Physique : DS1

A – Etude d'une installation nucléaire REP (Centrale MP 2016)

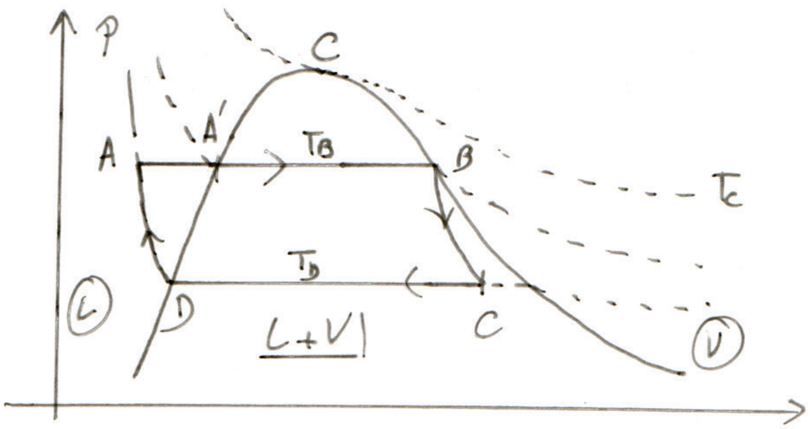
I.A.1) a) Pour un cycle de Carnot : $\begin{cases} \Delta U = W + Q_{CH} + Q_{FR} = 0 \\ \Delta S = \dfrac{Q_{CH}}{T_{CH}} + \dfrac{Q_{FR}}{T_{FR}} = 0 \end{cases}$

Or $\eta = -\dfrac{W}{Q_{CH}} \Rightarrow \boxed{\eta_{CARNOT} = 1 - \dfrac{T_{FR}}{T_{CH}}}$ (1)

b) A.N : $\underline{\eta_{CARNOT} \simeq 0,42}$

c) Par définition $\eta = \left|\dfrac{W}{Q_{CH}}\right| = \dfrac{P_e \Delta t}{P_t \Delta t} \Rightarrow \eta = \dfrac{P_e}{P_t} = \underline{0,32}$

I.A.2) a)



b) D'après les données en fin d'énoncé, et en convertissant les températures

Points	θ(°C)	T(K)	P(bar)	h (kJ/kg)	s (J/K/kg)	Etat
D	30	303	0,043	125,22	0,4348	liq.sat
A'	270	543	55	1190,10	2,9853	liq.sat
B	270	543	55	2788,46	5,9226	vap.sat

c) On place le point D pour commencer à 30°C sur la courbe d'ébullition

puis : on trace une isenthalpe jusqu'à 270°C (le point A)

- — une isobare jusqu'à la courbe de rosée (le point B)
- — isentrope jusqu'à 30°C (le point C)
- — isobare jusqu'en A

d) On a : $\Delta h = w_u + q$ or $\Delta e = 0 \Rightarrow \boxed{\Delta h = w_u + q}$

e) Pour la turbine : $\boxed{w_{BC} = h_C - h_B}$ car adiabatique

$$\Rightarrow w_{BC} = 1800 - 2788 = \underline{-988\ kJ.kg^{-1}}$$

f) De A à A', il n'y a pas de travail mobile d'où :

$$q_{AA'} = h_{A'} - h_A = 1190 - 125$$
$$= \underline{1065\ kJ.kg^{-1}}$$

(Rque : $T_A \sim T_B \Rightarrow w_{pompe} = c_{liq}(T_A - T_D) = 0\ kJ.kg^{-1}$ ce qui est déjà mentionné dans l'énoncé)

g) Maintenant $q_{A'B} = h_B - h_{A'} = 2788 - 1190 = \underline{1598\ kJ/kg}$

h) Or $\eta = \left|\frac{W}{q_c}\right| \Leftrightarrow \eta_1 = \left|\frac{W_{BC}}{q_{A'B} + q_{AA'}}\right| = \underline{0,37}$

$$\boxed{\text{Or } \eta_{CARNOT,1} = 1 - \frac{T_D}{T_B} = 0,41 \ll \eta_1}$$

i) Au pt C on un mélange liquide-vapeur t.q : $\boxed{x_C \sim 0,69}$

L'eau étant en partie liquide cela va <u>détériorer les ailettes</u> par contact mécanique mais il faudra aussi éviter <u>la corrosion</u>

I.A.3) (b) Cette fois : $\begin{cases} x_{C'} = 0{,}85 \\ x_{C''} = 0{,}77 \end{cases}$

La surchauffe permet de diminuer la quantité d'eau liquide qui passe dans la turbine

(a) ⇒ cf document réponse

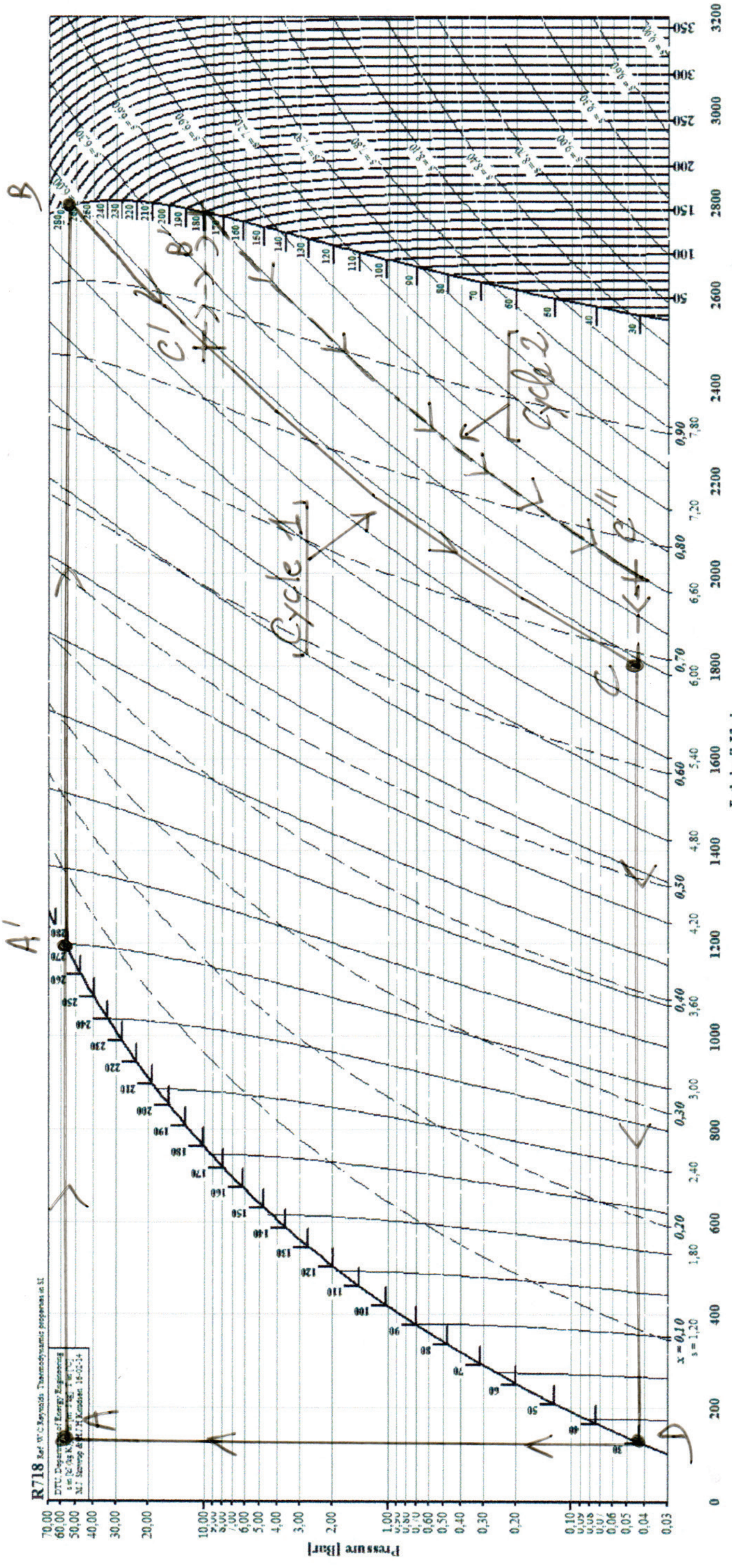
(c) On a cette fois-ci : $\boxed{\eta_2 = \left| \dfrac{w_{BC'} + w_{B'C''}}{q_{AA'} + q_{A'B} + q_{C'B'}} \right|}$

où $\begin{cases} w_{BC'} = h_{C'} - h_B = 2500 - 2788 = -288 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ w_{B'C''} = h_{C''} - h_{B'} = 2000 - 2780 = -780 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ q_{C'B'} = h_{B'} - h_{C'} = 2780 - 2500 = 280 \text{ kJ.kg}^{-1} \end{cases}$

$$\Rightarrow \eta_2 = \frac{288 + 780}{720 + 1598 + 280} \simeq \underline{0{,}41}$$

Le rendement reste quasiment identique mais on va diminuer la détérioration de la turbine avec le temps

Les températures sont exprimées en °C



B – Cycle de Claude (CCP PSI 2014)

A.1.1)

$$\underbrace{dm}_{\text{masse de fluide}}\left[\underbrace{\left(h_2+\frac{1}{2}c_2^2+gz_2\right)}_{\text{Energie massique sortante}}-\underbrace{\left(h_1+\frac{1}{c}c_1^2+gz_1\right)}_{\text{Energie massique entrante}}\right]=\underbrace{\delta W_u}_{\text{travail utile}}+\underbrace{\delta Q}_{\text{chaleur ou transfert thermique}}$$

où h : enthalpie massique
$\frac{1}{2}c^2$: Ecinétique
gz : Epotentielle massique.

A.1.2) En divisant par dt :

$$\boxed{D_m\left[\left(h_2+\frac{1}{2}c_2^2+gz_2\right)-\left(h_1+\frac{1}{2}c_1^2+gz_1\right)\right]=P_u+P_{th}}$$

A.2.1) Au point de repère 14 on retrouve le débit massique D_m d'où :

$$D_m=D_{m\ell}+D_{m13}\Rightarrow\boxed{D_{m13}=D_m-D_{m\ell}}$$

A.2.2) Le système reçoit $-P_{T_1}-P_{T_2}$ de la part des turbines

Le système a 2 sorties et 1 entrée d'où :

$$\underbrace{D_{m13}h_{13}+D_{m\ell}h_{liq}}_{\text{sorties}}-\underbrace{D_mh_1}_{\text{entrée}}=-P_{T_1}-P_{T_2}$$

Or $D_{m13}=D_m-D_{m\ell}$ $\Rightarrow$ $\boxed{D_m(h_{13}-h_1)+D_{m\ell}(h_{liq}-h_{13})=-P_{T_1}-P_{T_2}}$ (1)

A.2.3) 1PP appliqué à la turbine 1 $D_{m11}h_{11}-D_{m12}h_{12}=-P_{T_1}$

Or $D_m=D_{m2}+D_{m12}=(1-x_1)D_m+D_{m12}\Rightarrow D_{m12}=x_1D_m$

De plus $\begin{cases}D_{m12}=D_{m11}\\ h_2=h_{12}\end{cases}$ $\Rightarrow$ $\boxed{x_1D_m(h_{11}-h_2)=-P_{T_1}}$ (2)

A.2.4) Sur T_2 : $D_{mg} h_g - D_{m10} h_{10} = -P_{T_2}$

or $\begin{cases} h_{10} = h_4 \\ D_{mg} = D_{m10} \\ D_{m4} + D_{m10} = D_{m2} \end{cases}$ $\Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2) D_m + D_{m10} = (1-x_1) D_m = D_{m2}$

$\Leftrightarrow D_{m10} = (1-x_1) D_m x_2$

Donc $(1-x_1) x_2 D_m [h_g - h_4] = -P_{T_2}$ (3)

A.2.5) En regroupant 1, 2, 3 :

$D_m(h_{13} - h_1) + D_{me}(h_{liq} - h_1) = x_1 D_m (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1) D_m (h_g - h_4)$

or $y = \dfrac{D_{me}}{D_m} \Rightarrow y(h_{liq} - h_1) = x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1)(h_g - h_4) - (h_{13} - h_1)$

Donc $y = \dfrac{x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1)(h_g - h_4) + h_1 - h_{13}}{h_{liq} - h_1}$ (4)

A.2.6) Au niveau de E_1 on a : $D_m (h_2 - h_1) + D_{m13} (h_{13} - h_{12}) = 0$

or $D_{m13} = D_m - D_{me} \Rightarrow D_m (h_2 - h_1) + D_m (h_{13} - h_{12}) = D_{me} (h_{13} - h_{12})$

$\Rightarrow D_{me} = D_m \cdot \dfrac{h_2 - h_1 + h_{13} - h_{12}}{h_{13} - h_{12}}$

$\Rightarrow D_{me} = D_m \left[1 + \dfrac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}} \right]$

$\Rightarrow y = 1 + \dfrac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}} = 1 + \dfrac{1060 - 1476}{1454{,}2 - 1017{,}9}$

$= 0{,}046$

A.2.7) Sur E_2 : $D_{m_2}(h_3-h_2)+D_{m_{13}}(h_{12}-h_{11})=0$

$\Leftrightarrow D_m(1-x_1)(h_3-h_2)+(D_m-D_{me})(h_{12}-h_{11})=0$

$\Leftrightarrow (1-x_1)(h_3-h_2)+(1-y)(h_{12}-h_{11})=0$

$\Leftrightarrow (1-x_1)=-\dfrac{(1-y)(h_{12}-h_{11})}{h_3-h_2}$

$\Leftrightarrow \boxed{x_1=1+(1-y)\dfrac{h_{12}-h_{11}}{h_3-h_2}}=1+\dfrac{(1-0{,}046)\times 1017{,}9-527{,}2}{540{,}3-1060}$

$=\underline{\underline{0{,}100}}$

A.2.8) Sur E_4 : $D_{m_4}(h_5-h_4)+D_{m_9}'(h_{10}-h_9)=0$ où $D_{m_4}=(1-x_1)(1-x_2)D_m$.

or $D_{m_9}'+D_{m_{11}}=D_{m_{12}}$ avec $\begin{cases} D_{m_{12}}=D_{m_{13}}=D_m-D_{me} \\ D_{m_{11}}=x_1 D_m \end{cases}$

$\Leftrightarrow D_{m_9}'=(D_m-D_{me})-x_1 D_m=(1-x_1)D_m-D_{me}$

Donc : $(1-x_1)(1-x_2)D_m(h_5-h_4)+\left[(1-x_1)D_m-D_{me}\right](h_{10}-h_9)=0$

$\Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2)(h_5-h_4)+\left[(1-x_1)-y\right](h_{10}-h_9)=0$

$\Leftrightarrow 1-x_2=-\dfrac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)}$

$\Leftrightarrow \boxed{x_2=1+\dfrac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)}}=1+\left(\dfrac{1-0{,}1-0{,}046}{1-0{,}146}\right)\left(\dfrac{250-118}{110{,}5-277{,}4}\right)=\underline{\underline{25\%}}$

A.2.9) Sur le Détendeur : $h_6=h_7$ et $h_7=x_{liq}h_{liq}+(1-x_{liq})h_{vap}$.

$\Leftrightarrow \boxed{x_e=\dfrac{h_6-h_{vap}}{h_{liq}-h_{vap}}}$ (Théorème des moments chimiques)

On a $D_{me}=x_e D_{m_7}$ avec $D_{m_7}=D_{m_6}=D_{m_4}=(1-x_1)(1-x_2)D_m$

$\Rightarrow x_e=\dfrac{D_{me}}{D_{m_7}}=\dfrac{D_{me}}{D_m}\cdot\dfrac{1}{(1-x_1)(1-x_2)}$ $\Rightarrow \boxed{y=x_e(1-x_1)(1-x_2)}=\underline{\underline{0{,}046}}$

A.2.10) Soit $D_{me} = \frac{\delta m}{dt} = \rho_e \frac{\delta V}{dt} \Rightarrow D_{me} = \rho_e D_{ve}$.

or $y = x_e(1-x_1)(1-x_2) \Rightarrow \boxed{D_{ve} = \frac{D_m}{\rho_e} x_e(1-x_1)(1-x_2)} = \underline{0{,}595\ L.s^{-1}}$

A.2.11) Soit $P_{f,eq} = D_{me} L_{vm} = D_{me}(h_{vap} - h_{liq})$

$\Leftrightarrow \boxed{P_{f,eq} = \rho_e D_{ve}(h_{vap} - h_{liq})}$

$= 125{,}4 \times 0{,}595.10^{-3}(30{,}74 - 9{,}90).10^3$

$= \underline{\underline{1{,}55\ kW}}$

A.2.12) La somme de toutes les puissances doit correspondre à la puissance nécessaire pour comprimer le gaz d'où :

$$\underbrace{P_C + P_{T1} + P_{T2}}_{P_{TOT,C}} = D_m h_{14} - \underbrace{D_{m13}}_{D_m - D_{me}} h_{13} - D_{me} h_{13}$$

$\Leftrightarrow P_C = D_m(h_{14} - h_{13}) - P_{T1} - P_{T2}$

$= D_m(h_{14} - h_{13}) + x_1 D_m(h_{11} - h_2) + (1-x_1)x_2 D_m(h_9 - h_4)$

$\Leftrightarrow \boxed{P_C = D_m\left[h_{14} - h_{13} + x_1(h_{11} - h_2) + (1-x_1)x_2(h_9 - h_4)\right]}$

$= 1600.10^{-3}.10^3\left[1900 - 1454{,}2 + 0{,}1(527{,}2 - 1060) + 0{,}9 \times 0{,}125(30{,}74 - 277{,}4)\right]$

$\Leftrightarrow P_C = 570\ kW.$

A.2.13) Or $\begin{cases} \text{l'efficacité est définie par } \boxed{e = \frac{P_{f,eq}}{P_c} = \frac{1{,}55}{570} = 2{,}7.10^{-3}} \\ \text{et l'efficacité de Carnot vaut : } e_c = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{4{,}2}{280 - 4{,}2} = \underline{\underline{1{,}52.10^{-2}}} \end{cases}$

$\Rightarrow \boxed{\frac{e}{e_c} = 18\%}$, on est assez proche de la machine du CERN

C – Décantation des boues résiduelles (Centrale PC-2015)

II Déssablage / déhuilage

II.A.1) La bille subit :

- La poussée d'Archimède : $\vec{\Pi} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_e \vec{g}$.
- le poids : $\vec{P} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s \vec{g}$ où $\rho_s = \rho_e \times d$.
- La force de traînée : $\vec{F_t} = -6\pi\eta r \vec{v}$.

II.A.2) Lorsque la vitesse limite est atteinte :

$$\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{F_t} = \vec{0}$$

$$\Leftrightarrow 6\pi\eta r v_\ell = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_e - \rho_s) g$$

$$\Leftrightarrow v_\ell = \frac{4}{18} \cdot \frac{r^3(\rho_e - \rho_e d)\, g}{\eta r}$$

$$\Leftrightarrow v_\ell = \frac{2}{9}(1-d)\frac{\rho_e g r^2}{\eta}$$

Si $d > 1$: sédimentation vers le bas.
Si $d < 1$: ——— " ——— haut

II.B Si on néglige le temps pour atteindre la vitesse limite : $t_c = \frac{H}{v_\ell}$

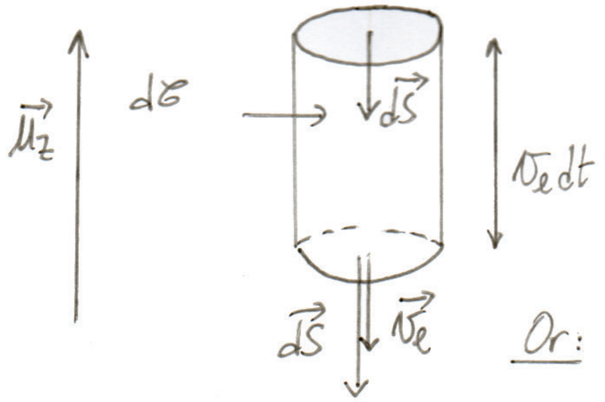
or $d > 1 \Rightarrow t_c = \left|\frac{H}{v_\ell}\right|$

	Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile	Colloïde
Rayon (mm)	1	0,1	0,01	10^{-3}	10^{-4}
$\lvert v_\ell \rvert$ (ms^{-1})	3,6	$3{,}6\cdot10^{-2}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$	$3{,}6\cdot10^{-6}$	$3{,}6\cdot10^{-8}$
t_c (s)	0,56	56	5600	$0{,}56\cdot10^{6}$	$5{,}6\cdot10^{7}$

III) Décantation des boues résiduelles

III.A.1) a) Soit $\vec{j_D} = -D\,\overrightarrow{grad}\, n^* \Rightarrow \boxed{\vec{j_D} = -D \dfrac{\partial n^*}{\partial z}\vec{u_z}}$

b)



Seules les particules contenues dans $d\tau$ sont capables de traverser dS pendant dt d'où:

$\Rightarrow dN = n^* d\tau = n^* v_e\, dt\, dS.$

Or: $dN = \vec{j_c} \cdot \vec{dS}$ où $\vec{dS} = dS\,\vec{u_z}$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{j_c} = n^* \vec{v_e} = -n^* v_e \vec{u_z}}$$

D'où $\vec{j} = \vec{j_D} + \vec{j_c} \Leftrightarrow \boxed{\vec{j} = -D \dfrac{\partial n^*}{\partial z}\vec{u_z} - n^* v_e \vec{u_z}}$ (1)

c) Bilan de matière : $dN = \delta N(t+dt) - \delta N(t) = \delta N_e - \delta N_s + \overbrace{\delta N_c}^{=0}$

$$\Leftrightarrow [n^*(t+dt) - n^*(t)]\, dS\, dz = j(z,t)\, dS\, dt - j(z+dz,t)\, dS\, dt$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\frac{\partial n^*}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial z}}$$

En remplaçant j : $\boxed{\dfrac{\partial n^*}{\partial t} = +D \dfrac{\partial^2 n^*}{\partial z^2} + v_e \dfrac{\partial n^*}{\partial z}}$

III.A.2) a

- En régime stationnaire : $\dfrac{\partial n^*}{\partial t} = 0$

$$\Rightarrow D\frac{\partial^2 n^*_\infty}{\partial z^2} + v_e \frac{\partial n^*_\infty}{\partial z} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 n^*_\infty}{\partial z^2} + \underbrace{\frac{v_e}{D}}_{1/\lambda} \frac{\partial n^*_\infty}{\partial z} = 0$$

λ est bien homogène à une longueur.

Posons $u = \dfrac{\partial n^*}{\partial z} \Rightarrow \dfrac{\partial u}{\partial z} + \dfrac{u}{\lambda} = 0$

$$\Rightarrow u = Ae^{-z/\lambda}$$

On intègre par rapport à z : $n^* = -A\lambda e^{-z/\lambda} + B$

En $z=0$, on a une barrière infranchissable : $\phi(z=0^+) = 0$

$$(1) \Rightarrow -D\left.\frac{\partial n^*}{\partial z}\right|_0 - n^*\Big|_0 v_e = 0$$

$$\Rightarrow \lambda \left.\frac{\partial n^*}{\partial z}\right|_0 + n^*\Big|_0 = 0$$

$$\Rightarrow \lambda A + (B - A\lambda) = 0 \quad \text{donc } B = 0$$

Or $n^*_0 = n^*_\infty(z=0)$ donc $-A\lambda = n^*_0 \Rightarrow \boxed{n^*_\infty(z) = n^*_0 e^{-z/\lambda}}$

b Soit $D = \dfrac{k_B T}{6\pi\eta r}$ et $|v_e| = \dfrac{2}{9}(d-1)\dfrac{\rho_e r^2 g}{\eta}$ où $d = \rho_s/\rho_e > 1$ pour le quartz.

or $\dfrac{v_e}{D} = \dfrac{1}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \dfrac{k_B T}{6\pi\cancel{\eta} r}\cdot\dfrac{9}{2}\dfrac{\cancel{\eta}}{(d-1)\rho_e r^2 g} = \dfrac{3}{4\pi}\dfrac{k_B T}{(d-1)\rho_e g r^3}$

Donc $n^*_\infty(z) = n^*_0 e^{-4\pi(d-1)r^3 g z/3k_B T}$

$$\Rightarrow n_\infty^*(z) = n_0^* \, e^{-\frac{4\pi r^3}{3}(\rho_s-\rho_e)gz/k_B T}$$

$$= n_0^* \, e^{-\Delta m g z/k_B T} \quad \text{où } \Delta m = m_s - m_e$$

$$\Rightarrow \boxed{n_\infty^*(z) = n_0^* \, e^{-e_p(z)/k_B T} \quad \text{avec } e_p(z) = \Delta m\, g\, z}$$

c) Avec $T = 300\,K$ et $d = 2{,}65$:

r	$1\,\mu m$	$0{,}1\,\mu m$	$0{,}01\,\mu m$
λ	$61\,nm$	$61\,\mu m$	$61\,mm$

λ est la longueur caractéristique de la diffusion ; on peut négliger la diffusion ssi $\lambda \ll H = 2m$.

$\Rightarrow$ pour des particules de rayon trop petites ($r = 0{,}01\,\mu m$) la diffusion n'est plus négligeable.