Examen Blanc

Exercice 1 *La Bougie de Lavoisier (11 points)*

Notation et variables utilisées (liste non exhaustive) :

ρ : Masse volumique de l'eau : 10^3 kg/m^3

g : Accélération de la pesanteur : 10 m/s^2

P_{atm} : Pression atmosphérique : 10^5 Pa

P : Pression du gaz dans le verre

T_0 : Température ambiante : 300 K

h : Différence de hauteur entre la surface de l'eau dans le récipient et dans le verre.

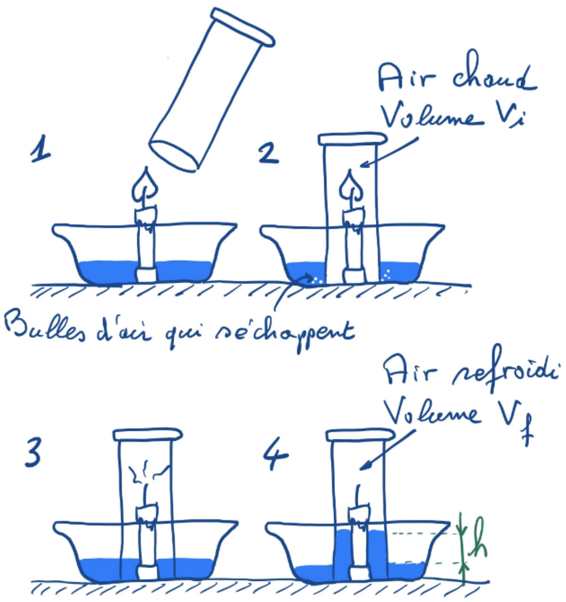
V_i : Volume initial de gaz dans le verre

V_f : Volume final de gaz dans le verre

V : Volume de gaz dans le verre

Dans tout le problème on suppose que tous les gaz se comportent comme des gaz parfaits et on néglige la pression partielle de vapeur de l'eau.

Depuis l'antiquité on connaît l'expérience suivante : On pose une bougie allumée dans un récipient dont le fond contient de l'eau. On recouvre la bougie avec un verre jusqu'à ce que le bord trempe dans l'eau. Après quelques secondes, la bougie s'éteint et de l'eau est aspirée dans le verre jusqu'à emplir environ 1/5 (20 %) du volume initial, V_i, de gaz (voir dessin). Cette expérience porte le nom de bougie de Lavoisier car il est le premier à en avoir donné l'interprétation correcte.



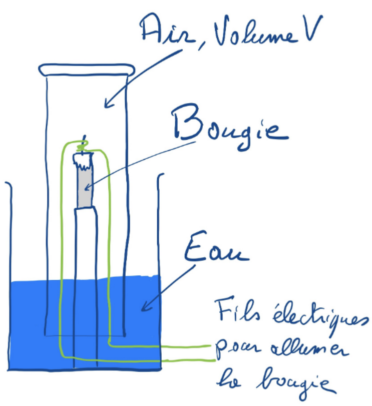
L'air est constitué pour 80 % de molécules d'azote N_2 et de 20 % de molécules d'oxygène O_2. Au début et à la fin de l'expérience la température est uniforme et égale à la température ambiante T_0.

1.a Montrer que, avec une bonne approximation, on peut considérer que la pression dans le verre est égale à la pression atmosphérique : $P \approx P_{atm}$.

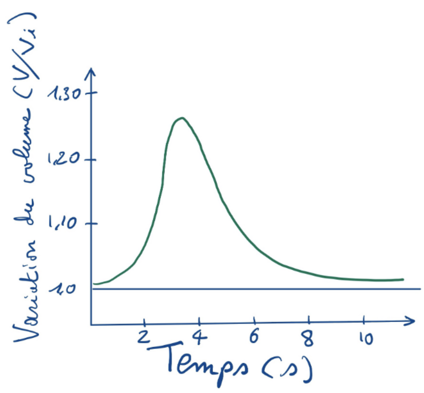
1.b La réaction de combustion dans la flamme de la bougie est : $C_{25}H_{52} + 38O_2 \rightarrow 25CO_2 + 26H_2O$. Une explication que l'on trouve couramment, encore maintenant, est que la diminution de 20 % du volume de gaz dans le verre correspond à l'oxygène qui a été consumé lors de la combustion de la bougie, puisque l'air contient 20 % d'oxygène. **Expliquez pourquoi cette explication est incorrecte.**

1.c En fait lorsque l'on pose le verre sur la bougie allumée on ne contrôle pas vraiment la quantité d'air emprisonné ni sa température. Lorsque l'on procède ainsi, le volume commence d'abord par augmenter à cause de l'élévation de la température et des gaz de combustion produits, et, du gaz s'échappe et $V \approx V_i$. **Exprimer la température, T, du gaz lorsque la bougie s'éteint, en fonction de T_0 et des volumes initial et final V_i et V_f. On supposera que le nombre de moles de gaz dans le verre est constant.**

1.d On refait l'expérience de manière mieux contrôlée en allumant la bougie avec un dispositif électrique après avoir positionné le verre. Le récipient est suffisamment long pour que l'air ne puisse pas s'échapper. **Si la combustion est complète (tout l'oxygène est consommé) à quelle variation de volume devrait on s'attendre ? On supposera que toute la vapeur d'eau produite s'est condensée en eau liquide.**



1.e Dans la pratique la variation du volume au cours du temps suit l'évolution décrite sur le dessin. Le volume commence par augmenter puis quand la bougie s'éteint il diminue et revient presque à la valeur initiale. **Expliquer l'augmentation initiale du volume puis sa décroissance.**



1.f Pour quelles raisons le volume final ne diminue pas autant que ce l'on attendait ?

1.g Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.

Exercice 2 *Le soufle de la baleine (21 points)*

Notation et variables utilisées (liste non exhaustive) :

ρ : Masse volumique de l'eau : 10^3 kg/m^3

g : Accélération de la pesanteur : 10 m/s^2

P_{atm} : Pression atmosphérique : 10^5 Pa

P : Pression du gaz dans les poumons de la baleine

T_0 : Température ambiante de l'air : 13 °C

T_b : Température interne de la baleine : 37 °C. On pendra $T_{0C} = 273$ K

z : Profondeur

V : Volume des poumons de la baleine à la surface

P : Pression du gaz dans les poumons de la baleine

V_{in} : Volume d'air inhalé par la baleine

V_a : Volume des poumons de la baleine en profondeur

h : Humidité de l'air dans les poumons de la baleine

P_{sat} : Pression de vapeur saturante de l'eau entre 0 et 20°C. $P_{sat} = (a + bT)$ Pa, avec a = 531 Pa et b = 86 Pa/°C et T exprimée en °C

γ : Coefficient adiabatique de l'air

γ_{eau} : Coefficient adiabatique de l'eau

T_{exp} : Température de l'air expiré

V_{exp} : Volume de l'air expiré

Dans tout le problème on suppose que tous les gaz se comportent comme des gaz parfaits.

Contrairement à une croyance très répandue, lorsqu'une baleine remonte à la surface pour respirer, le souffle bien connu qui ressemble à un jet d'eau n'est pas causé par de l'eau liquide crachée par la baleine. Dans ce problème, nous allons voir ce qui se produit.

Une baleine à la surface de l'océan a inspiré un volume V_{in} d'air à la température ambiante T_0. La baleine est un animal à sang chaud et sa température interne, T_b, est constante, ainsi que la température de l'air dans ses poumons.

2.a Quel est le volume d'air dans les poumons de la baleine, une fois celui-ci réchauffé à la température de la baleine. La pression de l'air dans les poumons est toujours égale à P_{atm}.

2.b La baleine plonge à une profondeur, z, de 390 m. Le volume de ses poumons est maintenant V_a. Exprimer et calculer le rapport V_a/V.

2.c La baleine reste un certain temps à cette profondeur. Pendant ce temps le processus de sa respiration génère du CO_2 et de la vapeur d'eau. Lorsqu'elle remonte à la surface l'air humide dans ses poumons (volume V et à P_{atm}) a un taux d'humidité de $h = 50\%$. La pression de vapeur saturante de l'eau suit la loi $P_{sat} = (a + bT)$ Pa, avec a = 531 Pa et b = 86 Pa/°C avec T exprimée en °C. **Quelle est la pression partielle de vapeur d'eau dans les poumons de la baleine .**

2.d Exprimer la température de rosée, T_r, de l'air dans les poumons de la baleine.

2.e Pour expirer cet air et le renouveler par de l'air frais, la baleine comprime l'air dans ses poumons à un volume $V' = V/k$ ($k = 5$) et expulse tout l'air vigoureusement. **Que vaut le coefficient adiabatique, γ, pour l'air sec, composé de molécules d'azote et d'oxygène. Expliquer votre réponse.**

2.f Que peut on dire du coefficient adiabatique, γ_{eau}, de la vapeur d'eau. Justifier votre réponse.

Dans la suite du problème on considérera $\gamma_{air\ humide} = \gamma$

2.g En supposant que lors de l'expiration, la transformation est adiabatique et réversible. Calculer la température, T_{exp}, et le volume final, V_{exp}, de l'air expiré en fonction de V, T_b, k et γ. On donne $5^{-2/7} = 0{,}63$.

2.h Calculez la variation d'entropie lors de cette transformation.

2.i En supposant que lors de l'expiration, la transformation est adiabatique et irréversible. Calculer la température, T'_{exp}, et le volume final, V'_{exp}, de l'air expiré en fonction de V, T_b, k et γ. On supposera que très peu de temps après la fin de la détente l'équation d'état du gaz redevient valable.

2.j Exprimer l'entropie interne crée lors de cette transformation en fonction de T'_{exp}, T_b, R, n le nombre de moles de gaz et γ. Expliquez le calcul.

2.k Comparer les valeurs des températures finales prédites avec la température de rosée. Conclure, que se passe t'il ?

2.l Sans faire de calcul que peut on dire la température finale de l'air expiré en tenant compte de la liquéfaction d'une partie de la vapeur d'eau en gouttelettes ? Justifier votre réponse.

2.m Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.

Exercice 3 *Cycle irréversible (18 points)*

Notation et variables utilisées (liste non exhaustive) :

V_A : Volume de l'état A : 1 m^3
P_A : Pression de l'état A : 2 bar
T_A : Température de l'état A : 2 bar
V_B : Volume de l'état B : 2 m^3
P_B : Pression de l'état B
T_B : Température de l'état B
V_C : Volume de l'état C
P_C : Pression de l'état C
T_C : Température de l'état C
f : Nombre de degrés de liberté des atomes du gaz (supposé constant)
Q_{BC} : Chaleur échangée lors de la transformation de B à C
Q_{CA} : Chaleur échangée lors de la transformation de C à A
η : Rendement du cycle
η_{max} : Rendement maximum
γ : Coefficient adiabatique de l'air
C_V : Capacité calorifique du gaz à volume constant.
C_p : Capacité calorifique du gaz à pression constante.
On prendra : 1 bar = 10^5 Pa

Note : aucune donnée ne manque pour résoudre ce problème.

Un gaz parfait monoatomique subit un cycle moteur ditherme (en contact avec deux thermostats) constitué d'une expansion adiabatique irréversible d'un état A de volume V_A = 1 m^3, et pression P_A = 2 bar vers un état B de volume V_B = 2 m^3, ensuite il subit une compression isobare réversible jusqu'à un état C puis une transformation isochore réversible jusqu'à l'état initial A. Au point B, le gaz est à l'équilibre thermodynamique.

3.a Représentez le cycle ABCA sur un diagramme p(V).

3.b Lors de l'expansion adiabatique, la variation d'énergie interne de A à B vaut $\Delta U_{AB} = -0{,}9 \cdot 10^5$ J, **calculez la pression du gaz en C en fonction de V_A, P_A, V_B et ΔU_{AB}.**

3.c Calculez les chaleurs échangées lors de l'isobare Q_{BC} et de l'isochore Q_{CA} en fonction de f, V_A, P_A, V_B, P_B, V_C et P_C.

3.d Identifiez les chaleurs échangées avec la source chaude, Q_c, et avec la source froide, Q_f.

3.e Exprimer le rendement, η, de ce cycle moteur.

3.f Quel serait le rendement maximum, η_{max}, possible ? Exprimer η_{max} en fonction de P_C et P_A. Commentez.

3.g Au lieu de connaître la variation d'énergie interne ΔU_{AB}, on connait maintenant la variation d'entropie ΔS_{AB}. Exprimer la pression du gaz en C en fonction de C_p, C_v, V_A, P_A, V_B et ΔS_{AB}.

3.h Montrez que pour une évolution adiabatique irréversible d'un gaz parfait la quantité PV^γ ne peut que croître. C'est à dire que $P_{fin}V_{fin}^\gamma = KP_{in}V_{in}^\gamma$ avec $K > 1$. Exprimez Ken fonction de l'entropie interne créée, S_{int}, et C_v.

3.i Sur le diagramme p(V) du cycle ABCA. Dessinez le cycle et l'allure de l'adiabatique réversible passant par le point A et positionnez correctement le point B par rapport à l'adiabatique réversible.

3.j Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.