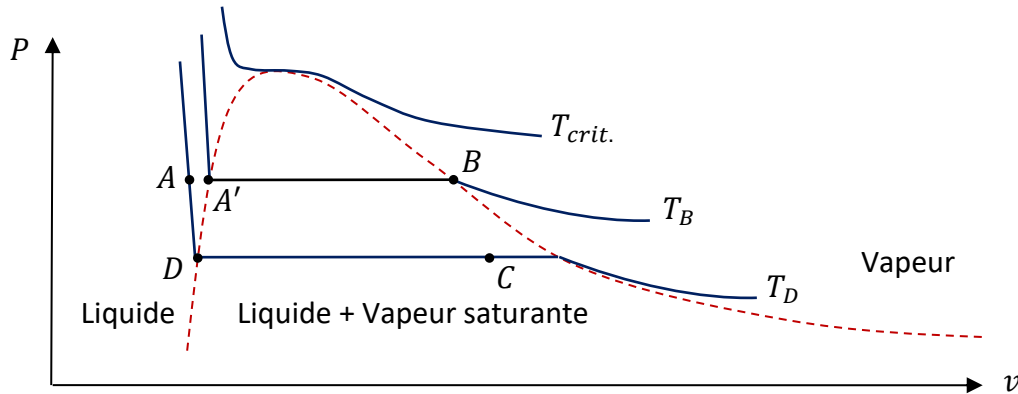


I.A.1) Les deux principes appliqués sur un nombre entier de cycles nous indiquent : $W + Q_f + Q_c = 0$

Et $\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0 \rightarrow r_{\text{moteur carnot}} = \frac{|W|}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c} = 0,442 > \frac{P_e}{P_t} = 0,323$

Le rendement de l'installation par rapport à la machine de Carnot est de **73 %**, c'est très correct.

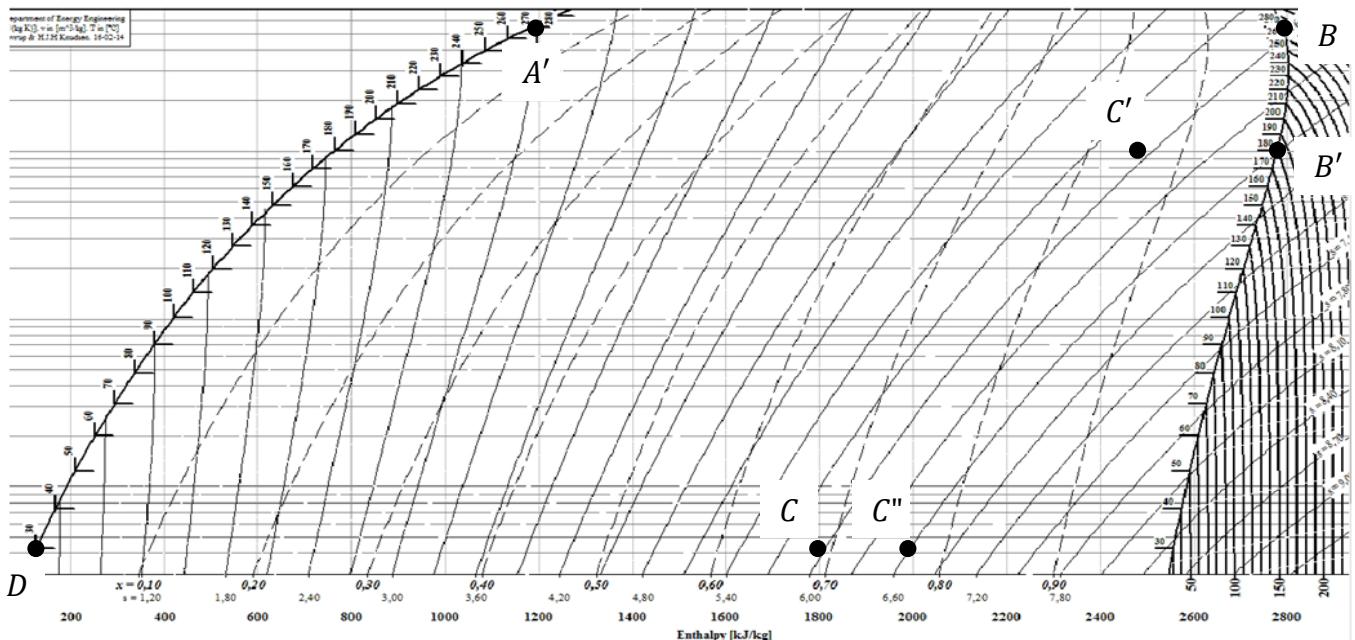
I.A.2.a)



I.A.2.b)

	$h \text{ (kJ.kg}^{-1}\text{)}$	$s \text{ (J.K}^{-1}\text{.kg}^{-1}\text{)}$	$T \text{ (}^\circ\text{C)}$
A'	1190,10	2,9853	270
B	2788,46	5,9226	270
D	125,22	0,4348	30

I.A.2.c) Le tracé de C s'appuie sur la conservation de l'entropie entre B et C.



I.A.2.d à i) $\Delta h = w_u + q$; $w_{BC} = h_C - h_B \sim -9,9.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$; $q_{AA'} = c(T_{A'} - T_A) \sim 1,0.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

On peut lire la valeur de h_C ($1,8.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$) ainsi que celle de $x_C \sim 0,68$

On peut aussi déterminer x_C et h_C par le calcul : $x_C = \frac{s_C - s_l(30^\circ\text{C})}{s_v(30^\circ\text{C}) - s_l(30^\circ\text{C})} = \frac{s_v(270^\circ\text{C}) - s_l(30^\circ\text{C})}{s_v(30^\circ\text{C}) - s_l(30^\circ\text{C})} = 0,6844$

$\rightarrow h_C = x_C h_v(30^\circ\text{C}) + (1 - x_C) h_l(30^\circ\text{C}) = 1,789.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

$$q_{A'B} = h_B - h_{A'} = 1,598.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$r_{Rankine} = \frac{|w_{BC}|}{q_{AA'} + q_{A'B}} = 0,38$$

Evidemment, on obtient comme d'habitude $r_{Réel} < r_{Rankine} < r_{Carnot} \rightarrow$ Le rendement de l'installation par rapport au cycle de Rankine réversible est de **85 %** (Appelé rendement isentropique).

La présence d'eau liquide (32 %) dans une turbine provoque des **perturbations mécaniques** (usure, vibration, frottement ...) et peut également favoriser la **corrosion**.

I.A.3) Les défauts mentionnés plus haut sont moindres car les titres lus $x_{C'} \sim 0,85$ et $x_{C''} \sim 0,77$ ou calculés ($x_{C'} = \frac{5,9226-2,1395}{6,5854-2,1395} = 0,8509$ et $x_{C''} = \frac{6,5854-0,4348}{8,4530-0,4348} = 0,7671$) sont plus grands que x_C .

$$\text{Le nouveau rendement } r_{Rank.étag.} = \frac{|w_{BC'}| + |w_{B'C''}|}{q_{AA'} + q_{A'B} + q_{C'B'}} = \frac{h_B + h_{B'} - h_{C'} - h_{C''}}{q_{AA'} + q_{A'B} + h_{B'} - h_{C'}} = 0,38$$

L'étagement de la détente a pour but essentiel **d'augmenter les titres en vapeur**, pas le rendement du cycle de Rankine. Mais l'hypothèse réversible concernant les détentes dans les turbines sera plus réaliste. **Le rendement du cycle réel étagé est supérieur à celui du cycle réel simple.**

I.B.1) Ce référentiel **n'est pas galiléen** car il est en rotation par rapport à un référentiel galiléen.

$$\text{I.B.2) } d\vec{F} = (-\overrightarrow{grad} P + \rho(M)\vec{g} + \rho(M) r \omega^2 \vec{e}_r) d\tau = \vec{0}$$

I.B.3) Evaluons le rapport $\frac{\omega^2}{g} = 2,8.10^6 \text{ m}^{-1}$. En s'écartant de l'axe, le poids devient vite négligeable. Dès l'introduction, le sujet nous donnait maladroitement cette information ($\rho(r)$ et $P(r)$!)

$$\text{I.B.4 \& 5) } \frac{dP}{dr} = \rho(r)r\omega^2 = \frac{MP(r)}{RT}r\omega^2 = \frac{mP(r)}{k_B T}r\omega^2 \rightarrow P(r) = P(0) \exp\left(\frac{m r^2 \omega^2}{2k_B T}\right)$$

$$\rightarrow n^*(r) = \frac{dn}{d\tau}(r) = \frac{P(r)}{k_B T} = n^*(0) \exp\left(\frac{m r^2 \omega^2}{2k_B T}\right) = n^*(0) \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_{p,ie}}{k_B T}\right) \text{ Avec } \mathcal{E}_{p,ie} = -\frac{m r^2 \omega^2}{2}$$

I.B.6) La périphérie du cylindre s'est enrichie en uranium 238 (le plus lourd) **on a ainsi enrichi en uranium 235 le cœur**. (Voir l'exercice 8 du TD "Thermodynamique statistique" pour plus de détails)

En réalité, la base du cylindre est chauffée, le gaz plus léger au centre de la colonne est entraîné par convection vers le haut et **partiellement évacué**. A la périphérie, le gaz plus lourd descend et y est partiellement évacué. **Plusieurs centrifugeuses de ce type sont reliées en cascade**, l'enrichissement est progressif, ainsi on limite la vitesse de rotation afin d'éviter l'éclatement des cylindres.

II.A.1) A l'anode (électrode 5) : $2 H_2O \rightleftharpoons O_2 + 4 e^- + 4 H^+$ Les protons libérés vont **vers la droite**, vers la cathode (électrode 6) : $2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons H_2$ Bilan : $2 H_2O^{(3 \& 4)} \rightleftharpoons O_2^{(1)} + 2 H_2^{(2)}$

$2 HTO \rightleftharpoons O_2 + 2 HT$ Ou plus vraisemblablement $HTO + H_2O \rightleftharpoons O_2 + HT + H_2$

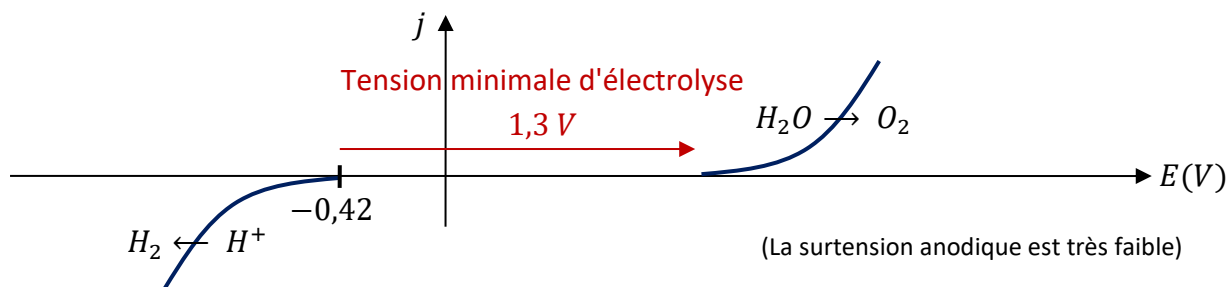
Ce traitement permet d'éviter l'encrassement de la membrane et la présence de réactions redox parasites.

II.A.2) Les **rejets** de **HT** ou **H₂** se situent à la cathode. La formation de **H₂** étant plus rapide, l'échantillon s'enrichit en **HTO**. La différence de vitesse de réduction est à l'origine de β .

La **nature de la cathode** et de son **matériau de surface** est un facteur influent. Les courbes $i(E)$ sont plus ou moins pentues et les surtensions cathodiques plus ou moins grandes.

De plus, la vitesse de réduction de **HTO** est limitée par la **diffusion** contrairement à celle du solvant **H₂O**.

II.A.3) Nous supposons que l'eau est neutre ($pH = 7$), ainsi $E_{H^+/H_2}^{Nernst} = -0,42 V$



On peut déterminer la résistance de chaque membrane en évaluant la pente de la tangente à la courbe représentative $U_c(j)$: $R_{117}(1 A.cm^{-2}) \sim 0,3 \Omega.cm^2$ $R_{112}(1 A.cm^{-2}) \sim 0,1 \Omega.cm^2$ $\Delta R = 0,2 \Omega.cm^2$
La Nafion® – 112 est la plus **performante** mais également la plus **fragile**.

II.B.1) Le tétraoxyde de ruthénium semble être un solide cristallin **moléculaire** du fait de son caractère isolant, de sa faible solubilité et de sa basse température de fusion.

Pour RuO_2 , on pense plutôt à une structure **covalente** mais le caractère conducteur semble indiquer qu'une certaine délocalisation électronique est envisageable (conduction par saut, par effet tunnel ... ?)

$$\text{II.B.2)} \ln K = \frac{\Delta_r S^0}{R} - \frac{\Delta_r H^0}{RT} \rightarrow \Delta_r H^0 = -120 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = A \exp\left(-\frac{\varepsilon_a}{RT}\right) \rightarrow \varepsilon_a = \frac{R}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}} \ln\left(\frac{\tau_{1/2}}{\tau'_{1/2}}\right) = 1,3 \cdot 10^2 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

II.B.3) L'augmentation de la température accélère la décomposition mais ne la favorise pas d'un point de vue thermodynamique. La réaction est **plus rapide** mais son **avancement** à l'équilibre est **moindre**.

III.A) $\delta(t) = 2(y(t) + d_0)$

III.B) On reconnaît la formule de **Fresnel** avec $\Phi(t) = \frac{2\pi}{\lambda} \delta(t) = 2(y(t) + d_0) \rightarrow$ On identifie $\Phi_0 = \frac{4\pi d_0}{\lambda}$

Il y a interférences car les deux ondes qui interfèrent sont **cohérentes**. Faut-il démontrer la formule ?

Si on maîtrise parfaitement la démonstration (deux à trois minutes), on ne s'en prive pas !

$$\begin{aligned} \underline{E}_1 &= A_0 e^{i\Phi_1} & \underline{E}_2 &= A_0 e^{i\Phi_2} & \text{Avec } I_1 &= I_2 = I_0 = K \langle E_i^2 \rangle = \frac{K}{2} \underline{E}_i \underline{E}_i^* = \frac{K}{2} A_0^2 \\ I(M) &= \frac{K}{2} \underline{E} \underline{E}^* = \frac{K}{2} (\underline{E}_1 + \underline{E}_2) (\underline{E}_1^* + \underline{E}_2^*) = 2I_0 + \frac{K}{2} (\underline{E}_1 \underline{E}_2^* + \underline{E}_2 \underline{E}_1^*) = 2I_0 + K \operatorname{Re}(\underline{E}_2 \underline{E}_1^*) \\ &= 2I_0 + K A_0^2 \operatorname{Re}(e^{i\Phi}) = 2I_0 (1 + \cos \Phi) = \frac{I_{\max}}{2} (1 + \cos \Phi) & \text{Avec } \Phi &= \Phi_1 - \Phi_2 \end{aligned}$$

Il faut bien distinguer l'échelle de temps courts sur laquelle se calcule l'intensité moyenne et l'échelle de temps longs correspondant au séisme à l'origine de la variation du déphasage $\Phi(t)$ et donc de $I(t)$.

III.C) Le point Q , en tant que point d'inflexion de la courbe, est le plus intéressant.

Le déplacement $y(t)$ étant faible, le but est d'avoir une sensibilité maximale autour de $y = 0$.

$$\frac{dI}{d\Phi}(y = 0) = -\frac{1}{2} I_{\max} \sin \Phi_0 \quad \text{Maximale en valeur absolue si } \Phi_0 = (2p + 1) \frac{\pi}{2} \quad p \in \mathbb{N}$$

[On remarque dans la question suivante que $d_0 = \lambda/8$ entraîne bien $\Phi_0 = \pi/2$]

III.D) $\Delta\delta = 2\Delta y = 4Y_m \quad \frac{T}{2} = 0,1 \text{ s} \rightarrow f = 5 \text{ Hz}$

Entre A et B , on compte 8 "périodes" de l'intensité lumineuse $\rightarrow \Delta\delta = 8\lambda \rightarrow Y_m = 2\lambda$

III.E.1) Entre A et B , on compte $\frac{17}{2}$ "périodes" de l'intensité lumineuse $\rightarrow \Delta\delta = \frac{17}{2}\lambda \rightarrow Y_m = \frac{17}{8}\lambda$

III.E.2) $I(t) = \frac{I_{\max}}{2} \left(1 - \sin\left(\frac{4\pi y(t)}{\lambda}\right) \right)$ Notons t'_A l'instant correspondant au premier maximum après A :
 $\sin\left(\frac{4\pi y(t_A)}{\lambda}\right) = -\frac{1}{2}$ Et $\sin\left(\frac{4\pi y(t'_A)}{\lambda}\right) = -1$ On en déduit qu'entre t_A et t'_A la phase a alors évolué de $\frac{\pi}{3}$

De même, notons t'_B l'instant correspondant au dernier minimum avant B :

$\sin\left(\frac{4\pi y(t_B)}{\lambda}\right) = \frac{1}{2}$ Et $\sin\left(\frac{4\pi y(t'_B)}{\lambda}\right) = 1$ On en déduit qu'entre t'_B et t_B la phase a aussi évolué de $\frac{\pi}{3}$

Enfin, entre t'_A et t'_B on compte $\frac{17}{2}$ "périodes" de l'intensité lumineuse.

Au total, la phase a évolué de $\left(\frac{17}{2} + \frac{1}{3}\right) * 2\pi \rightarrow \Delta\delta = \left(\frac{17}{2} + \frac{1}{3}\right)\lambda \rightarrow Y_m = \frac{53}{24}\lambda$