Premier principe de la thermodynamique : bilans d'énergie

1. Application directe None available

2. Application directe avec changement d'état https://youtu.be/EF_6YixS_1I

3. Richtig oder Falsch ? https://youtu.be/v2UXt1R2-tU

4. Bouilloire électrique None available

5. Four à micro-ondes None available

6. Détente isochore et table thermodynamique None available

7. Table à compléter* None available

8. Comparaison gaz parfait et gaz réel* https://youtu.be/EHy4fs2XCLs

9. Détente d'un gaz parfait (où peut-on appliquer $\Delta H = Q$?)* None available

10. Vaporisation isobare, vaporisation isochore*

1. Supposons que l'on ait affaire à un mélange liquide/vapeur. Alors, pour une pression de 10 bar = 1 MPa, on lit dans les tables que l'on doit avoir $T = 179{,}9°C$ et que le volume massique doit se situer entre $v_\ell = 1{,}127$ L/kg et $v_{vap} = 194{,}4$ L/kg. Or ici, le volume massique vaut $v = 10/0{,}1 = 100$ L/kg. On a bien un mélange liquide/vapeur et la fraction x en vapeur est telle que

$$v = x\, v_{vap} + (1-x)\, v_\ell \qquad \text{soit} \qquad x = \frac{v - v_\ell}{v_{vap} - v_\ell} = 51{,}2\% \qquad \text{et} \qquad \boxed{m_{vap} = x\, m = 51{,}2 \text{ g}}$$

2. **Chauffage isobare**
   (a) Lors du chauffage isobare, la dernière goutte de liquide disparaît lorsque $v = v_{vap} = 194{,}4$ L/kg. Comme on a alors une masse $m = 100$ g, on en déduit que

   $$\boxed{V = m\, v = 19{,}4 \text{ L}}$$

   (b) La transformation ayant été isobare, on a $Q = \Delta H$. Or la seule variation d'enthalpie est dû au changement d'état (puisque la température reste constante car la pression reste constante). Il a donc fallu vaporiser une masse $m - m_{vap}$ d'eau liquide et de ce fait

   $$\boxed{Q = \Delta H = (m - m_{vap})\left(h_{vap} - h_\ell\right) = 98{,}4 \text{ kJ}}$$

   où l'on a lu la valeur $h_{vap} - h_\ell = 2015{,}3$ kJ/kg dans la table thermodynamique à la ligne correspondant à 1 MPa de pression pour l'eau saturante.

   (c) Connaissant le transfert thermique reçu par le système et les tables permettant d'accéder à ΔU, l'application du premier principe de la thermodynamique permet d'obtenir

   $$\boxed{W = \Delta U - Q = (m - m_{vap})\left(u_{vap} - u_\ell\right) - Q = -9{,}45 \text{ kJ}}$$

où l'on a lu la valeur $u_{\text{vap}} - u_\ell = 1821{,}9$ kJ/kg dans la table thermodynamique à la ligne correspondant à 1 MPa de pression pour l'eau saturante. Le travail reçu étant négatif, il s'agit d'un travail moteur. C'est normal puisque le gaz constituant le système « pousse » pour augmenter son volume accessible de 10 L jusqu'à 19,4 L.

> Normalement, on devrait retrouver ce résultat en partant de la définition du travail pour évolution isobare qui vaut simplement
>
> $$\boxed{\mathrm{W} = -\mathrm{P}\,(\mathrm{V_F} - \mathrm{V_I}) = -10^6 \times (0{,}0194 - 0{,}0100) = -9{,}44\ \mathrm{kJ}}$$
>
> L'accord est plutôt bon...

3. **Chauffage isochore**

   (a) Cette fois-ci, comme l'évolution est isochore, le volume massique ($v = 100$ L/kg) ne change pas. Il faut donc rechercher dans les tables pour l'eau saturante le couple (pression,température) tel que la vapeur ait ce volume massique. On remarque alors que pour une pression $\mathrm{P_1} = 1{,}8$ MPa (de température $\mathrm{T_1} = 207{,}2$°C), on a un volume massique de la vapeur valant $v_1 = 110{,}4$ L/kg alors que pour une pression $\mathrm{P_2} = 2{,}0$ MPa (de température $\mathrm{T_2} = 212{,}4$°C), on a un volume massique de la vapeur valant $v_2 = 99{,}63$ L/kg. Trouvons la pondération α telle que

   $$v = \alpha\, v_1 + (1-\alpha)\, v_2 \qquad \text{soit} \qquad \alpha = \frac{v - v_2}{v_1 - v_2} = 0{,}03435$$

   (sans surprise, on retrouve que v est bien plus proche de v_2 que de v_1.)

   On en déduit que la pression finale vaut

   $$\boxed{\mathrm{P_f} = \alpha\,\mathrm{P_1} + (1-\alpha)\,\mathrm{P_2} = 1{,}993\ \mathrm{MPa}}$$

   de même, la température finale s'obtient par pondération

   $$\boxed{\mathrm{T_f} = \alpha\,\mathrm{T_1} + (1-\alpha)\,\mathrm{T_2} = 212{,}2°\mathrm{C}}$$

   (b) Comme l'évolution est isochore, le travail reçu est forcément nul et le premier principe permet d'écrire que $\Delta\mathrm{U} = \mathrm{W} + \mathrm{Q} = \mathrm{Q}$. Reste donc à trouver la variation d'énergie interne. Pour l'énergie finale, c'est facile : toute la masse est sous forme de vapeur dans l'état déterminé précédemment, c'est-à-dire à une pondération α entre $u_1 = 2598{,}4$ kJ/kg et $u_2 = 2600{,}3$. On en déduit

   $$\mathrm{U_f} = m \times (\alpha u_1 + (1-\alpha)\, u_2) = 260{,}0\ \mathrm{kJ}$$

   À l'état initial, il faut pondérer en fonction du taux en vapeur avec les valeurs lues à 1 MPa :

   $$\mathrm{U_i} = m\,(1-x)\, u_\ell + m\, x\, u_{\text{vap}} = 169{,}4\ \mathrm{kJ}$$

   On en déduit $\boxed{\mathrm{Q} = \mathrm{U_f} - \mathrm{U_i} = 90{,}7\ \mathrm{kJ}}$

4. Les transferts thermiques sont dans les deux cas du même ordre de grandeur (à 10% près). En revanche, dans un cas, on est capable de retirer du travail de la transformation (principe de la machine à vapeur...) alors que ce n'est pas le cas dans l'autre (si ce n'est que votre système risque l'explosion puisque la pression interne augmente, on passe tout de même de 10 à 20 bar...).

11. Distillation d'éthanol* None available

12. Calorimétrie : méthode des mélanges* None available

13. Conditionnement d'air en pays tropical* None available

14. Arrêt par sac de sable* https://youtu.be/xJEHK1ZSJ_4

1. Appliquons le premier principe dans sa version générale à l'ensemble {balle+sac}. Comme on néglige l'action des forces de frottement et qu'il n'y a pas de variation appréciable de volume, les travaux des forces non conservatives et de pression sont nuls. De plus, on néglige aussi les transfert thermiques avec l'extérieur. Ainsi,

$$\Delta E_{c,macro} + \Delta E_{p,macro} + \Delta U = W + Q = 0$$

soit $$\boxed{\Delta U = -\left(0 - \frac{1}{2}mv^2\right) - (M+m)gh = \frac{1}{2}mv^2 - (M+m)gh = 3{,}74\ \text{kJ}}$$

2. (a) Si la balle reste solide, sa variation d'énergie interne s'écrit

$$\Delta U_{balle} = m\,c_s\,(T_f - T_e) = m\,c_s\,(\theta_f - \theta_e) \qquad \text{d'où} \qquad \boxed{\theta_f = \theta_e + \frac{0{,}8\,\Delta U_{tot}}{m\,c_s} = 851°C}$$

Cette température étant supérieure à la température de fusion de la balle, le calcul ne peut être juste et il faut prendre en compte la fusion de la balle et le possible échauffement de la phase liquide si cette fusion est complète.

(b) Dans l'hypothèse d'une fusion complète, et comme pour une phase condensée $\Delta U \approx \Delta H$, on a

$$\Delta U_{balle} = m\,c_s\,(\theta_{fus} - \theta_e) + m\,L_f + m\,c_\ell\,(\theta_f - \theta_{fus})$$

soit $$\boxed{\theta_f = \theta_{fus} + \frac{\Delta U_{balle} - m\,c_s\,(\theta_{fus} - \theta_e) - m\,L_f}{m\,c_\ell} = 674°C}$$

La température trouvée étant bien supérieure à la température de fusion, l'hypothèse de fusion totale est donc bien vérifiée. On a bien déterminé complètement l'état final de la balle.

15. Lecture du diagramme enthalpique de R22* https://youtu.be/VSXKufMuzAY

16. Van der Waals et tables thermodynamiques* None available

17. Chauffage d'un gaz par une résistance** https://youtu.be/l_9Qz3iD6BQ

Considérons le système {gaz + résistance}. L'évolution du système est adiabatique ($Q = 0$), mais il reçoit à la fois un travail mécanique dû aux forces de pression par le piston ($W_{piston} = -P_0\,(V - V_0)$) et un travail électrique dû au générateur ($W_{géné} = \tau \times E^2/R_e$ car la résistance R_e est parcourue par un courant E/R_e durant le temps τ). Le premier principe s'écrit donc

$$\Delta U = W + Q = W_{piston} + W_{géné} + 0$$

Or la variation d'énergie interne (fonction extensive) est directement donnée par

$$\Delta U = \Delta U_{gaz} + \Delta U_{résistance} = C_V\,(T - T_0) + C\,(T - T_0)$$

Il ne reste plus qu'à remettre tout ensemble en utilisant la loi des gaz parfait $P_0V = nRT$ pour en tirer $T = T_0(V/V_0)$ (on élimine nR à partir de $P_0V_0 = nRT_0$) et on obtient

$$\boxed{V = V_0\,\frac{(C_V + C)T_0 + P_0V_0 + \tau \times E^2/R_e}{(C_V + C)T_0 + P_0V_0}}$$

On vérifie bien que si le temps de chauffe $\tau = 0$, on retrouve $V = V_0$.

Considérons à présent le système {résistance}. Le travail du générateur sert en partie à élever la température de la résistance de T_0 à T et en partie à être donné sous forme de transfert thermique au gaz. Comme la résistance donne ce transfert thermique Q_{gaz} au gaz, elle reçoit un transfert thermique $Q = -Q_{gaz}$, d'où l'écriture du premier principe sous la forme

$$C\,(T - T_0) = \Delta U_{\text{résistance}} = W_{\text{géné}} + Q = W_{\text{géné}} - Q_{gaz}$$

Considérons d'autre part le système {gaz}. Celui-ci reçoit un transfert thermique Q_{gaz} de la part de la résistance (interne au cylindre donc non arrêté par les parois adiabatiques) ainsi qu'un travail W_{piston} de la part du piston. Ainsi,

$$C_V\,(T - T_0) = \Delta U_{gaz} = W_{piston} + Q_{gaz} = W_{piston} + (W_{\text{géné}} - C\,(T - T_0))$$

On retombe sur la même équation que celle écrite précédemment, on retrouve donc la même expression de l'évolution du volume en fonction de τ... Ouf :)

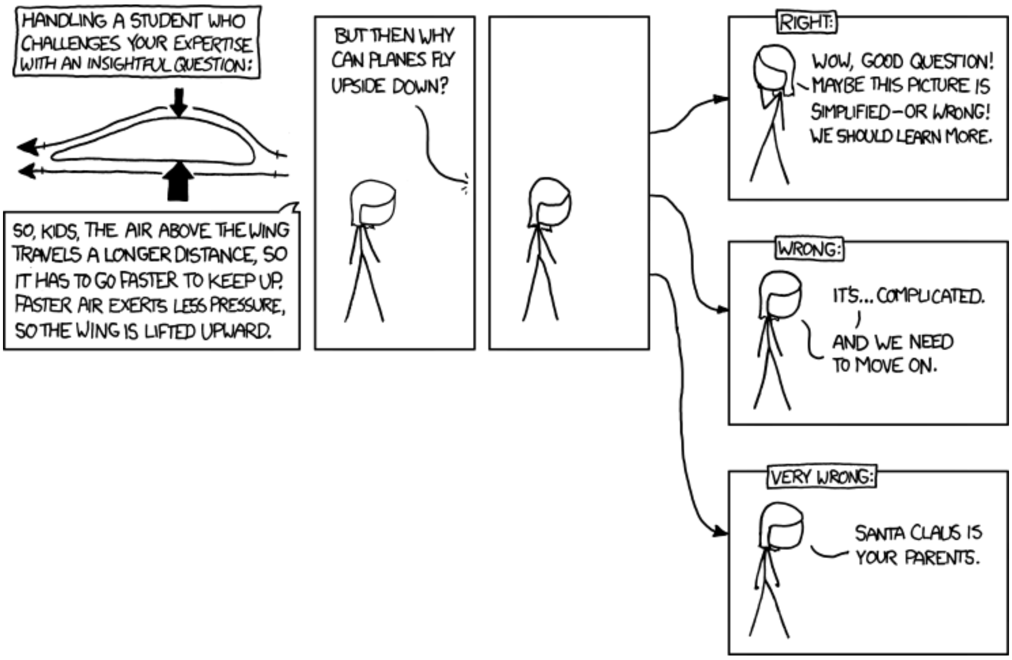
18. Fusil à air comprimé** https://youtu.be/JsFFXwHKTI4

19. Calorimétrie : méthode des débits** https://youtu.be/9MCBwedLapE

20. Histoires d'eau** https://youtu.be/46SQqQ29ECA

21. Expérience de Rüchardt*** https://youtu.be/bpd1lPgvZjI

22. Turboréacteur*** https://youtu.be/8zo83Ur1xWc



xkcd.com

This is a fun explanation to prepare your kids for; it's common and totally wrong.
Good lines include "why does the air have to travel on both sides at the same time?" and
"I saw the Wright brothers plane and those wings were curved the same on the top and bottom"

♫