Test blanc de Physique Générale II : Thermodynamique

Dr. Jérémy Genoud
Sections MT, EL et MX

Mercredi 7 mai 2025, 17h15 - 19h00

1 Cycle de Stirling

On s'intéresse à un moteur de Stirling fonctionnant avec une mole de gaz parfait. On rappelle que le cycle de Stirling est composé de deux isothermes et deux isochores. On appelle respectivement T_c et T_f les températures chaude et froide des isothermes. On notera A, B, C et D les points du cycle de manière que V_A soit le volume minimal et V_B le volume maximal.

(a) Tracez le cycle (réversible) dans un diagramme (p, V) ; identifiez le sens de parcours et les points ABCD.

(b) Le piston moteur (qui est en jeu dans les isothermes) subit maintenant un frottement sec. On suppose les coefficients de frottement statiques et dynamiques égaux ; les frottements se traduisent par une force de norme F durant tout le trajet du piston, qui se fait sur une longueur l. Les transformations sont quasi-statiques. On néglige la capacité calorifique du piston devant celle du gaz, que l'on note C_v. La partie mobile du piston est calorifugée, c'est à dire qu'elle ne permet pas d'échange de chaleur avec l'extérieur. Un régénérateur permet de recycler toute la chaleur entre les isochores.
La transformation le long des isothermes est-elle réversible ? Justifiez.

(c) Calculez les travaux W_AB et W_CD reçus par le gaz le long des isothermes, en tenant compte des frottements secs.

(d) Calculez Q et ΔU le long de ces mêmes isothermes.

(e) Calculez ΔS le long de ces mêmes isothermes.

(f) Calculez W, Q, ΔU et ΔS le long des isochores. *Les résultats sont à donner en fonction de V_A, V_B, T_f, T_c, C_v, F, l et R. Pour les calculs intermédiaires, on pourra noter P la pression du gaz et P_{ext} la pression appliquée sur le piston par l'extérieur.*

(g) Quelle est la condition sur F pour que le moteur fonctionne ? Que se passe-t-il sinon ?

(h) En supposant cette condition remplie, quelle est l'efficacité η du moteur ?

2 De la manière de stocker de l'essence

Deux amis se proposent de faire un voyage dans des régions isolées où les températures et la pression extérieures peuvent varier sur de grandes amplitudes. Ils planifient de prendre un supplément d'essence dans des bidons et discutent de la meilleures manière de les remplir pour éviter les risques de fuite dus à une surpression dans les bidons lorsque la température ou la pression extérieure changent. L'un propose de "laisser le plus petit volume de gaz possible dans le bidon afin de limiter l'augmentation de la pression dans le gaz lorsque la température augmente", le second de "laisser un grand volume de gaz afin d'accommoder la dilatation de l'essence liquide avec la température". Essayons de trouver la meilleure méthode.

Données et notations du problème :

Volume du bidon, V

Volume du gaz dans le bidon, V_g

Volume massique de l'essence liquide $v_L(T)$ et, v_{L0} à la température $T_0 = 10$°C

Masse molaire de l'essence, M

Volume massique de l'essence gazeuse, $v_g(T)$ et, v_{g0} à la température $T_0 = 10$°C ; avec $v_l \ll v_g$

Pression de vapeur saturante de l'essence $p_s(T)$ et, p_{s0} à la température $T_0 = 10$°C

Volume d'essence initialement versée dans le bidon, V_e

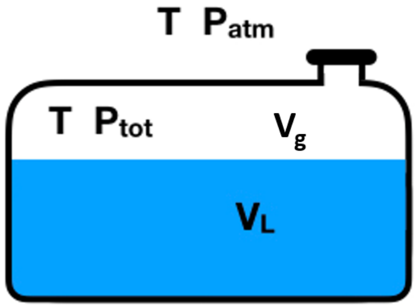
Volume d'essence sous forme liquide dans le bidon, V_L

Chaleur latente massique de vaporisation de l'essence L et, L_0 à la température T_0 =10°C

Coefficient de dilatation volumique de l'essence liquide $\alpha = \frac{1}{V_L}\left(\frac{\partial V_L}{\partial T}\right)_P = 10^{-3}$ K^{-1}

Dans tout le problème on considère que les phases gazeuses (air et vapeur d'essence) se comportent comme des gaz parfaits et que l'essence liquide est un fluide incompressible. On suppose aussi que l'on a toujours assez d'essence dans le bidon pour avoir la coexistence des deux phases liquides et gazeuses.

Lors du remplissage du bidon on verse $V_e < V$ essence liquide dans le bidon et le reste est rempli d'air à la température extérieure T_0 et à la pression atmosphérique $p_{\text{atm}} = 10^5$ Pa. On supposera que la quantité d'essence qui s'évapore est suffisamment faible pour pouvoir négliger la variation de la masse de l'essence sous forme liquide.



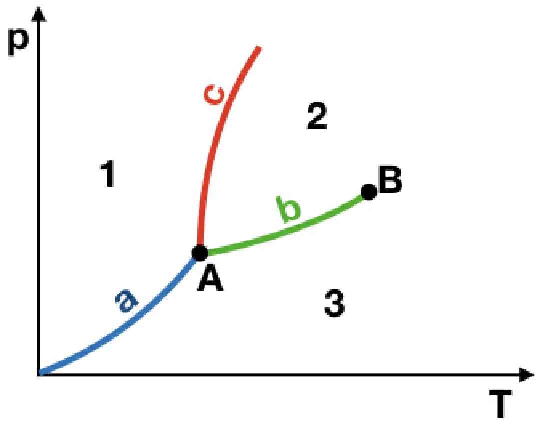
a) A l'équilibre, à la température initiale T_0, une fois le bidon refermé, quelles sont, dans le volume V_g :

— La pression partielle de l'air dans le bidon

— La pression partielle de la vapeur d'essence

— La pression totale

b) On s'intéresse maintenant à la variation de la pression de vapeur saturante $p_s(T)$ de l'essence en fonction de la température, T. On assimilera l'essence à un corps pur unique. Le diagramme $p-T$ du corps est représenté sur la figure ci-dessous.



— Comment se nomment les points A et B

— Indiquer les phases gazeuses, liquides et solides sur le dessin

— Indiquer sur le dessin où ont lieu les paliers de vaporisation, fusion et sublimation

— Pour une température donnée, comment lit on la pression de vapeur saturante du mélange liquide/gaz ?

c) exprimer $v_g(T)$ en fonction de $p_s(T)$, T, M et R la constante des gaz parfaits. On rappelle la relation de Clapeyron qui lie la pente de la courbe b à la température, aux volumes massiques des deux phases et la chaleur latente massique de changement d'état :

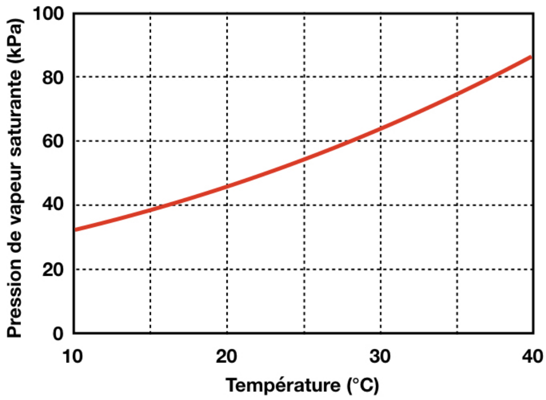
$$L_{l\to g} = T\,(v_g - v_l)\,\frac{dp_{g,l}}{dT}$$

En général la chaleur latente décroît linéairement avec la température avec une pente a : $L(T) = L_0 - a(T - T_0)$.

En déduire l'expression de $\ln\left(\frac{p_s(T)}{p_s(T_0)}\right)$ à une température T, en fonction de L_0, p_{s0}, M, a et R. Indication : on considérera $v_l \ll v_g$.

d) Pour la gamme de température considérée, on peut négliger la variation de L avec T ($a \simeq 0$), en déduire que $p_s(T)$ peut se mettre sous la forme $p_s(T) = p_s(T_0)e^{(B(1/T_0 - 1/T))}$. Expliciter B.

e) Pour de l'essence automobile on trouve $B = 3000$ K et la figure ci-dessous représente une courbe typique de $p_s(T)$. Que pouvez-vous dire concernant la contribution de la pression de vapeur saturante ? Est-ce que cette courbe est cohérente avec l'équation trouvée ?



f) Ecrire la pression totale, $p_{tot}(T)$, dans le bidon en fonction de la température T et des données du problème.

g) En déduire qu'il n'est pas judicieux de remplir le bidon à raz-bord.

h) Quelle est la condition à satisfaire sur V_g pour que l'effet de dilatation de l'essence soit négligeable.

Bonus 1 : Quelle serait une troisième méthode qui permettrait de s'affranchir du terme lié à la pression atmosphérique, P_{atm}, initiale de l'air.

Bonus 2 : Le carburant utilisé dans l'aviation est soumis à des amplitudes de température et de pression plus grandes, les normes concernant ces carburants sont plus exigeantes que pour de l'essence automobile et sont telles que (justifier) :

p_{s0} est	☐ plus petit	☐ plus grand
La température d'ébullition est	☐ plus petite	☐ plus grande