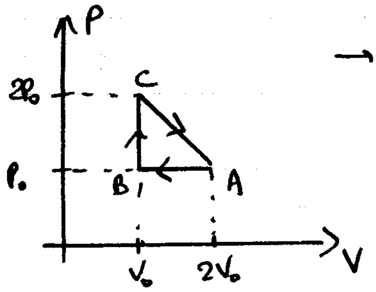
TD 24 MACHINES THERMIQUES
CORRIGÉ

EXERCICE 1 : voir cours

EXERCICE 2 : Calcul de rendement (1)



→ sens horaire : cycle MOTEUR → $\eta = \frac{-W}{Q_c}$ ← énergie à fournir sous forme de chaleur.

avec $-W$ = Aire du cycle
= (base × hauteur)/2
= $(2V_0 - V_0) \times (2P_0 - P_0)/2$

$$\Rightarrow \boxed{-W = \frac{P_0 V_0}{2}}$$

Déterminons Q_c et c'est bon ! en B, on a P_0, V_0, et T_0.
Température en C ? En C, on a V_0 et $\underline{\underline{2P_0}}$. or « $PV = nRT$ »

donc $(2P_0)(V_0) = nRT_C \Rightarrow T_C = \frac{2P_0V_0}{nR}$ or $T_0 = \frac{P_0V_0}{nR}$

$\Rightarrow T_C = 2T_0 > T_B$.

Température en A ? on a $2V_0$ et P_0 donc $(P_0)(2V_0) = nRT_A$

$\Rightarrow T_A = \frac{P_0 \times 2V_0}{nR} = 2T_0$.

On a $Q_{AB} \underset{\text{isobare}}{=} \Delta H = C_p \Delta T = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_B - T_A) = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_0 - 2T_0) < 0$.

→ énergie fournie par la machine à l'ext → pas intéressant pr le η.

De plus $Q_{BC} \underset{\text{isochore}}{=} \Delta U = C_v \Delta T = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_C - T_B) = \frac{nR}{\gamma - 1}(2T_0 - T_0) = \frac{nRT_0}{\gamma - 1}$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{BC} = \frac{P_0V_0}{\gamma - 1} > 0}$$

Enfin, $Q_{CA} = ?$ 1er ppe $\Rightarrow \Delta U_{cycle} = W_{cycle} + Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}$

Or cycle $\Rightarrow \Delta U_{cycle} = U_A - U_A = 0$

donc $Q_{CA} = -W_{cycle} - Q_{AB} - Q_{BC}$

$$= \frac{P_0V_0}{2} + \frac{\gamma nRT_0}{\gamma - 1} - \frac{P_0V_0}{\gamma - 1} = \frac{P_0V_0}{2} + \frac{\gamma}{\gamma - 1}P_0V_0 - \frac{P_0V_0}{\gamma - 1}$$

$$= P_0V_0\left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma - 1}{\gamma - 1}\right) \Rightarrow \boxed{Q_{CA} = \frac{3P_0V_0}{2} > 0}$$

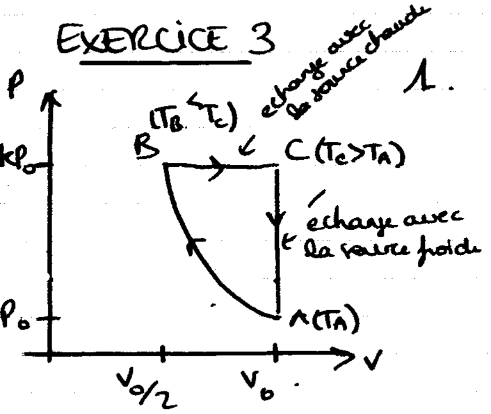
Donc $\eta = -\frac{W_{cycle}}{Q_{reçue}}$.

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_0V_0/2}{Q_{BC} + Q_{CA}} = \frac{P_0V_0/2}{\frac{P_0V_0}{\gamma - 1} + \frac{3P_0V_0}{2}} = \frac{1/2}{\frac{1}{\gamma - 1} + 3/2}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\gamma - 1}{2 + 3(\gamma - 1)} \Rightarrow \boxed{\eta = \frac{\gamma - 1}{3\gamma - 1}}$$

A.N. $\underline{\eta = 16,7\%}$

EXERCICE 3



1. Sens horaire : Cycle moteur.

$$\eta = \frac{-W_{CYCLE}}{Q_{\text{reçue par la machine}}}$$

On a $Q_{AB} = 0$ car adiabatique (réversible).

$$Q_{BC} \underset{\text{isobare}}{=} C_p \Delta T = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_C - T_B) > 0$$ donc $Q_{BC} = Q_c$.

et $Q_{CA} \underset{\text{isochore}}{=} C_v \Delta T = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_A - T_C) < 0$ donc $Q_{CA} = Q_f$

en effet : $\frac{P_0 V_0}{nR} = T_A$. Et $\frac{kP_0 V_0}{nR} = T_C = kT_A$ avec $k > 1 \Rightarrow T_C > T_A$.

de plus $kP_0 \times \frac{V_0}{2} = nRT_B \Rightarrow T_B = \frac{kP_0V_0}{nR} \times \frac{1}{2} = \frac{T_C}{2} \Rightarrow T_B < T_C$

enfin $-W = Q_c + Q_f$ (1er ppe)

$$\Rightarrow \eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{\frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_C)}{\frac{\gamma nR}{\gamma-1}(T_C - T_B)}$$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = 1 + \frac{T_A - T_C}{\gamma(T_C - T_B)}}$$

2. Exprimons toutes les températures en fonction de T_A.

AB → Adiabatique réversible d'un GP → Loi de Laplace applicable.

$$\Rightarrow T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Rightarrow T_B = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} T_A = \left(\frac{V_0}{V_0/2}\right)^{\gamma-1} T_A$$

$$\Rightarrow T_B = 2^{\gamma-1} T_A$$

or $T_B = \frac{T_C}{2}$ donc $T_C = 2T_B = 2 \times 2^{\gamma-1} T_A = 2^{\gamma} T_A$.

donc $$\eta = 1 + \frac{T_A(1 - 2^{\gamma})}{\gamma T_A(2^{\gamma} - 2^{\gamma-1})}$$.

or $2^{\gamma} - 2^{\gamma-1} = 2^{\gamma}\left(1 - \frac{2^{\gamma-1}}{2^{\gamma}}\right) = 2^{\gamma}\left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{2^{\gamma}}{2} = 2^{\gamma-1}$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = 1 + \frac{1 - 2^{\gamma}}{\gamma 2^{\gamma-1}}}$$ A.N. $\underline{\eta = 11\%}$

3. $\eta' = 1 - \frac{T_f}{T_C} = 1 - \frac{T_A}{T_C} = 1 - \frac{T_A}{2^{\gamma} T_A} \Rightarrow \boxed{\eta' = 1 - 2^{-\gamma}}$

(question un peu ambiguë, on choisit T_c et T_f les températures finales après les transfo avec les thermostats).

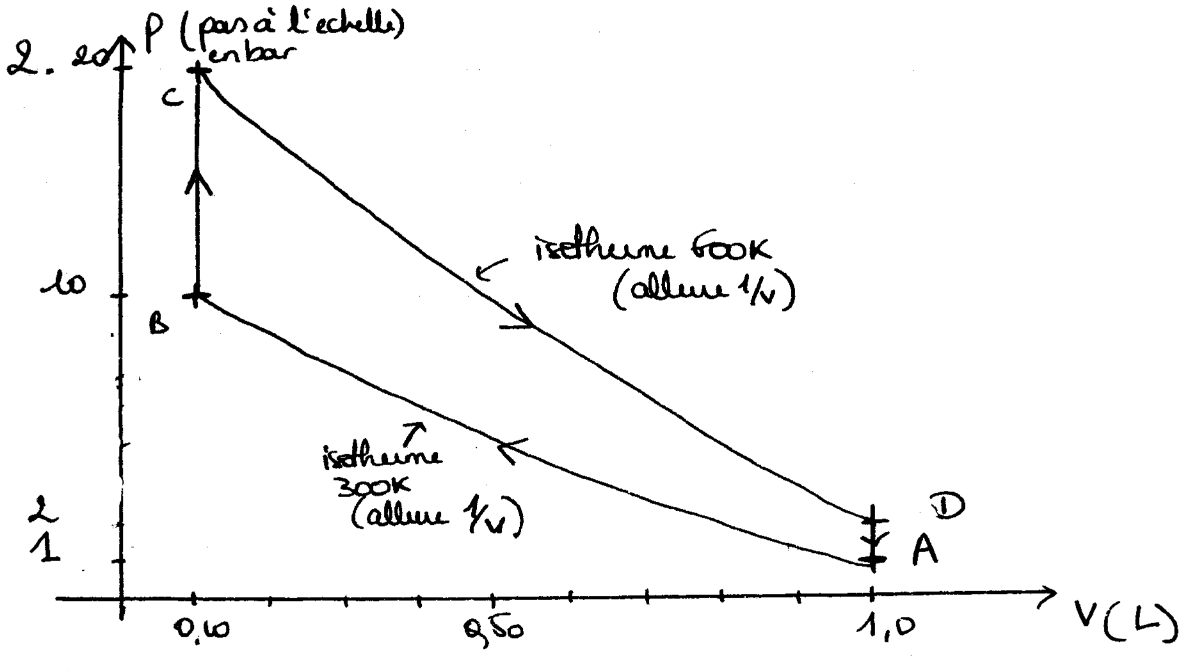
A.N. $\underline{\eta' = 62\%}$

EXERCICE 4 : Moteur de Stirling

1.

	P	V	T
ETAT A	$P_1 = 1 bar$	$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1}$ $\Rightarrow V_1 = 1,0 L.$	$T_1 = 300K$
ETAT B	$P_2 = \frac{nRT_1}{V_2} = \frac{nRT_1}{V_1} \times 10$ $\Rightarrow P_2 = 10 P_1$ $\Rightarrow P_2 = 10 bar$	$V_2 = \frac{V_1}{10} \Rightarrow$ $V_2 = 0,10 L$	$T_1 = 300K.$
ETAT C	$P_3 = \frac{nRT_2}{V_3}$ $\Rightarrow P_3 = \frac{nR \times 2T_1}{V_1} \times 10$ $\Rightarrow P_3 = 20 P_1$ donc $P_3 = 20 bar$	$V_c = V_2$ (isochore) $V_3 = 0,10 L$	$T_2 = 600K$
ETAT D	$P_4 = \frac{nRT_2}{V_4} = \frac{2nRT_1}{V_1}$ $\Rightarrow P_4 = 2P_1$ $\Rightarrow P_4 = 2 bar$	$V_4 = V_1 = 1,0 L$	$T_2 = 600K$

2.



Sens horaire → on sait que c'est un moteur car $dU = -\delta W$
$\Rightarrow$ aire $= -W > 0 \Rightarrow W < 0$.

3. Commençons par les travaux.

AB : isotherme réversible à T_1 $\Rightarrow$ $W = \int P_{ext}\, dV \underset{rev.}{=} \int -p\,dV \underset{GP}{=} \int -\frac{nRT}{V}\, dV$

$\Rightarrow$ $W \underset{isotherme}{=} -nRT_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \Rightarrow \underline{W_{AB} = 230\,J}$ (avec les bons c.s. $2{,}3 \cdot 10^2\,J$)

BC : isochore $\underline{W_{BC} = 0}$.

CD : isotherme rev à T_2 $\Rightarrow$ $W_{CD} = -nRT_2 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) = -459\,J$

$\Rightarrow$ $\underline{W_{CD} = -459\,J}$

DA : isochore $\Rightarrow$ $\underline{W_{DA} = 0}$

De plus, sur AB : $\Delta U_{AB} \underset{\text{isotherme GP}}{=} 0 \underset{1er\ ppe}{=} W_{AB} + Q_{AB} \Rightarrow \underline{Q_{AB} = -230\,J}$

Sur BC, isochore $\Rightarrow$ $\Delta U_{BC} = Q_{BC} \underset{GP}{=} \frac{nR}{\gamma - 1}(T_C - T_B)$

$\Rightarrow Q_{BC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_2 - T_1)$ A.N. $\underline{Q_{BC} = +249\,J}$.

Et, sur CD, $\Delta U_{CD} \underset{\text{isotherme GP}}{=} 0 = W_{CD} + Q_{CD} \Rightarrow \underline{Q_{CD} = +459\,J}$

Enfin, sur DA, $\Delta U_{DA} \underset{isochore}{=} Q_{DA} \underset{GP}{=} \frac{nR}{\gamma - 1}(T_A - T_D)$

A.N. $\underline{Q_{DA} = -249\,J}$

4. $W_{TOT} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = W_{AB} + W_{CD} = 230 - 459\,J < 0$

$\Rightarrow$ on a bien un cycle <u>MOTEUR</u>.

5. Ce système sur un cycle produit $-W_{CYCLE}$. Sur le plan énergétique, cela coûte $Q_{BC} + Q_{CD}$.

$\Rightarrow$ $\eta = \frac{-W_{CYCLE}}{Q_{BC} + Q_{CD}}$. A.N. $\eta = \frac{-(230 - 459)}{249 + 459} \Rightarrow \underline{\eta = 32\%}$

6. D'après le 2ème ppe : $\Delta S_{TOT} = S_{ech} + S_{créée}$

or $\Delta S_{TOT} = S_F - S_I = 0$ pour un cycle.

Donc $S_{créée_{TOT}} = -S_{ech_{TOT}}$

Or pour chaque étape, il est précisé que la machine est en contact avec un thermostat (m lors des isochores).

$\Rightarrow$ $S_{ech_{TOT}} = \frac{Q_{AB}}{T_1} + \frac{Q_{BC}}{T_2} + \frac{Q_{CD}}{T_2} + \frac{Q_{DA}}{T_1}$

$\Rightarrow$ A.N. $S_{ech_{TOT}} = -0{,}42\,J.K^{-1}$ donc $\underline{S_{créée} = +0{,}42\,J.K^{-1}}$

Cause d'irréversibilité ici → discontinuité de T lors des isochores à la frontière thermostat / Machine.

EXERCICE 5 : Moteur à explosion.

1. Sens horaire → moteur $\Rightarrow \eta = \frac{-W_{TOT}}{Q_c}$

on a $Q_c = Q_{CD}$ et $Q_f = Q_{EB}$. De plus, Q_{DE} et $Q_{BC} = 0$ car "adiabatique".

donc $\Delta U_{cycle} = U_B - U_B = 0 \underset{1er\ pp}{=} W_{TOT} + Q_c + Q_f + 0 + 0$.

$$\Rightarrow \quad -W_{TOT} = Q_c + Q_f .$$

$$\Rightarrow \quad \eta = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_{EB}}{Q_{CD}} .$$

or EB $\begin{cases} \text{isochore} \\ \text{GP} \end{cases} \Rightarrow \Delta U_{EB} \underset{GP}{=} \frac{nR}{\gamma - 1}(T_B - T_E) \underset{isochore}{=} Q_{EB}$

et CD $\begin{cases} \text{isochore} \\ \text{GP} \end{cases} \Rightarrow \Delta U_{CD} \underset{GP}{=} \frac{nR}{\gamma - 1}(T_D - T_C) \underset{isochore}{=} Q_{CD}$.

donc
$$\boxed{\eta = 1 + \frac{T_B - T_E}{T_D - T_C}}$$

2. $\alpha = \frac{V_2}{V_1}$. Adiabatique + réversible + GP sur BC et DE $\Rightarrow$ loi de Laplace applicable.

$\Rightarrow T_B V_B^{\gamma - 1} = T_C V_C^{\gamma - 1}$ et $T_D V_D^{\gamma - 1} = T_E V_E^{\gamma - 1}$

avec $V_B = V_2$ et $V_E = V_2$, $V_C = V_1$ et $V_D = V_1$.

$$\Rightarrow \quad T_C = T_B \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma - 1} = \alpha^{\gamma - 1} T_B$$

et

$$T_D = T_E \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma - 1} = \alpha^{\gamma - 1} T_E .$$

on en déduit $\eta = 1 + \frac{T_B - T_E}{\alpha^{\gamma - 1} T_E - \alpha^{\gamma - 1} T_B} = 1 + \frac{-(T_E - T_B)}{\alpha^{\gamma - 1}(T_E - T_B)}$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\eta = 1 - \alpha^{1 - \gamma}}$$

EXERCICE 6 : diagramme (P,h) de l'air

1. "Simple" lecture $T_A = 20°C$ $P_A = 1 \text{ bar}$

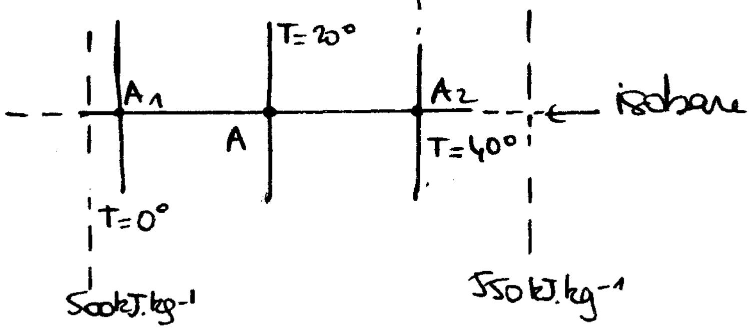
2. Pour un GP, 2ème loi de Joule, $H_m = H_m(T)$ soit $H = H(T)$ pour un système fermé.
donc $T = cste \Rightarrow H = cste$

→ Les isenthalpes et les isothermes sont toutes les deux "confondues" → exactement la m̂ allure VERTICALE.

On voit que les isothermes sont verticales seulement pour les "basses pressions" → $P \lesssim 1 \text{ bar}$.

↳ logique car le modèle du GP est valable à "basse pression".

3. on se met à pression constante (sur une horizontale) et on mesure
$$c_p = \frac{\Delta h}{\Delta T} \text{ au voisinage de A.}$$



$$\Rightarrow \quad c_p = \frac{543 - 502}{40 - 0}$$ ← lecture des valeurs en utilisant une règle et en déterminant l'échelle

$$\Rightarrow \quad \underline{c_p = 1{,}0.10^3 \ J.K^{-1}kg^{-1}}$$

4. GP → $C_p = \dfrac{\gamma n R}{\gamma - 1}$ $\Rightarrow$ $c_p = \dfrac{\gamma n R}{m(\gamma - 1)} = \dfrac{\gamma R}{M(\gamma - 1)}$

$\Rightarrow M c_p(\gamma - 1) = \gamma R \Rightarrow \gamma(R - M c_p) = - M c_p$.

$$\Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{M c_p}{M c_p - R}}$$

homogène. R en $J.K^{-1}.mol^{-1}$ et M en $kg.mol^{-1}$ donc Mc_p en $kg.mol^{-1}.J.K^{-1}kg^{-1}$ ↳ ok.

A.N. $\gamma = \dfrac{1{,}0.10^3 \times \ .10^{-3}}{1{,}0.10^3 \times \ .10^{-3} - 8{,}31} = 1{,}4$.

ET ÇA C'EST BEAU!

on retrouve $\gamma = \dfrac{7}{5} = 1{,}4$ → modèle du GP valable à Tamb et Pamb.

4. On relève P et v pour $T = -100°C$, $T = 0°C$, $T = 100°C$, $T = 200°C$.

Pour $T = -100°C$, on relève $P \cong 0{,}11$ bar et $v = 4{,}0\ m^3.kg^{-1}$

$$\Rightarrow \quad Pv^\gamma = (0{,}11.10^5) \times (4{,}0)^{1,4}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{Pv^\gamma = \quad .10^4 \text{ SI}}.$$

Pour $T = 0°C$, $Pv^\gamma \cong (0{,}6.10^5) \times (1{,}3)^{1,4}$

$$\Rightarrow \quad \underline{Pv^\gamma = 8{,}7.10^4 \text{ SI}}.$$

Pour $T = 100°$, $Pv^\gamma = (1{,}8.10^5)\ (0{,}6)^{1,4}$

$$\underline{Pv^\gamma = 8{,}8.10^4 \text{ SI}}.$$

Pour $T = 200°$, $Pv^\gamma = (4{,}2.10^5)(0{,}32)^{1,4}$

$$\Rightarrow \quad \underline{Pv^\gamma = 8{,}5.10^4 \text{ SI}}.$$

On estime les incertitudes à $\Delta(Pv^\gamma) \simeq 0{,}5.10^4$ SI (Il suffit de faire varier P de $0{,}1$ pour voir la différence énorme de Pv^γ.

$\Rightarrow$ on a bien $Pv^\gamma = cste$ avec l'incertitude estimée.

$\rightarrow$ On déduit des questions 3 et 4 que le modèle du GP est valable dans les conditions ambiantes.

N.B. Pour vérifier $Pv^\gamma = cste$, on pouvait aussi tracer sur Excel ou Regressi $P = f(v)$ avec P et v en échelle log.

EXERCICE 7 : Machine à vapeur

1. Voir Annexe. AB verticale car adiabatique réversible $\Rightarrow$ isentropique = vertical pour un liquide car $\Delta S = C\ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) \Leftrightarrow$ isotherme.

On a bien un <u>cycle moteur</u> car le cycle est parcouru dans le <u>sens horaire</u>.

2. Pour un fluide en mvt permanent,

$$\boxed{\Delta h + \Delta e_{c\,macro} \qquad = \underbrace{w_u}_{\substack{\text{travail utile} \\ \text{massique} \\ \text{(fourni par un opérateur)}}} + q}$$

transfert thermique massique.

3. Transfo AB adiab. $\rightarrow$ $\underline{q_{AB} = 0}$. De m̂ $\underline{q_{DE} = 0}$

de plus, on a $q_{BC} + w_{u_{BC}} = \Delta h$ (on considère Δe_c et $\Delta e_p \ll \Delta h$)

or $w_{uBC} = 0 \Rightarrow q_{BC} = \Delta h = q_{BC} = h_C - h_B = 851 - 228$

$\rightarrow q_{BC} = 623$ kJ. kg^{-1}

↑ faire une échelle et ne pas faire "à la louche"!

de plus $q_{CD} = h_D - h_C = 2781 - 851$

$\Rightarrow \underline{q_{CD} = 1930\ kJ.kg^{-1}}$

et enfin de la même manière $q_{EA} = h_A - h_E = 228 - 2140$

$\Rightarrow \underline{q_{EA} = -1912\ kJ.kg^{-1}}$

N.B. ⚠ Les incertitudes de lecture sont énormes ! En faisant le calcul plusieurs fois, on estime l'incertitude à

$$\Delta h = 10\ kJ.kg^{-1}$$

$$\Rightarrow \Delta q = \sqrt{2}\, q \simeq 15\ kJ.kg^{-1}$$

4. On en déduit $Q_c = \sum$ transferts thermiques > 0.
$Q_f = \sum$ " < 0.

$$\Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} Q_c = m(q_{BC} + q_{CD}) \\ \text{et } Q_f = m\, q_{EA} \end{array}}$$

5. $$\eta = \frac{-W}{Q_c} \underset{1er\ pp}{=} \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$$

donc $$\eta = 1 + \frac{m\, q_{EA}}{m(q_{BC} + q_{CD})}$$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = 1 + \frac{q_{EA}}{q_{BC} + q_{CD}}} \qquad \text{A.N. } \eta = 0{,}25 \ (25\%)$$

Avec une incertitude à calculer sachant que $\Delta q_{EA} = 15\ kJ.kg^{-1}$
$\Delta(q_{BC} + q_{CD}) = \sqrt{2} \times 15\ kJ.kg^{-1}$

et $$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta q_{EA}}{q_{EA}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(q_{BC} + q_{CD})}{q_{BC} + q_{CD}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \Delta \eta = 0{,}003 \quad \rightarrow \quad \underline{\eta = 0{,}250 \pm 0{,}003}$$

6. $$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_c} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow$$

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{60 + 273{,}15}{200 + 273{,}15} \Rightarrow \underline{\eta_{carnot} = 0{,}3}$$

⚠ Ici la conversion en K est INDISPENSABLE !

De plus, $Q_c = m(q_{BC} + q_{CD}) \rightarrow$ BCD se fait à $T_2 \rightarrow T_c = T_2$
$Q_f = m\, q_{EA} \rightarrow$ EA se fait à $T_1 \rightarrow T_f = T_1$.

7. La transformation BC est irréversible : l'eau liquide est mise en contact avec le thermostat T_2 alors qu'elle est à la température T_1 → discontinuité de T à la frontière Σ / extérieur.

EXERCICE 8 : Climatisation d'une voiture

1. Voir annexe.

2. Voir ex 1. Pour un GP, les isenthalpes sont confondues avec les isothermes (droites verticales) (cf 2ème loi de Joule).

↳ valable pour les "Basses" pression

⇒ modèle du GP valable pour $p \lesssim 20°C$.

Il faut aussi $h \geq 400 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (domaine gaz).

3. Voir annexe. On utilise une échelle pour relever h_1.

On lit $h_1 = 405 \pm 5 \text{ kJ.kg}^{-1}$ et $s_1 \simeq 1{,}73 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ $\pm 0{,}05 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

4. $P_2 = 6P_1$ A.N. $P_2 = 6 \times 3 \Rightarrow P_2 = 18 \text{ bar}$

Pour placer (2), on suit l'allure de l'isentropique la plus proche.
↑ car adiabatique réversible.

On relève $T_2 \cong 70°C$ et $h_2 \cong 440 \text{ kJ.kg}^{-1}$

5. 1er ppe $\Delta h + \underbrace{\Delta e_c}_{\ll \Delta h} = q + w_{u,m}$
$q = 0$ car adiabatique

$\Rightarrow w_{u,m} = \Delta h = h_2 - h_1$

$\Rightarrow w_{u,m} = 440 - 405 = 35 \text{ kJ.kg}^{-1}$ $(\pm \sqrt{2} \times 5 \text{ kJ.kg}^{-1})$

$w_u > 0$ → le système (fluide) reçoit de l'énergie sous forme de travail

6. On lit $h_3 = 285 \text{ kJ.kg}^{-1}$ $\pm 5 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (voir diagramme)

7. $\Delta h = q + w_u$
$q = 0$ "adiabatique"; $w_u = 0$ "sans travail autre que celui des forces de pression"

$\Rightarrow \Delta h = 0$ → isenthalpique $h_4 = h_3$

8. Voir diagramme $\Delta h = 0$ → droite verticale.

On relève $T_4 = 0°C$ et $x_4 = 0{,}45 \pm 0{,}05$

9. $h_1 - h_4 = q_e$ soit $q_e = 405 - 285 \Rightarrow q_e = 120 \text{ kJ.kg}^{-1}$ $(\pm \sqrt{2} \times 5 \text{ kJ.kg}^{-1})$

$q_e > 0$ → le fluide prend de l'énergie (s forme de chaleur) à l'air de l'intérieur de la voiture en s'évaporant → l'air intérieur du véhicule est refroidi.

10. $e = \dfrac{Q_f}{W}$ ← énergie utile / ← énergie coûteuse

d'après le schéma, $Q_f = m q_e$.

et $W = m w_{m,u}$ (dans le condenseur).

Donc, $\boxed{e = \frac{q_e}{w_{u,m}}}$ A.N. $e = \frac{120}{35} \simeq 3{,}4 > 1$.

incertitude $\Delta e = e\sqrt{\left(\frac{\Delta q}{q_e}\right)^2 + \left(\frac{\Delta w}{w}\right)^2}$ avec $\Delta q = \Delta w = 5\sqrt{2}\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

$\Rightarrow \Delta e = 0{,}7 \Rightarrow \underline{e = 3{,}4 \pm 0{,}7}$

11. $e_{carnot} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{60 + 273{,}15}{60 - 0} \Rightarrow \underline{e_{carnot} = 4{,}55}$. $\frac{e_{carnot}}{e} \simeq 1{,}3$

→ la machine réelle ne fonctionne pas selon un cycle réversible.

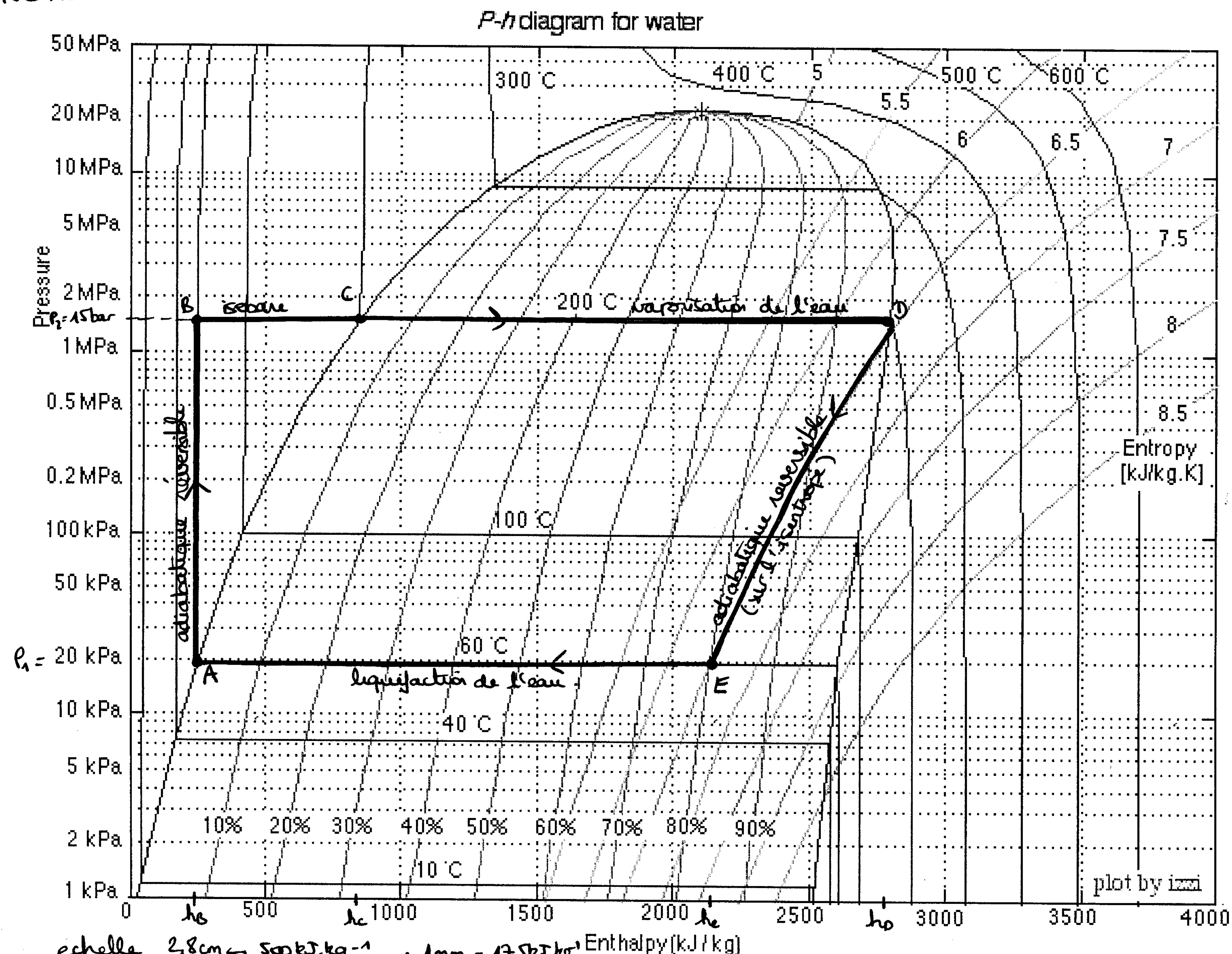
⇒ la transformation dans le détendeur est irréversible. (discontinuité de T à la frontière Σ/ext.)

12. Pendant une durée Δt, une masse de fluide $D_m \Delta t$ passe dans l'évaporateur. L'énergie prise à l'intérieur de la voiture est donc

$$Q_e = m q_e = D_m q_e \Delta t.$$

Donc $\boxed{\mathcal{P}_e = D_m q_e}$ $\Rightarrow$ $\underline{\mathcal{P}_e = 12\ \text{kW}}$

ANNEXE exercice 7



echelle 2,8 cm ↔ 500 kJ.kg-1 → 1 mm ≡ 17,5 kJ.kg-1

Annexe 4 : Etude de la climatisation d'une voiture : Diagramme (P, h) de HFC