

Physique : DS4

Partie A – Assistance gravitationnelle (CCP-MP-2025)

Q27) TMC appliqué à la sonde: $\frac{d\vec{L}_S}{dt} = d\vec{L}_S(\vec{F}) = \vec{J}_P \wedge \vec{F}$

$$= \vec{J}_P \vec{u}_r \wedge F \vec{u}_r = \vec{0}$$

$\Rightarrow \vec{L}_S = \text{cste} \Rightarrow$ le mouvement est plan car $\vec{OM} \cdot \vec{L}_S = 0 \Rightarrow \vec{OM} \perp \vec{u}_z$

$$= \vec{J}_P \wedge \vec{u}_z(P)$$

$$= m r^2 \dot{\theta} \vec{u}_z$$

Donc $m r^2 \dot{\theta} = \text{cste} \Rightarrow \underline{C = r^2 \dot{\theta} = \text{cste}}$

Q28) Soit $d\epsilon_p = -\vec{F} \cdot d\vec{J}_P = GmM_S \frac{dr}{r^2} \Rightarrow \epsilon_p = -\frac{GmM_S}{r} + \text{cste}$

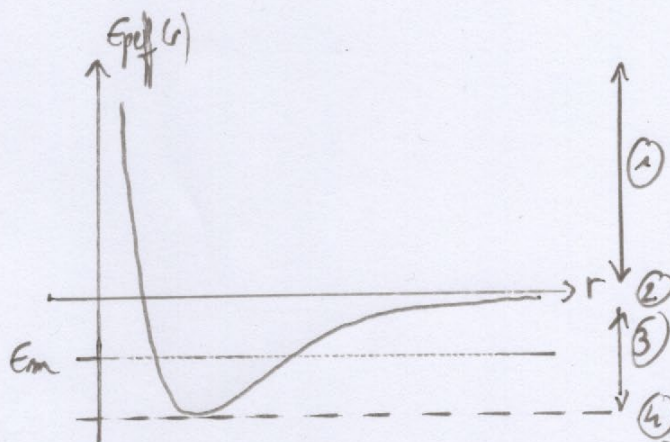
$\underbrace{\quad}_{=0 \text{ par convention.}} \quad \epsilon_p(r \rightarrow \infty) = 0$

Q29) Or $\epsilon_m = \epsilon_c + \epsilon_p$

$$= \frac{1}{2} m (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 + \dot{z}^2) - \frac{GmM_S}{r}$$

$$= \frac{1}{2} m \left(\dot{r}^2 + \frac{r^2 C^2}{r^4} + \dot{z}^2 \right) - \frac{GmM_S}{r} \quad \text{avec } \dot{z} = 0 \text{ (mvt plan)}$$

$\Rightarrow \underline{\epsilon_{\text{eff}}(r) = \frac{1}{2} m \frac{C^2}{r^2} - \frac{GmM_S}{r}}$ avec $\epsilon_m = \frac{1}{2} m \dot{r}^2 + \epsilon_{\text{eff}}(r)$



Cas 1 : Etat de diffusion : hyperbole.

Cas 2 : Etat de diffusion : parabole

Cas 3 : Etat lié : ellipse.

Cas 4 : Etat lié : cercle

Cas 5 : Etat impossible

Q30) Il faut une trajectoire parabolique c-à-d : $\epsilon_m = 0 \Rightarrow \underline{v_\ell = \sqrt{\frac{2GM_S}{R_S}}}$

Q31) dans le référentiel héliocentrique : $M_S \vec{a}(J) = \vec{F}_S(J)$

$$\Leftrightarrow -M_S d\Omega^2 = -G \frac{M_S M_S}{d^2}$$

$$\Leftrightarrow \Omega = \sqrt{\frac{GM_S}{d^3}}$$

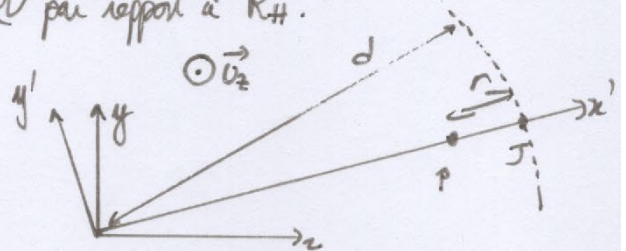
et $V_{S,h} = d\Omega = \sqrt{\frac{GM_S}{d}}$

Q32) R' est en rotation par rapport à R_H supposé galiléen

$\Rightarrow$ R' n'est donc pas galiléen car il n'est pas en TRV par rapport à R_H.

Q33) On travaille en R'NG d'où :

$$\left\{ \begin{array}{l} \cdot \vec{f}_{ic} = m\Omega^2(d-r)\vec{u}_x' \\ \cdot \vec{f}_{ic} = -2m\vec{\Omega} \wedge \underbrace{\vec{v}_r}_{=\vec{0}} = \vec{0} \\ \cdot \vec{F}_S = \frac{GmM_S}{r^2} \vec{u}_x' \quad (\Delta \text{ au signe}) \\ \cdot \vec{F}_S = -\frac{GmM_S}{(d-r)^2} \vec{u}_x' \end{array} \right.$$



Q34) si l'équilibre relatif la somme des forces est nulle :

$$-\frac{GmM_S}{(d-r)^2} + \frac{GM_S m}{r^2} + \frac{GmM_S(d-r)}{d^3} = 0$$

$$\Leftrightarrow M_S [(d-r)^3 r^2 + r^2 d^3] + M_S (d-r)^2 d^3 = 0$$

$$\Leftrightarrow \underline{M_S (d-r)^2 d^3 = -M_S r^2 (d^3 - (d-r)^3)}$$

• Donc $M_S \left(1 - \frac{r}{d}\right)^2 = -M_S \frac{r^2}{d^2} \left(1 - \left(1 - \left(1 - \frac{r}{d}\right)^3\right)\right)$

D.L $\Rightarrow M_S \left(1 - 2\frac{r}{d}\right) = -M_S \frac{r^2}{d^2} \left(1 - 1 + 3\frac{r}{d}\right)$

or $\frac{2r}{d} \ll 1$ d'où : $M_J \sim 3 \frac{r^3}{d^3} M_S$

d'où $r_H = d \sqrt[3]{\frac{M_J}{3M_S}}$

Q35) la seule force présente est la force gravitationnelle qui est conservative donc :

$$E_{me} = E_{ms} \text{ où } E_{pe} = E_{ps}$$

$$\Rightarrow E_{ce} = E_{cs} \text{ donc } \underline{v_{e,j} = v_{s,j} = v_j}$$

Q36) la sonde arrive et repart vers l' ∞ donc elle est dans un état de diffusion, hyperbole ou parabole

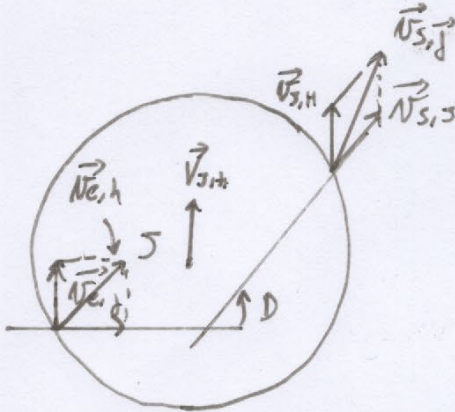
$$\Rightarrow v_j > v_e$$

$$\Rightarrow \underline{v_j > \sqrt{\frac{GM_S}{r_H}} = 2,2 \text{ km/s}}$$

Q37) On note $\vec{V}_{J,H}$ la vitesse d'entraînement d'où :

$$\vec{v}_{e,h} = \vec{v}_{e,j} + \vec{V}_{J,H} \text{ et } \vec{v}_{s,h} = \vec{v}_{s,j} + \vec{V}_{J,H}$$

Q38)



Q39) Soit $\vec{v}_{s,j} = v_{sj} \cos D \vec{u}_x + v_{sj} \sin D \vec{u}_y$

$$\Rightarrow v_{s,h} = \sqrt{(v_{sj} \cos D)^2 + (v_{sj} \sin D + v_{j,h})^2}$$

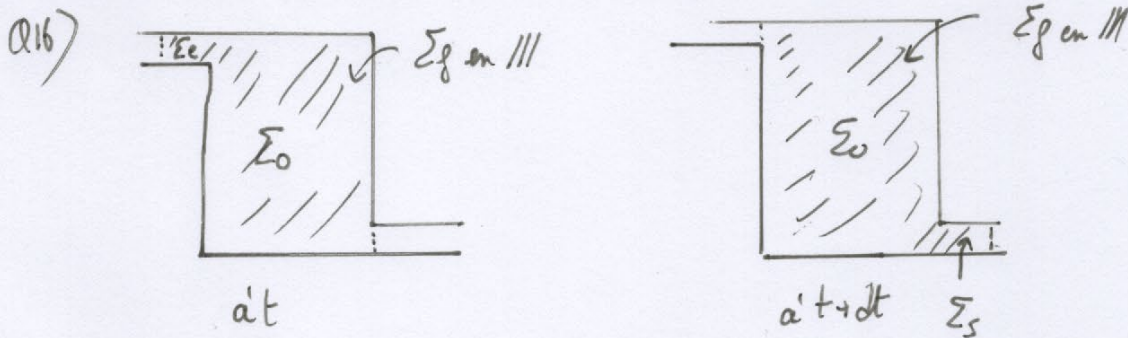
$$\text{et } v_{e,h} = \sqrt{v_{j,h}^2 + v_{e,j}^2}$$

Q40) A.N : $v_{e,h} = 16 \text{ km/s}$ et $v_{s,h} = 22 \text{ km/s} \Rightarrow \underline{v_R = 6 \text{ km/s}}$ et $\Delta E_{ch} = 8,1 \cdot 10^9 \text{ J}$

Q41) Δv (assistance gravitationnelle) $>$ Δv (propulseur) $\Rightarrow$ l'assistance

Partie B : Circuit secondaire (CCS-PSI-2024)

Partie B: Centrale nucléaire (CCS-PSI-2024)



On applique le 1^{er} PP au système fermé Σ_g entre t et $t+dt$.

On pose $\underline{U} = U + \epsilon_c + \epsilon_p$

$$\Rightarrow d\underline{U} = \delta W' + \delta W_p + \delta Q$$

or $\delta W_p = -p_s dV_s + p_e dV_e$

$$\text{d'où } d\underline{U} + p_s dV_s - p_e dV_e = \delta W' + \delta Q$$

$$\Leftrightarrow (d\underline{U}_{\Sigma_0} + \delta m_s u_s - \delta m_e u_e) + p_s \delta m_s v_s - p_e \delta m_e v_e = \delta W' + \delta Q$$

On se place en régime stationnaire : $\begin{cases} d\underline{U}_{\Sigma_0} = 0 \\ \delta m_s = \delta m_e = \delta m \end{cases}$

$$\text{donc } (\underline{u}_s + p_s v_s) - (\underline{u}_e + p_e v_e) = \frac{\delta W'}{\delta m} + \frac{\delta Q}{\delta m}$$

$$= w' + q$$

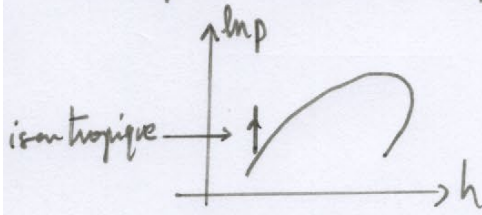
or $\int \underline{h} = \underline{u} + p v$
 et $\delta m = 0$ $\Rightarrow \underline{h}_s - \underline{h}_e = w' + q$

Q17) Pour une phase condensée : $\Delta s = c \ln \left(\frac{T_{\text{sortie}}}{T_{\text{entrée}}} \right) = 0$ pour la pompe

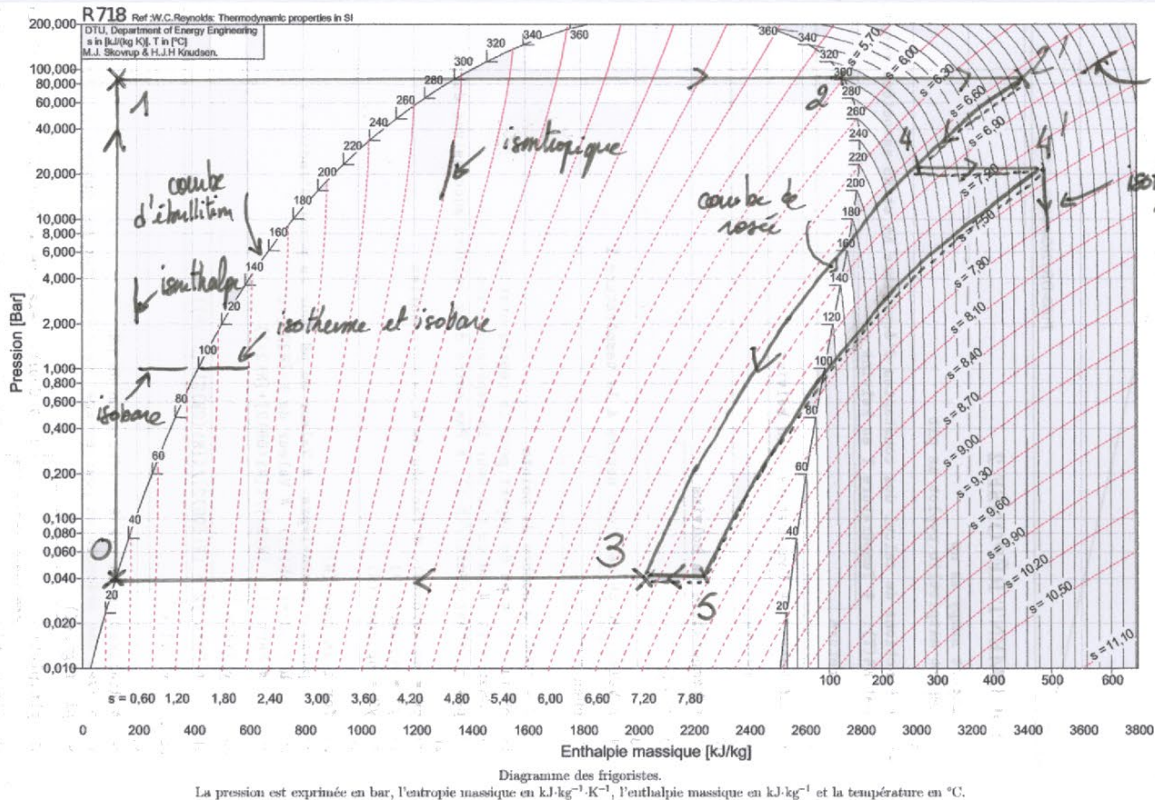
donc $T_{\text{sortie}}(\text{pompe}) = T_{\text{entrée}}(\text{pompe}) \Rightarrow \underline{T}_0 \sim \underline{T}_1$

de plus $\Delta h = c \Delta T \Rightarrow \underline{h}_1 \sim \underline{h}_0$

donc pour évolution isentropique $\Delta h = 0 \Rightarrow$ donc ce sont des droites verticales



Q18) q Annexe



Q19). On peut appliquer le théorème des moments chimiques :

$$x = \frac{s_3 - s_L}{s_v - s_L} = \frac{6,68 - 0,42}{8,17 - 0,42} = \underline{\underline{0,78}}$$

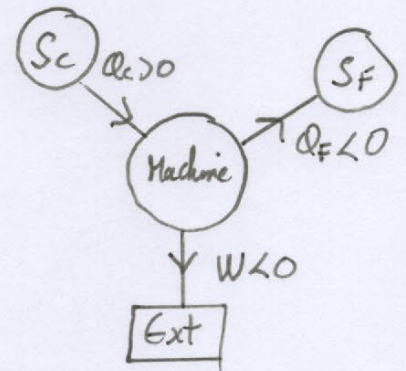
• Et : $h_3 = h_L + x \Delta h_{\text{vap}} = 121 + 0,78 (2554 - 121) = \underline{\underline{2,01 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$

• On vérifie sur le diagramme les valeurs obtenues : $h_3 \approx 2,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Q20) Rendement : $\eta = \left| \frac{W_T}{Q_c} \right|$ où $\begin{cases} W_T = h_3 - h_2' = 2010 - 3391 = -1381 \text{ kJ/kg} \\ Q_c = h_2' - h_1 = 3391 - 121 = 3270 \text{ kJ/kg} \end{cases}$

J'ou $\eta = 0,42$

Q21). Pour un cycle : $\begin{cases} \Delta U = W + Q_c + Q_F = 0 \quad (1) \\ \Delta S = S_{ech} + S_c = 0 \end{cases}$



- le cycle est réversible donc $S_c = 0$
- des sources de chaleur sont des thermostat donc :

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F} = 0 \quad (2)$$

• par définition : $\eta = -\frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_F}{Q_c} = 1 + \frac{Q_F}{Q_c}$

$$(2) \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_F}{T_c} = 1 - \frac{302}{773} \approx 0,61$$

On vérifie que $\eta < \eta_c$. d'écart s'explique par les irréversibilités

Q22) cf Annexe : on se sert des températures données dans l'énoncé afin on obtient le cycle proposé t.q. $\alpha_s < 1$.

Q23) le rendement est défini par : $\eta = \frac{|W_{2' \rightarrow 4} + W_{4' \rightarrow 5}|}{Q_{1 \rightarrow 2'} + Q_{4 \rightarrow 4'}}$

où $\begin{cases} W_{2' \rightarrow 4} = h_4 - h_{2'} = 3000 - 3391 = -391 \text{ kJ/kg} \\ W_{4' \rightarrow 5} = h_5 - h_{4'} = 2200 - 3450 = -1250 \text{ kJ/kg} \\ Q_{1 \rightarrow 2'} = h_{2'} - h_1 = 3391 - 121 = 3270 \text{ kJ/kg} \\ Q_{4 \rightarrow 4'} = h_{4'} - h_4 = 3450 - 3000 = 450 \text{ kJ/kg} \end{cases}$

(Valeurs à lire sur le diagramme)

$$\Rightarrow \eta = \frac{1641}{3720} = 0,44$$

La double surchauffe améliore le rendement et permet d'obtenir un titre en vapeur plus élevé car $\alpha(5) > \alpha(3)$.

Q23) * Echangeurs (générateurs de vapeur)

D'après le tableau

$$\begin{cases} h_e = 941,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\ h_s = 2788,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\ \dot{m}_m = 5412,1 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1} \end{cases}$$

Or $\dot{m}_m (h_s - h_e) = P_{th} + P_a$ où $P_a = 0$ ici

d'où $P_{th, GV} = \frac{5412,1 \times 10^3}{3600} (2788,4 - 941,7) = 2,78 \cdot 10^6 \text{ W}$

$\Rightarrow \underline{P_{th, GV} = 2,786 \text{ W}}$

* Turbine haute pression

On remarque qu'il y a plusieurs sorties d'où $(\sum \dot{m}_i h_{si} - \dot{m}_m h_e) = P_{th}$.

D'après le tableau :

$$\begin{cases} h_e = 2470,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ et } \dot{m}_m = 5001,9 \text{ t/h} \\ \text{Sécheur : } h_{s1} = 2562,8 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_{s1} = 4177,1 \text{ t/h} \\ R_6 : h_{s6} = 2682,5 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_{s6} = 214,3 \text{ t/h} \\ R_5 : h_{s5} = 2622,6 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_{s5} = 208,4 \text{ t/h} \\ R_4 : h_{s4} = 2568,8 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_{s4} = 402,1 \text{ t/h} \end{cases}$$

Reque: Il faut bien regarder les traits "sur le diagramme fourni pour ne pas rater d'étapes

$\Rightarrow P_{HP} = -0,301 \text{ GW}$ donc on récupère $\underline{P_{méca, HP} = 0,301 \text{ GW}}$

Turbine basse pression

De m : $\begin{cases} h_e = 2470,4 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_m = 3704,0 \text{ t/h. (le sécheur)} \\ \text{condenseur : } h_c = 2242 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_c = 3053 \text{ t/h} \\ R_3 : h_3 = 2751,5 \text{ kJ/kg et } \dot{m}_3 = 281,4 \text{ t/h} \\ R_2 : h_2 = 2538,9 \text{ — — — } \dot{m}_2 = 235,4 \text{ t/h} \\ R_1 : h_1 = 2377,8 \text{ — — — } \dot{m}_1 = 134,2 \text{ t/h} \end{cases}$

D'où $P_{BP} = -0,687 \text{ GW}$ donc on récupère $\underline{P_{méca, BP} = 0,687 \text{ GW}}$

* des mélanges ne consomment pas d'énergie extérieure

Donc $\eta = \frac{0,687 + 0,301}{2,78} = 0,355$

Partie C – Clarification par Décantation et turbine à gaz (CCP-PSI-2022)

Q14) Système : particule polluante, $R = R_{\text{éf}}$ teneur : ρ_e

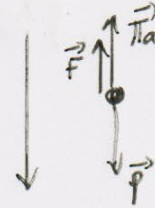
$$\text{PFD} : m\vec{a} = \vec{P} + \vec{F} + \vec{\pi}$$

$$\text{Ne t. q } \vec{a} = 0 \text{ d'où } mg - 6\pi\eta r \|\vec{v}_e\| - m'g = 0 \quad \text{où } \begin{cases} m = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho_0 \\ m' = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho_e < m \end{cases}$$

$$\Rightarrow \|\vec{v}_e\| = g \cdot \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_0 - \rho_e)}{6\pi\eta r}$$

$$\Rightarrow \|\vec{v}_e\| = \frac{2}{9} \frac{g r^2 (\rho_0 - \rho_e)}{\eta}$$

$$\text{avec } \vec{v}_e = \|\vec{v}_e\| \vec{e}_z \Rightarrow v_e > 0$$



$$\bullet \text{ Si } \vec{a} \neq \vec{0} \text{ on obtient } \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{\vec{v}}{\tau_c} = \vec{g} \left(\frac{m - m'}{m} \right) \quad \text{où } \tau_c = \left(\frac{6\pi\eta r}{m} \right)^{-1} = \frac{\frac{4}{3}\pi \rho_0 r^3}{6\pi\eta r}$$

$$\Rightarrow \tau_c = \frac{2}{9} \frac{\rho_0 r^2}{\eta}$$

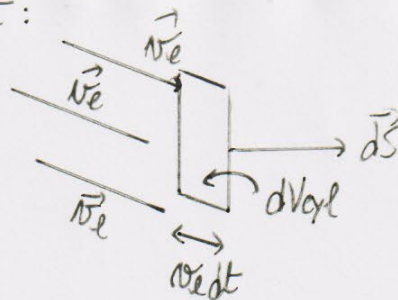
Q15) Soit $\vec{f}$ est un vecteur courant de convection. Calculons le nombre de particules qui traverse dS pendant dt :

$$\begin{aligned} \delta^2 N &= m(z) dV_{\text{vol}} \\ &= m(z) \cdot \vec{v}_e \cdot d\vec{S} dt \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \delta N = \int_S m(z) \cdot \vec{v}_e \cdot d\vec{S} dt$$

$$\Rightarrow \frac{\delta N}{dt} = \int_S m(z) \vec{v}_e \cdot d\vec{S} = \int_S \vec{f} \cdot d\vec{S} \Rightarrow \vec{f} = m(z) \vec{v}_e \vec{e}_z$$

et s'exprime en $s^{-1} \cdot m^{-2}$

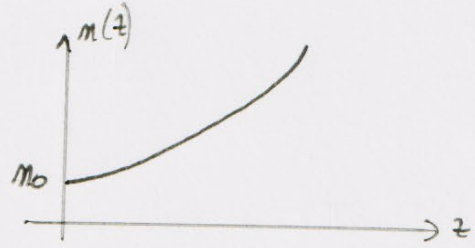


Q16) Loi de Fick : $\vec{J}_D = -D \text{grad } m(z)$ d'où $[D] = m^2 s^{-1}$

$\uparrow$ $s^{-1} m^{-2}$ $\leftarrow m^{-4}$

d'inhomogénéité de concentration crée un courant de diffusion des zones de haute concentration vers les plus faibles. $\Rightarrow \vec{J}_D$: ascendant

Q17) Énoncé: $\vec{f} + \vec{f}_0 = \vec{0} \Leftrightarrow m\vec{v}_e - D \frac{dm}{dz} = 0 \Leftrightarrow \frac{dm}{m} = \frac{v_e}{D} dz$
 d'où $m(z) = m_0 e^{\left(\frac{v_e}{D} z\right)}$



Q18) Par définition: $N_0 = \frac{1}{d_b} \int_0^{d_b} m(z) dz = \frac{1}{d_b} \int_0^{d_b} m_0 e^{\frac{v_e}{D} z} dz$
 $\Rightarrow N_0 = \frac{m_0}{d_b} \left[\frac{D}{v_e} e^{\frac{v_e}{D} z} \right]_0^{d_b}$
 $\Rightarrow N_0 = \frac{m_0 D}{d_b v_e} \left[e^{\frac{v_e d_b}{D}} - 1 \right]$
 $\Rightarrow m_0 = \frac{N_0 d_b v_e}{D \left[e^{\frac{v_e d_b}{D}} - 1 \right]}$

Q19) d'équation de diffusion en 0D $\Rightarrow \tau_D = \frac{L^2}{D} \Rightarrow \tau_D = \frac{d_b^2}{D}$

Pour la convection: $\tau_S = \frac{d_b}{v_e}$

Q20) D'où: $\frac{\tau_D}{\tau_S} = \frac{d_b v_e}{D} \Rightarrow m_0 = N_0 \cdot \frac{\tau_D}{\tau_S} \frac{1}{\left[e^{\tau_D/\tau_S} - 1 \right]}$

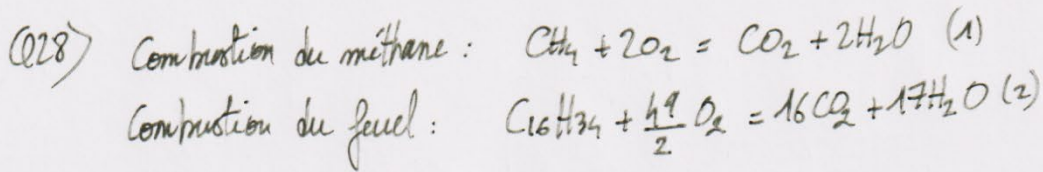
Il y aura clarification ssi $N_0 \ll m_0 \Rightarrow \frac{\mu}{e^{\mu} - 1} \ll 1$ où $\mu = \tau_D/\tau_S$.

$\Rightarrow \mu \gg 1$

$\Rightarrow \tau_D \gg \tau_S$

Q21) L'énoncé nous propose de comparer τ_T à τ_S t.g $\tau_T = \frac{L_b}{\mu}$.

Pour la clarification il faut donc: $\tau_S \ll \tau_T$

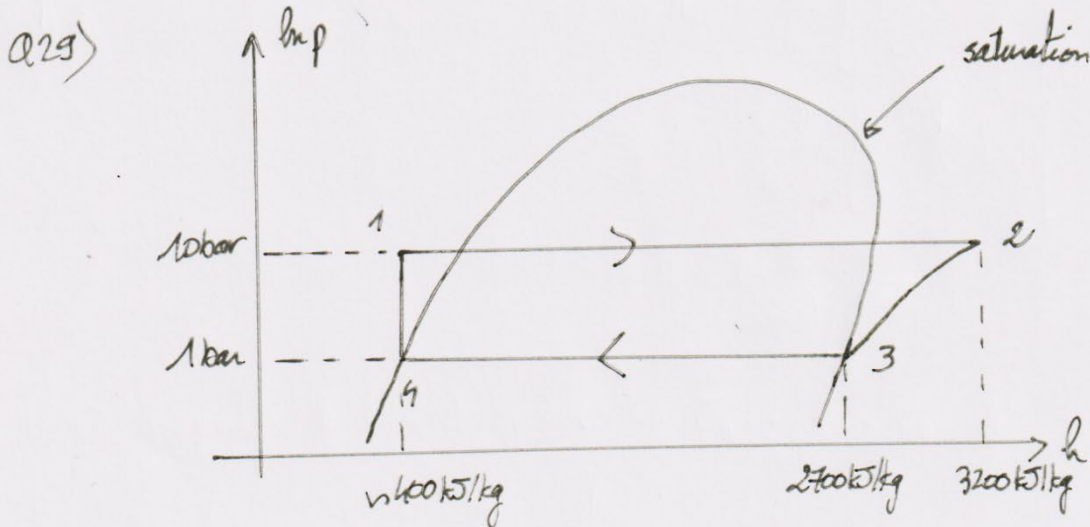


Enoncé : $Q_1 = 805 \text{ kJ/mol}$ par mole de CO_2 libérée.

$Q_2 = 7600 \text{ kJ/mol}$ par 16 moles de CO_2 libérées

ce qui peut s'écrire : 475 kJ par mole de CO_2 libérée

$\Rightarrow$ la combustion de méthane produit moins de CO_2 à énergie récupérée équivalente



	1	2	3	4
$[T]/^\circ\text{C}$	100	370	100	100
$[P]/\text{bar}$	10	10	1	1
$[h]/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	400	3200	2700	400
Etat	liquide	Vapeur sèche	Vapeur saturante	Liquide saturée

Q30) D'après le 1^{er} PPI : $W_{it} = h_3 - h_2 = -500 \text{ kJ/kg}$
 $Q_{GV} = h_2 - h_1 = 2800 \text{ kJ/kg}$
 $Q_{cond} = h_4 - h_3 = -2300 \text{ kJ/kg}$
 $\Rightarrow \eta = \frac{|W_{it}|}{Q_{GV}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \approx 18\%$

Q31) 1^{er} PPI sous forme de puissance : $\dot{m} W_{it} = P_T \Rightarrow \dot{m} = \left| \frac{P_{elec}}{W_{it}} \right| = 0.5 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$