Exercices Révision Thermodynamique

Exercice 6 : Cycle de Brayton

1 • Les données (T_1, P_1) permettent de placer le point 1 sur le diagramme.

• La compression $1 \to 2$ est adiabatique réversible donc on suit une courbe $s = cste$ (courbe en orange sur le diagramme).

• On sait qu'au point 2, la pression est de P_2 donc on peut placer le point 2.
On lit $\boxed{T_2 \simeq 300°C}$

---

2 De même, on place les points 3 et 4 sur le diagramme :

• $2 \to 3$ est isobare et $T_3 = 1300K \to$ On peut placer le point 3.

• $3 \to 4$ est isentropique donc on suit la courbe orange et $4 \to 1$ est une droite horizontale car isobare. L'intersection de ces 2 courbes donne le point 4 : $\boxed{T_4 = 450°C}$

---

3 Le système est ouvert ! Il faut donc utiliser le premier principe en version industrielle.

$\boxed{\Delta h = w + q}$ Pour l'étape $1 \to 2$: $\Delta h = w_{comp}$
Pour l'étape $3 \to 4$: $\Delta h = w_{turbine}$

On lit $w_C = h_2 - h_1 \simeq 270 \ kJ.kg^{-1}$

$$w_T = h_4 - h_3 \simeq -700 \ kJ.kg^{-1}$$

4 le travail fournit à l'extérieur est

$$\underline{-w_T - w_C = +430 \ kJ.kg^{-1}}$$

le transfert thermique reçu est $q_c = h_3 - h_2$

$\underline{q_c \simeq 850 \ kJ.kg^{-1}}$

D'où $\boxed{r = \dfrac{-w_{tot}}{q_c} = \dfrac{430}{850} \simeq 0,5}$

5 Les courbes isothermes sont équidistantes sur le diagramme, ce qui signifie qu'il faut fournir toujours la même variation d'enthalpie pour passer d'une température à une autre.

$\boxed{\Delta h = c_p \Delta T}$ donc ici on lit $\underline{c_p} \simeq \dfrac{1200 - 400}{750 - 0} \simeq \underline{1,14}$

$\underline{kJ.K^{-1}.kg^{-1}}$

Pour un gaz parfait diatomique, on s'attend à ce que

$c_p = c = \dfrac{R\gamma}{M(\gamma - 1)}$ avec $\gamma = 1,4$ et $M = 0,8 M_{N_2} + 0,2 M_{O_2}$

$\underline{c \simeq 1 \ kJ.K^{-1} kg^{-1}}$

Les 2 valeurs sont proche et c'est normal car on voit que les isothermes sont des droites verticales dans ce diagramme signe que h ne dépend que de T comme pour un GP.

Pour l'étape $1 \rightarrow 2$, la valeur donnée par la loi de

Laplace est $T_{2,L} = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1/\gamma} = 580\ K$
$\simeq 305\ °C$

cette valeur est très peu différente de la valeur que l'on obtient par lecture sur le diagramme.

Exercice 11 :

But : Chauffer la serre. La grandeur d'intérêt est donc $Q_1 + Q_2$ (Toute la chaleur que l'on envoi à la serre).

Grandeur coûteuse :

- Ici la Pompe à chaleur (PAC) fonctionne avec le travail du moteur. Donc pas de coût.
- La source froide du moteur et la source chaude de la PAC sont la serre et l'extérieur. Pas besoin de fournir de chaleur/d'énergie

$\Rightarrow$ Il ne reste que la source chaude du moteur, qui coûte de l'énergie. La grandeur coûteuse est donc Q'

$$\boxed{e_{tot} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q'}}$$

- Pour le moteur $\boxed{r = \frac{W}{Q'}} = 1 - \frac{T'}{T}$ (car réversible)
- Pour la PAC $\boxed{e = \frac{Q_2}{W}} = \frac{T}{T - T_0}$ (car réversible)

$r.e = \frac{Q_2}{Q'}$ et le moteur est cyclique donc

on a $Q' - Q_1 - W = 0$

d'où $\frac{Q_1}{Q'} = 1 - r$

- finalement $\boxed{e_{tot} = 1 - r + er = \frac{T}{T'} \frac{T' - T_0}{T - T_0} \geqslant 1}$
- le chauffage directement par la chaudière à une efficacité de 1 (Toute la chaleur que l'on fournit va dans la serre).

Exercice 5.9

1) $\vec{j_{th}} = -\lambda \vec{\nabla}(T)$

$$\boxed{\phi_{th}(r) = \iint_{\text{Sphère de rayon } r} \vec{dS} \cdot \vec{j_{th}}}$$

Dans l'énoncé, ce n'est pas clair si on veut le flux entrant ou sortant de la sphère.

2) Bilan de puissance pour l'élément de volume entre r et r+dr :

$$dP_{th} = p \cdot \frac{4\pi}{3}\left[(r+dr)^3 - r^3\right] + \phi_{th}(r) - \phi_{th}(r+dr)$$

$$\boxed{dP_{th} = p\, 4\pi r^2 dr - \frac{\partial \phi_{th}}{\partial r} dr}$$

Avec la convention de la normale sortante.

3) Régime Stationnaire ⇒ Température de l'élément de volume constante ⇒ $dP_{th} = 0$

$$4\pi r^2 p = \frac{\partial}{\partial r}\left(4\pi r^2 \cdot -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}\right)$$

$$C_1 + \frac{4\pi}{3} r^3 p = -4\pi r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r}$$

$$\boxed{-\frac{rp}{3\lambda} - \frac{C_1}{4\pi r^2 \lambda} = \frac{\partial T}{\partial r}}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} K_1 = -p/3\lambda \\ K_2 = \dfrac{-C_1}{4\pi r^2 \lambda} \end{array}}$$

4) $\phi_{th}(r=R) = P_{th}$: Toute l'énergie apportée à la brioche est évacuée en $r=R$ (car régime permanent).

et $P_{th} = \frac{4}{3}\pi R^3 p$ d'où $\boxed{p\frac{4}{3}\pi R^3 = \phi_{th}(R)}$

$$\phi_{th}(r) = -4\pi r^2 \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)(r) = -4\pi r^2 \lambda \left[K_1 r + \frac{K_2}{r^2}\right]$$

$$\phi_{th}(R) = -4\pi R^2 \lambda \left[K_1 R + \frac{K_2}{R^2}\right]$$

$$p\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R^3 p + \frac{C_1}{R^2}$$

Ici on a l'égalité seulement en $r = R$, mais en fait, cette égalité est valable $\forall r$. En effet

$\forall r$, la puissance créée dans la sphère de rayon r est $\frac{4}{3}\pi r^3 p$ et cette puissance sort par la surface de rayon r donc finalement :

$$\forall r : \frac{4}{3}\pi r^3 p = \frac{4}{3}\pi r^3 p + \frac{C_1}{r^2}$$

d'où $C_1 = 0 \Rightarrow \boxed{K_2 = 0}$

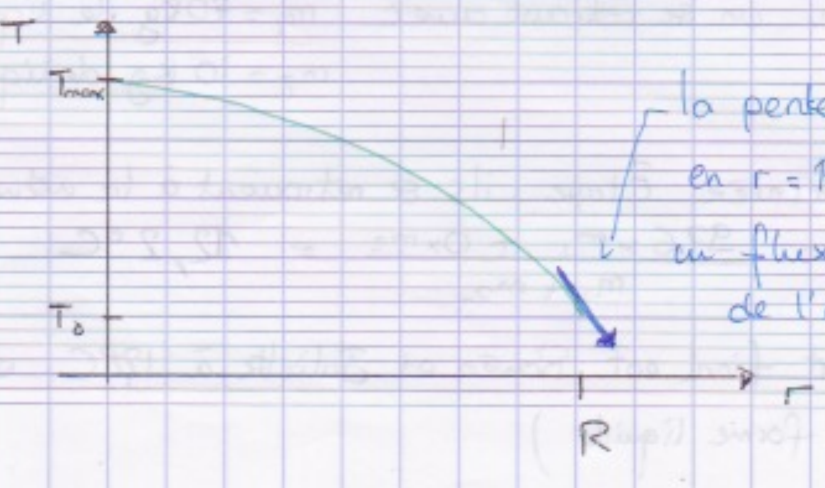
5°) Détermination de la température dans la brioche :

$$T(r) = K_1 \frac{r^2}{2} + C^{te}$$

$\underline{T(r=R) = T_0}$ d'où $C^{te} = T_0 - K_1 \frac{R^2}{2}$

$$\boxed{T(r) = T_0 + \frac{K_1}{2}\left(r^2 - R^2\right) = T_0 + \frac{p}{6\lambda}\left(R^2 - r^2\right)}$$

Température au centre de la brioche $T(0) = T_0 + \frac{pR^2}{6\lambda} = T_{max}$



la pente n'est pas nulle en $r = R$, signe qu'il existe un flux non nul au niveau de l'extérieur de la brioche

Changement d'état : L'histoire de Roméo et Juliette

Situation : Évolution isobare supposée calorifugée
=> Toute la chaleur servant à réchauffer Roméo provient de Juliette.

Ordre de Grandeurs :

- Fusion de R : $Q_1 = \Delta h = \ell_{fus} \times m_1 \simeq 23\,100$ kJ

À 100°C ~ • Liquéfaction de J : $Q_2 = \Delta h = -\ell_{vap}\, m_2 \simeq -22\,600$ kJ

- Passage de J de 120°C à 100°C $Q_3 = -2.10.20$ kJ
  $Q_3 = -400$ kJ

Donc $|Q_2 + Q_3| \simeq |Q_1| \Leftarrow$ le refroidissement de J de 120°C à 100°C ⊕ le changement d'état total de J de gaz à liquide dégage à peu près autant de chaleur que ~~pour~~ nécessaire pour transformer R en liquide.

Il manque $100\text{ kJ} = c_{liquide} \times m_2 \cdot \Delta T$

$$\Delta T = \frac{100\text{ kJ}}{4{,}2 \times 10} \simeq 2{,}4\text{ K}$$

Donc on se retrouve avec $m_1 = 70$ kg de liquide à 0°C
$m_2 = 10$ kg de liquide à 97,6°C

=> Dernière Étape : ils se retrouvent à la même température

$$T = \frac{97{,}6 \times m_1 + 0 \times m_2}{m_1 + m_2} = 12{,}2\text{°C}$$

L'état final est Roméo et Juliette à 12,2°C et à 1 bar.
(Sous forme liquide)