Corrigé des exercices du cours n° 1

Exercice 1

l'eau bout à $T_{100} = 100\,°C$ (sous pression atmosphérique de 1013 mbars en toute rigueur.

Il faut donc que la température de l'eau s'élève de $\Delta T = T_{100} - T_{10} = 90\,°C$.

Mieux vaut utiliser les unités du système international (u.s.i), càd $\Delta T = 90\,K$

On a alors $\boxed{Q = m.c.\Delta T} = \boxed{\mu.V.\ c.\Delta T} = 1.1.1 \times 90 = 90\,kcal$

(attention : les unités utilisées dans cette dernière relation ne sont pas les unités s.i et leur emploi se justifie par les unités utilisées dans l'énoncé).

Exercice 2

On a vu à l'exercice 1 ci-dessus qu'il faut apporter une énergie de 90 kcal.

Une telle énergie correspond à $\boxed{Q = 90 \times 4180 \simeq 376{,}2\ kJ}$.

Une puissance P permet de délivrer cette énergie en une durée $\boxed{\Delta t = \dfrac{Q}{P}}$ secondes

$\Rightarrow \quad \Delta t = \dfrac{376{,}2 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} \simeq 376\ s$ (soit 6 minutes 16 secondes)

Remarquer que l'emploi des unités s.i est nécessaire (une puissance de 1 W correspond à une vitesse de transfert d'énergie de 1 J par seconde).

J'utilise cette formule pour retrouver la valeur de $c_{eau} = 4180$ u.s.i de l'eau en cours (je chronomètre la durée que met ma bouilloire électrique à bouillir : ça marche bien, même si les fuites de chaleur impose un $\Delta t > \Delta t$ théorique)

Exercice 3

si l'énergie W (potentielle) du ressort comprimé est supposée se convertir intégralement en chaleur (pas de pertes) alors on a un échauffement ΔT tel que $W = m.c.\Delta T$

c'à d. $\boxed{\Delta T = \dfrac{W}{m.c}} = \dfrac{000}{1 \times 4180} \simeq 1{,}9\,°C$ (ou 1,9 K)

Remarquer que la masse m de l'eau et que sa capacité calorifique massique ne sont pas des données de l'énoncé, de manière à forcer l'étudiant à les connaître par cœur (elles sont tellement courantes !).

<u>Attention</u> : il s'agit d'un échauffement et non de la température de l'eau !
(si elle était initialement à 20 °C alors elle passe à 21,9 °C)
En plus il s'agit ici d'une limite théorique (pas de pertes d'énergie dans la chaîne de transmission).

<u>Exercice 4</u>

le gaz possède une énergie interne $\boxed{U = \frac{3}{2} R T} = \frac{3}{2} \times 8{,}32 \times T_{25}$

avec $T_{25} = 25 + 273 = 298$ K on obtient $U \approx 3719$ J

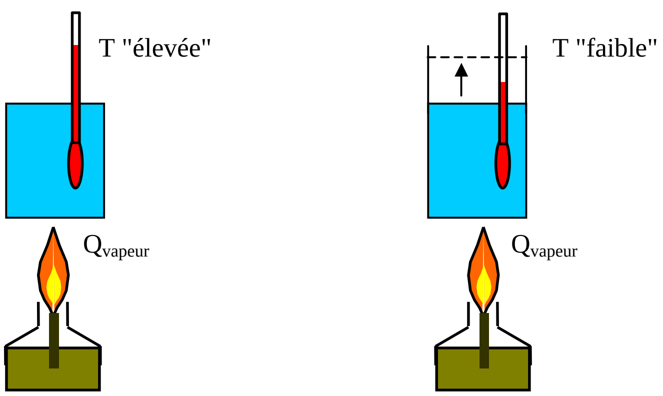
$\Rightarrow$ il ne peut pas fournir les 5000 J demandés

Exercice 5.

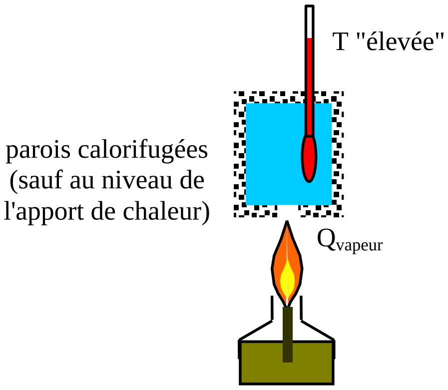
La quantité de chaleur totale Q_T dont nous disposons grâce à la combustion de l'essence doit nous servir à franchir 5 étapes :

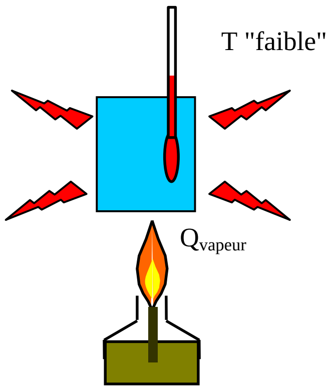
1/ chauffer la glace de –20°C à 0°C (la glace devient liquide à 0°C sous 1 bar de pression atmosphérique…voir le cours n° 6 pour plus de précisions), cela nécessite la quantité d'énergie (chaleur) $Q_{glace} = M \times C_{glace} \times \Delta T_{20}$
2/ faire fondre la glace $Q_{fusion} = M \times L_{fusion}$
3/ chauffer l'eau liquide de 0°C à 100°C (l'eau commence à bouillir à 100 °C sous 1 bar de pression atmosphérique). $Q_{eau} = M \times C_{eau} \times \Delta T_{100}$
4/ vaporiser l'eau liquide $Q_{vaporisation} = M \times L_{vaporistion}$
5/ chauffer la vapeur d'eau $Q_{vapeur} = M \times C_{vapeur} \times \Delta T$ avec $\Delta T \triangleq T - 100$ (si nous exprimons la température T en °C)

l'étape n° 5 mérite une réflexion : les 4 étapes précédentes se réalisent sous pression atmosphérique (1 bar environ, soit 1.10^5 Pa), qu'en est-il de la pression de la vapeur d'eau ? En effet, on conçoit intuitivement que si l'on chauffe une boîte fermée rigide (parois immobiles) remplie de vapeur d'eau, sa température augmentera plus vite que si l'on chauffe cette même boîte en autorisant une expansion de la vapeur (boîte à parois mobiles : un cylindre avec un couvercle qui coulisse…ou tout simplement la vapeur qui s'échappe dans l'air ambiant). En d'autres termes, pour une quantité de chaleur Q_{vapeur} donnée, il est probable que la température atteinte par la vapeur dans la boîte rigide sera plus élevée que dans la boîte à couvercle coulissant :

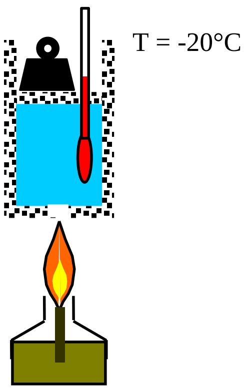


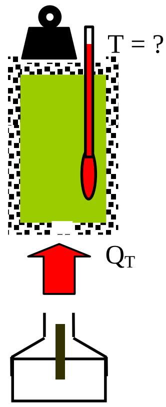
Cela implique d'ailleurs que la chaleur massique C qui intervient dans la relation $Q_{vapeur} = M \times C_{vapeur} \times \Delta T$ dépend des conditions de la vaporisation (il existe en fait, pour les gaz, un chaleur massique *à pression constante* différente d'une chaleur massique *à volume constant*). En outre si la boîte évacue sa chaleur à l'extérieur, sa température sera moins élevée que prévue, que la boîte soit coulissante ou non :





Bref, l'énoncé est (volontairement) muet à ce sujet, l'illustration qui en a été donnée était volontairement floue : il s'agit de bien concevoir le processus de vaporisation qui est nettement plus compliqué. La vaporisation à l'air libre est modélisable approximativement par une vaporisation dans une boîte coulissante avec pertes de chaleur très importantes (parois dites "diathermes"), ce qui implique une température de vapeur T rapidement égale à celle de l'air ambiant (20°C par exemple). Pour répondre à la question du sujet, on peut imaginer que tout le processus s'effectue à pression constante et enceinte calorifugée : boîte calorifugée à parois mobile sous pression constante de 1 bar (1 kg-force/cm^2, c'est-à-dire ≈ 10N/cm^2) :





Dans ce cas la chaleur massique de la vapeur d'eau à considérer est *la chaleur massique à pression constante C_P* (pour la vapeur enfermée dans une boîte rigide calorifugée il aurait fallu considérer *la chaleur massique à volume constant C_V*). Elle vaut $C_P \approx 2020$ J.K^{-1}kg^{-1} …celle donnée précisément dans l'énoncé (contre $C_V \approx 1990$ J.K^{-1}kg^{-1} : il faut moins de chaleur pour échauffer un gaz à volume constant qu'à pression constante, ce qui a été exposé précédemment). En réalité C_P (ou C_V) dépendent de la température de la vapeur…ne compliquons pas inutilement et supposons cette donnée indépendante de T.

On alors finalement :

$$Q_T = M \cdot C_{glace} \cdot \Delta T_{20} + M \cdot L_{fusion} + M \cdot C_{eau} \cdot \Delta T_{100} + M \cdot L_{vaporisation} + M \cdot C_P \cdot (T - 100)$$

d'où $$\boxed{T = \frac{(M_{ess} \times L_{ess}) - (M \cdot C_{glace} \cdot \Delta T_{20} + M \cdot L_{fusion} + M \cdot C_{eau} \cdot \Delta T_{100} + M \cdot L_{vaporisation})}{M \cdot C_P} + 100}$$

$$T = \frac{(0,26 \times 48.10^6) - (4 \times 2000 \times 20 + 4 \times 352 \cdot 10^3 + 4 \times 4185,5 \times 100 + 4 \times 2256 \cdot 10^3)}{4 \times 2020} + 100 \approx 26,5 + 100 \approx \mathbf{127\ °C}$$

Exercice 6.

1.

$Q = Q_{-10°\to 0°} + Q_L + Q_{0°\to 20°} \Rightarrow \boxed{Q = m.Cp.(T_{0°} - T_{-10°}) + m.L_{fusion} + m.Cp(T_{20°} - T_{0°})} \approx 1 \times 4{,}18.10^3 \times (273 - 263) + 1\times 333.10^3 + 1\times 4{,}18.10^3\times(293-273) \approx$ 458 kJ

Note : les températures sont exprimées en K, bien que la différence d'une température en ° C soit identique à la différence exprimée en K, cela permet de prendre une bonne habitude : toujours utiliser les unités du système international lorsqu'on n'est pas très habitué aux équations (= cas des élèves !).

2.

$\boxed{Q_{sup} = m.Cp.(T_{100°} - T_{20°}) + m.L_{vap} + m.Cp(T_{150°} - T_{100°})} \approx 1\times 4.18.10^3.(T_{100°} - T_{20°}) + 1 \times 2257.10^3 + 1 \times 4.18.10^3.(423 - 373) \approx$ 2,80 MJ.

Note 1 : la vaporisation nécessite $L_{vaporisation}/L_{fusion} \approx 7 \times$ plus de chaleur que la fusion pour une même masse !
Note 2: *à l'air libre* est souligné pour que l'on sache que l'eau liquide soumise à la pression atmosphérique "normale" boue à 100 °, la pression de la vapeur d'eau n'est cependant pas soumise à la pression de l'air car l'eau et l'air sont de nature chimique différente (eau ≈ H_2O et air ≈ N_2 essentiellement). Cela sera expliqué à l'exercice 2 du cours n° 6.

3.

Il faut apporter $\boxed{Q_T = Q + Q_{sup}} \approx 3{,}26$.MJ. Si l'on dispose d'une puissance P de 1kW, cette énergie est apportée en une durée $\boxed{\Delta t = \frac{Q_T}{P}} \approx \frac{3{,}26.10^6}{1.10^3} \approx 3{,}26.10^3$ s soit 54 min 19 s

Pour la transformation effectuée en 1 (pas de vaporisation), il faudrait $\boxed{\Delta t = \frac{Q}{P}} \approx \frac{458.10^3}{1.10^3} \approx 458$ s ≈ 7 min 38 s

Note 1 : ces temps sont réalisés si <u>toute</u> la chaleur fournie par le dispositif de chauffe est effectivement absorbée par l'eau (transformation dite "adiabatique"), ce qui, en réalité, est loin d'être le cas de la casserole de notre cuisine !
Note 2 : on retrouve ici l'idée que la vaporisation absorbe beaucoup d'énergie… ce principe est utilisé dans les réfrigérateurs (changement de phase). Cela sera détaillé aux cours 6 et 7.

4.

Les machines doivent être très puissantes (1 GW pour les centrales nucléaires) , surtout s'il y a vaporisation, pour que la transformation liquide→vapeur soit rapide. Le combustible, quant à lui, doit permettre la fourniture d'une quantité importante d'énergie pour réaliser la vaporisation : c'est le cas fréquent des centrales électriques (combustible = uranium par exemple) qui vaporisent l'eau afin qu'elle soit sous forme vapeur utilisable pour l'entraînement des turbines.

Exercice 7.

1.

la masse d'eau est connue puisque le volume d'eau est de 10 L ⇒ m ≈ 10,0 kg
$\Rightarrow \boxed{Q = m.C.\Delta T} \approx 10 \times 4{,}18.10^3 \times 50 \approx$ 2,09 MJ

2.

$P = U^2_{eff}/R \Rightarrow \boxed{R = \frac{U^2_{eff}}{P}} \approx \frac{230^2}{1.10^3} \approx$ 52,9 Ω et donc $\boxed{I = \frac{U^2_{eff}}{R}} \approx$ 4,35 A

3.

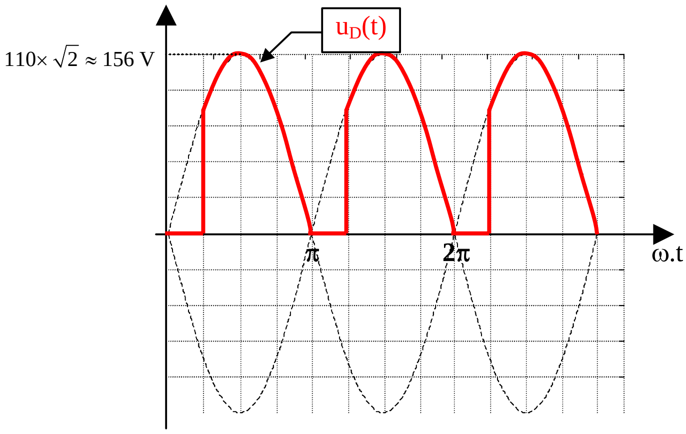
$P = E/\Delta t \Rightarrow \boxed{\Delta t = \frac{E}{P}} \approx \frac{2{,}09.10^6}{1.10^3} \approx 2090$ s, soit 34 min 50 s

4.

$\boxed{P = \frac{Q}{\Delta t}} \approx \frac{2{,}09.10^6}{8 \times 3600} \approx 72{,}6\ \text{W}$

5.

pour θ = π/ 4 par ex. :



Cette question est là pour rappeler aux BTS maintenance que les redresseurs commandés sont au programme !

6.

Le cours d'électricité donne $<u_D> = \frac{1+\cos\theta}{2} \times \frac{2.U_{max}}{\pi}$ or $<u_C> = <u_D> - <u_L> = <u_D>$ car $<u_L> = 0$ pour tout régime périodique, ainsi $\boxed{<u_C> = \frac{1+\cos\theta}{2} \times \frac{2.U_{max}}{\pi}} \approx \frac{1+\cos\theta}{2} \times \frac{2\times 110 \times \sqrt{2}}{\pi} \approx 49{,}5 \times (1+\cos\theta)$ [V]

Note : $<u_C> = u_C$ (lissage de la tension grâce au condensateur)

7.

$P_R = \left\langle \frac{u_C^2}{R} \right\rangle = \frac{1}{R}\left\langle u_C^2 \right\rangle$ car R est une constante $= \frac{1}{R} u_C^2$ car u_C est une constante, ainsi $\boxed{P_R = \frac{u_C^2}{R}} \approx \frac{\left[49{,}5 \cdot (1+\cos\theta)\right]^2}{52{,}9}$

$\approx 46{,}4 \times (1+\cos\theta)^2$

8.

On a $P = P_R$ (pas de pertes de puissance du pont, de l'inductance et du condensateur).

on a $(1+\cos\theta)^2 = \frac{P_R}{46{,}4} \Leftrightarrow \cos\theta = \sqrt{\frac{P_R}{46{,}4}} - 1$ d'où $\boxed{\theta = \arccos\left(\sqrt{\frac{P}{46{,}4}} - 1\right)} \approx \arccos\left(\sqrt{\frac{72{,}5}{46{,}4}} - 1\right) \approx 75{,}5°$

Remarque : ce problème, à quelques détails techniques près (j'ai utilisé des triacs en réalité), m'a été concrètement posé lorsque, étudiant, mes 2 voisins de palier et moi devions nous partager (en hiver surtout !) un abonnement de 3 kVA