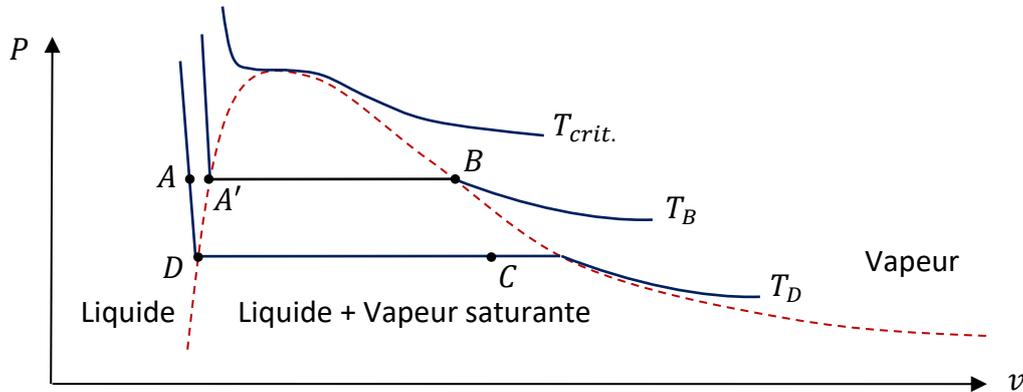


I.A.1) Les deux principes appliqués sur un nombre entier de cycles nous indiquent :  $W + Q_f + Q_c = 0$

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

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

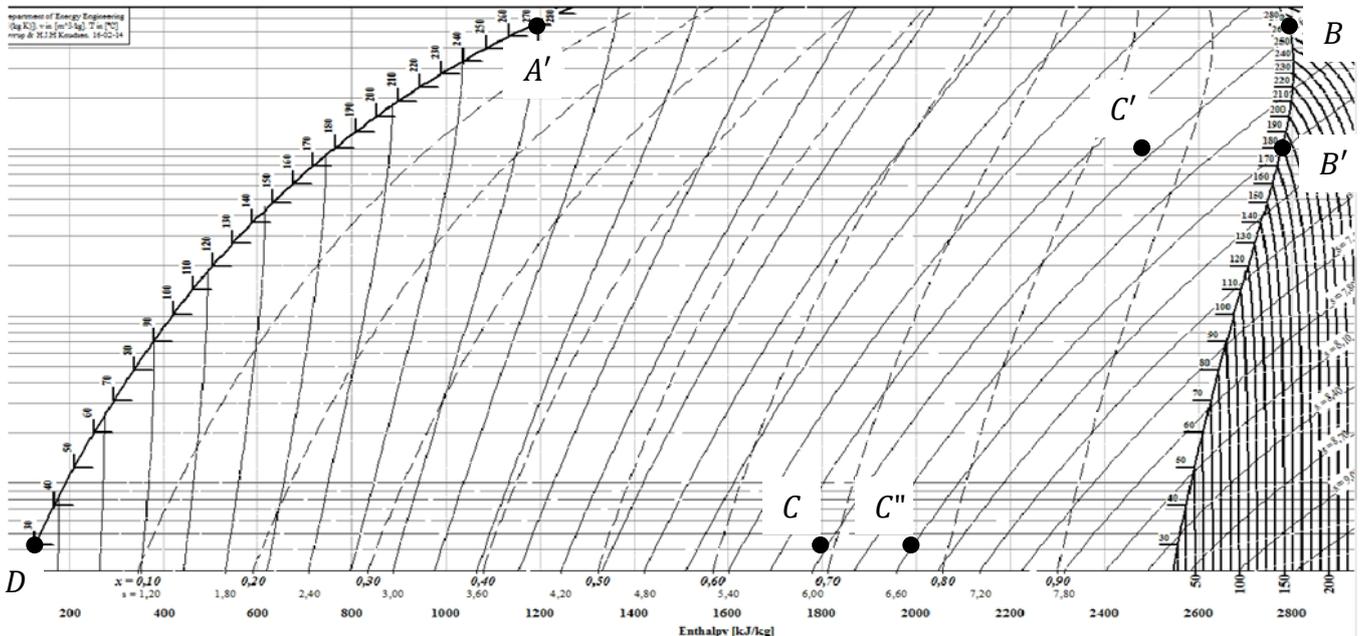
I.A.2.a)



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)  $\Delta h = w_u + q$ ;  $w_{BC} = h_C - h_B \sim -9,9 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$ ;  $q_{AA'} = c(T_{A'} - T_A) \sim 1,0 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

On peut lire la valeur de  $h_C$  ( $1,8 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ ) ainsi que celle de  $x_C \sim 0,68$

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

$\rightarrow h_C = x_C h_v(30^\circ\text{C}) + (1 - x_C) h_l(30^\circ\text{C}) = 1,789 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

$$q_{A'B} = h_B - h_{A'} = 1,598 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad r_{Rankine} = \frac{|w_{BC}|}{q_{AA'} + q_{A'B}} = 0,38$$

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  $\frac{\omega^2}{g} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$ . 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  $HTO + H_2O \rightleftharpoons O_2 + HT + H_2$

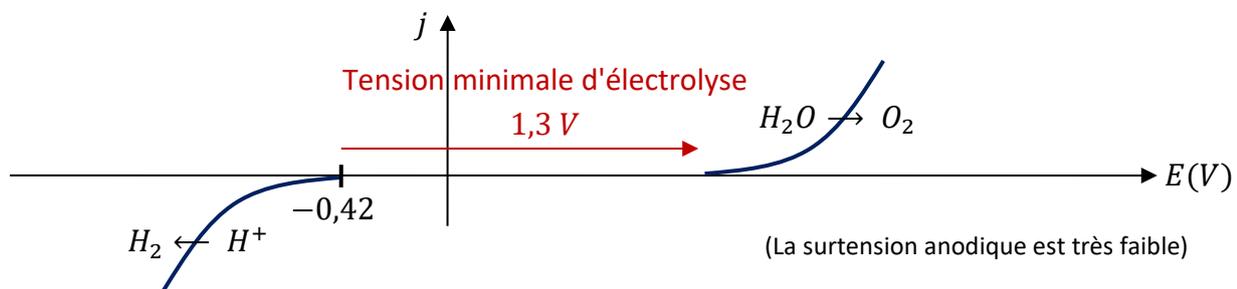
Ce traitement permet d'éviter l'encrassement de la membrane et la présence de réactions redox parasites.

**II.A.2)** Les **rejets** de  $HT$  ou  $H_2$  se situent à la cathode. La formation de  $H_2$  étant plus rapide, l'échantillon s'enrichit en  $HTO$ . La différence de vitesse de réduction est à l'origine de  $\beta$ .

**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  $H_2O$ .

**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  $U_c(j)$  :  $R_{117}(1 A \cdot cm^{-2}) \sim 0,3 \Omega \cdot cm^2$   $R_{112}(1 A \cdot cm^{-2}) \sim 0,1 \Omega \cdot cm^2$   $\Delta R = 0,2 \Omega \cdot cm^2$   
La Nafion® – 112 est la plus **performante** mais également la plus **fragile**.

**II.B.1)** Le tétr oxyde 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 ... ?)

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

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

**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)**  $\delta(t) = 2(\mathbf{y}(t) + \mathbf{d}_0)$

**III.B)** On reconnaît la formule de **Fresnel** dans le cas où  $I_1 = I_2 = \frac{I_{max}}{4}$ , on identifie  $\Phi_0 = \frac{4\pi d_0}{\lambda}$

**III.C)** Le point  $Q$  est le plus intéressant,  $\frac{dI}{d\Phi}$  est maximal autour de  $y = 0$  si  $\Phi_0 = (2p + 1)\frac{\pi}{2}$   $p \in \mathbb{N}$

**III.D)**  $\Delta\delta = 2\Delta y = 4Y_m$   $f = 0,2 \text{ s}$  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  $\left(\frac{17}{2} + \frac{1}{3}\right) * 2\pi \rightarrow \Delta\delta = \left(\frac{17}{2} + \frac{1}{3}\right)\lambda \rightarrow Y_m = \frac{53}{24}\lambda$