pluie de masse $m = 0,10$ g et de vitesse $v = 2,0$ m.s^{-1} frappent la surface d'une vitre verticale de surface S = 2,0 m^2 en formant un angle $\alpha = 30°$ par rapport à la verticale en arrivant sur la vitre. La densité de gouttes est $n^* = 8,0.10^2$ gouttes.m^{-3}. On suppose que lors de leur choc sur la vitre, les gouttes rebondissent symétriquement en conservant leur énergie cinétique.

1. Combien de gouttes δN frappent la vitre pendant la durée δt ?
2. Exprimer la variation $\delta\vec{p}$ de la quantité de mouvement de ces δN gouttes au cours de leur rebond.
3. En déduire la pression P exercée par ces gouttes sur la vitre. La calculer.

16. Séparation isotopique par diffusion gazeuse** L'uranium naturel est à 99,3% sous forme de l'isotope 238, et à 0,7% sous forme de l'isotope fissile 235. Afin d'enrichir l'uranium en son isotope fissile, on peut utiliser des membranes percées de petits orifices, de sorte que les molécules les plus rapides aient plus de chance de traverser cette membrane. L'hexafluorure d'uranium UF_6 est assimilé à un gaz parfait.

1. Relier la vitesse quadratique moyenne $V = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$ d'une molécule de masse m d'un gaz parfait à la température de ce gaz.
2. On suppose que la paroi du récipient contenant le gaz UF_6 est percée d'un petit orifice, d'aire S. Cet orifice appartient à une paroi perpendiculaire à l'axe $\vec{e_x}$. La pression à l'extérieur du récipient est supposée nulle.
   Pour simplifier, on considèrera que la projection du vecteur vitesse d'une molécule sur un des trois axes supposés équivalents $\vec{e_x}$, $\vec{e_y}$ ou $\vec{e_z}$ ne peut prendre que deux valeurs : $\pm$V.



   Le récipient contient un mélange des deux gaz $^{235}UF_6$ et $^{238}UF_6$ sous la pression partielle respective p_{235} et p_238. Soit δN_{235} le nombre de molécules d'$^{235}UF_6$ qui traversent l'orifice pendant l'intervalle de temps dt et δN_{238} le nombre de molécules d'$^{238}UF_6$ qui traversent l'orifice pendant le même intervalle de temps. Montrer que $\dfrac{\delta N_{235}}{\delta N_{238}} = \left(\dfrac{M_{238}}{M_{235}}\right)^{\alpha}\left(\dfrac{p_{238}}{p_{235}}\right)^{\beta}$ où M_{235} est la masse molaire du gaz $^{235}UF_6$, et M_{238} est la masse molaire du gaz $^{238}UF_6$. On explicitera les exposants α et β.
3. Pourquoi utiliser de l'hexafluorure d'uranium plutôt que de l'hexachlorure d'uranium ?

17. 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 $\mathcal{N}_A$ molécules) 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), phénomène que l'on appelle *effusion gazeuse*. On note $N_1(t)$ et $N_2(t)$ les nombres de molécules 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 adopte pour le gaz parfait le même modèle simplifié que dans le cours.

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 $t + dt$. 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 $t + dt$.
2. En déduire les expressions de dN_1/dt et dN_2/dt en fonction de N_1, N_2, s, u et V.
3. Établir les expressions $N_1(t)$ et $N_2(t)$. Commenter les valeurs limites. Faire apparaître une constante de temps τ caractéristique du phénomène observé et proposer une application numérique. Comment pourrait-on accéder expérimentalement aux variations de $N_1(t)$ et $N_2(t)$ en fonction du temps t ?
4. Comment varie τ avec la masse des molécules ? 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.

♫