Physique-Chimie 2 – Centrale – MP – 2016

I. Circuit secondaire et enrichissement de l'uranium

I.A. Description du circuit secondaire de la centrale

1. Soit le système constitué par le fluide en évolution cyclique du moteur ditherme. Notons W le travail reçu, Q_{ch} le transfert thermique reçu de la part de la source chaude et Q_{fr} le transfert thermique reçu de la part de la source froide au cours d'un cycle. Par application du premier principe sur un cycle au système, on a

$$\Delta U = W + Q_{ch} + Q_{fr} = 0$$

car U, l'énergie interne du système, est une fonction d'état. L'application du seconde principe sur un cycle au système fournit :

$$\Delta S = S_e + S_c = S_e = Q_{fr}/T_{fr} + Q_{ch}/T_{ch} = 0$$

car S, l'entropie du système, est une fonction d'état, et l'évolution est réversible ($S_c = 0$). L'expression du « rendement » pour un moteur est défini par

$$\eta = \frac{-W}{Q_{ch}}$$

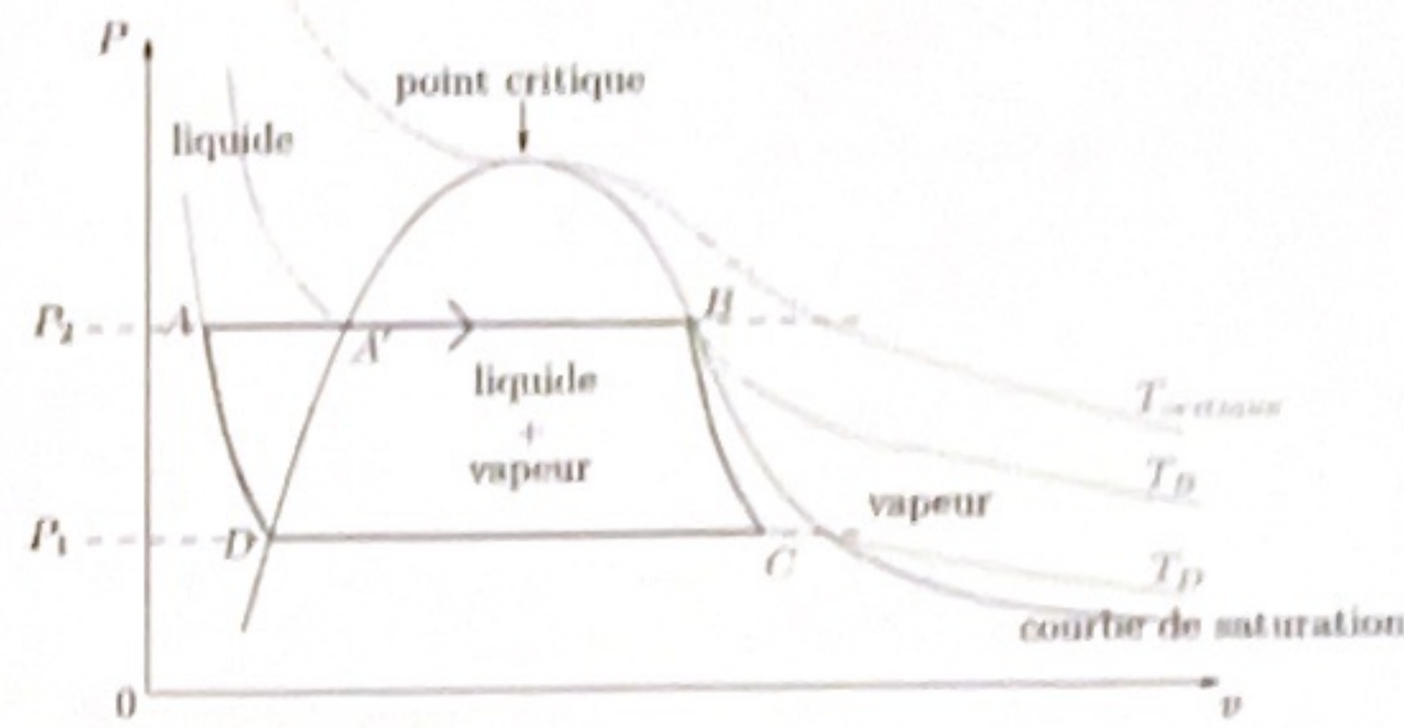
Dans le cas du moteur ditherme de Carnot, on obtient donc l'expression suivante

$$\boxed{\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{fr}}{T_{ch}}}$$

2. $\boxed{\eta_{\text{Carnot}} \simeq 0{,}442}$.

3. $\boxed{\eta_{\text{réel}} = \frac{P_e}{P_t} \simeq 0{,}323}$, qui est bien inférieur au rendement de Carnot.

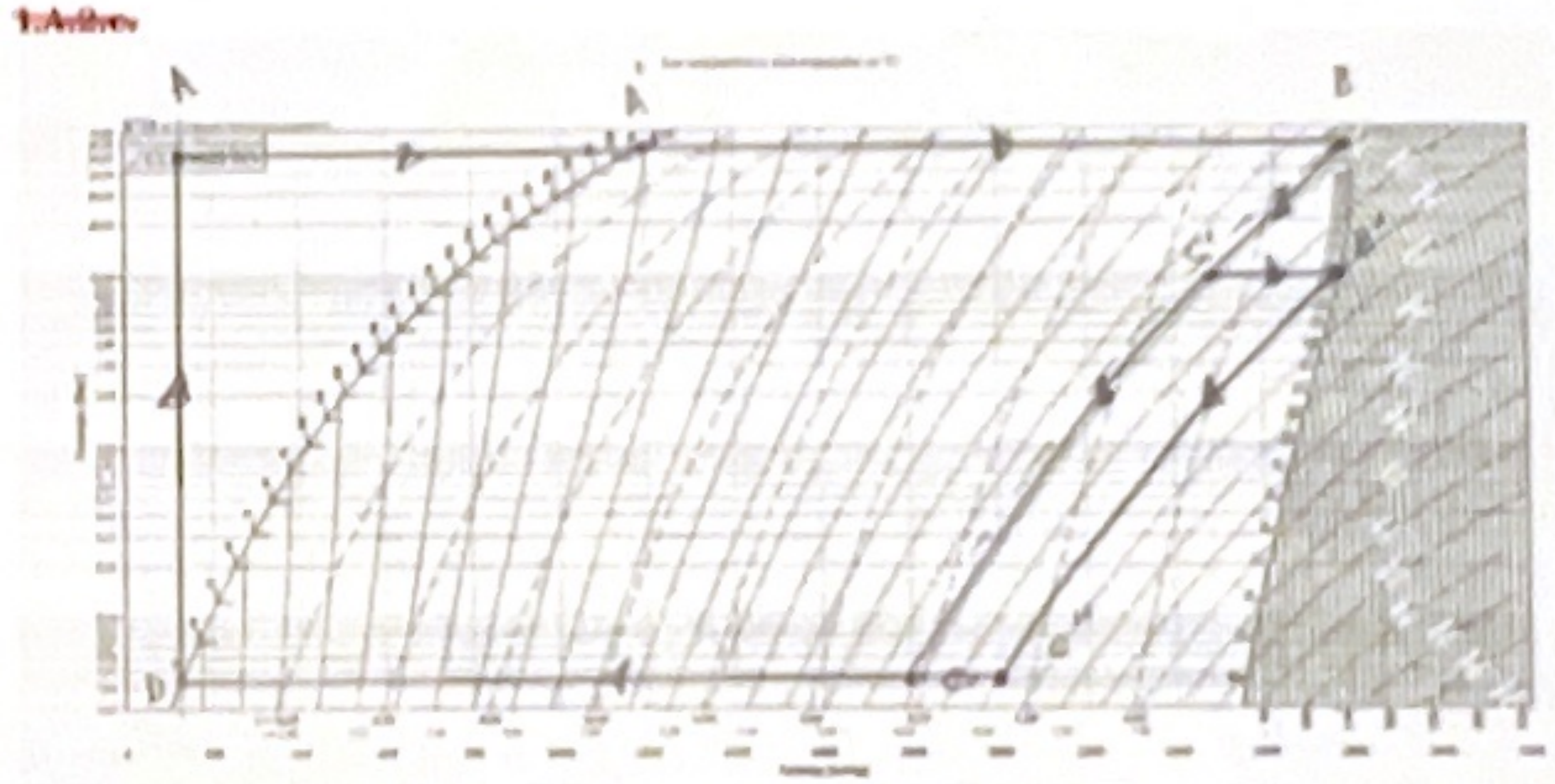
4. Tracé du cycle dans le diagramme de Clapeyron



5. D'après les données en fin d'énoncé :

	P (bar)	θ (°C)	h (kJ.kg^{-1})	s (J.K^{-1}.kg^{-1})
A'	55	270	1190,10	2,9853
B	55	270	2788,46	5,9226
C	$4{,}3 \times 10^{-2}$	30	125,22	0,4348

6.



7. Pour un fluide en écoulement stationnaire traversant une partie active où il reçoit par unité de masse un travail utile w_u et un transfert thermique q, le premier principe s'exprime sous la forme (en négligeant les variations d'énergies cinétique et potentielle)

$$\boxed{h_s - h_e = w_u + q}$$

où e et s désigne l'entrée et la sortie de la partie active.

8. ~~I.A.2.e.~~ L'évolution dans la turbine étant adiabatique, on a

$$\boxed{w_{BC} = h_C - h_B \simeq -990\ \text{kJ.kg}^{-1}}$$

9. ~~I.A.2.f.~~ De A à A', l'évolution s'effectue sans travail utile, on a donc

$$\boxed{q_{AA'} = h_{A'} - h_A = c_p(T_{A'} - T_A) \simeq 1000\ \text{kJ.kg}^{-1}}$$

10. ~~I.A.2.g.~~ De A' à B, l'évolution s'effectue sans travail utile, on a donc

$$\boxed{q_{A'B} = h_{B'} - h_{A'} \simeq 1600\ \text{kJ.kg}^{-1}}$$

11. ~~I.A.2.h.~~ Le rendement du cycle de Rankine de l'installation s'exprime donc sous la forme :

$$\boxed{\eta_{\text{Rankine}} = \frac{-w_{BC}}{q_{AA'} + q_{A'B}} \simeq 0{,}40}$$

qui est supérieur au rendement réel (comme on le verra le cycle réel n'est pas celui de Rankine mais une modification de ce dernier).
Le rendement de Carnot calculé avec les températures extrêmes du cycle de Rankine proposé est

$$\boxed{\eta_{\text{Carnot-Rankine}} = 1 - \frac{T_D}{T_B} \simeq 0{,}44}$$

qui est bien supérieur au rendement de Rankine.

12. ~~I.A.2.i.~~ À la fin de la détente dans la turbine, l'état de l'eau est décrit par le point C qui correspond à un **mélange diphasé liquide-vapeur**. Par lecture graphique, on a $\boxed{x_C \simeq 0{,}69}$. L'eau étant partiellement liquide, cela peut entraîner la **corrosion** des pièces métalliques constituant la turbine.

I.A.3.a. Voir cycle plus haut (qst I.A.2.c.).

I.A.3.b. Graphiquement, $\boxed{x_{C'} \simeq 0{,}85}$ et $\boxed{x_{C''} \simeq 0{,}77}$ tous deux supérieurs à x_C. L'intérêt de la surchauffe est donc de limiter la fraction liquide de l'eau lors de la détente pour **limiter la corrosion de la turbine**.

I.A.3.c. Le nouveau rendement se calcule comme suit :

$$\boxed{\eta_{\text{Rankine étagé}} = -\frac{w_{BC'} + w_{B'C''}}{q_{AB} + q_{C'B'}} = -\frac{h_{C'} - h_B + h_{C''} - h_{B'}}{h_B - h_A + h_{C'} - h_{B'}} \simeq 0{,}38}$$

Le rendement pour le cycle de Rankine étagé est moindre que pour le cycle simple mais on limite les risques de corrosion.

I.B. Enrichissement de l'uranium par centrifugation

I.B.1. $\mathscr{R}_1$ n'est pas galiléen car il n'est pas en translation rectiligne uniforme par rapport à $\mathscr{R}_0$ supposé galiléen.

I.B.2. On munit l'espace de la base cylindrique usuelle :

— poids : $d^3\vec{P} = -\rho g d^3\tau \vec{u_z}$;