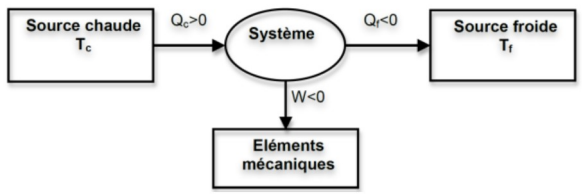
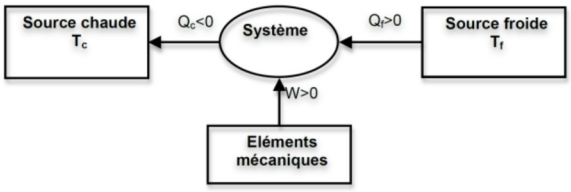
DS 2 – Correction de la partie physique

Partie 1

Q1.



Moteur



Récepteur

Q2. Efficacité d'un récepteur : $e=\frac{-Q_c}{W}$ pour une pompe à chaleur ou $e=\frac{Q_f}{W}$ pour un frigo/clim

Rendement d'un moteur : $r=\frac{-W}{Q_c}$

Q3. 1er principe appliqué au fluide : $\Delta U_{cycle}=W+Q_c+Q_f=0$

2ème principe appliqué au fluide : $\Delta S_{cycle}=S_e+S_c=\frac{Q_c}{T_c}+\frac{Q_f}{T_f}+S_c=0$

on en déduit : $W=-(Q_c+Q_f)=-Q_c+\frac{T_f}{T_c}Q_c+T_f S_c$ et donc $r=\frac{-W}{Q_c}=1-\frac{T_f}{T_c}-T_f\frac{S_c}{Q_c}$

Q4. Le rendement de carnot r_C correspond au rendement lorsque le moteur décrit un cycle réversible.

On a alors $S_c = 0$ et donc $r_c=\frac{-W}{Q_c}=1-\frac{T_f}{T_c}$

Partie 2 :

Q5. Le cycle est parcouru dans le **sens horaire** : le cycle est bien moteur.

Q6. **Le travail fourni par le moteur est égal à l'opposé de l'aire du cycle**. Cette aire semble être équivalente à environ 12 carreaux

$W=-12\times aire\ \ d'un\ \ carreau$

AN :

$W=-\ \ 12\times 1\times 10^5\times 0{,}1\times 10^{-3}=-120\ \ J$

Q7. Le tracé ne peut pas être précis car les températures T_1 et T_3 et les pressions ne sont pas connues. Il doit cependant comporter :

- deux isochores aux volumes V_1 et V_2,
- deux isothermes dont on ne peut fournir qu'une allure hyperbolique : P = nRT/V

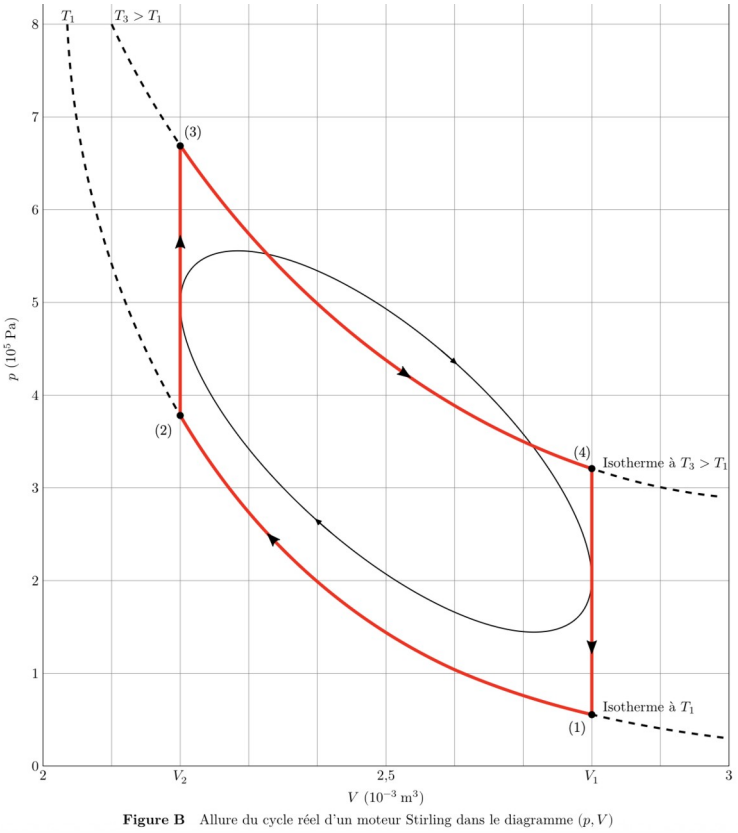


Figure B Allure du cycle réel d'un moteur Stirling dans le diagramme (p, V)

Q8. $W_{12} = -\int_{V_1}^{V_2} P_{ext}\,dV$ Comme le piston est mobile et que le gaz est supposé parfait : $P_{ext} = P = \frac{nRT_1}{V}$.

Comme T est constante égale à T_1, $W_{12} = -nRT_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V}\,dV = -nRT_1 \ln\left(\frac{1}{r}\right)$

d'où $W_{12} = nRT_1 \ln(r)$. $V_1 > V_2$ => $r > 1$ => $W_{12} > 0$

Q9. On applique le premier principe au système {fluide} pour la transformation $1 \to 2$: $\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12}$ c'est-à-dire $nC_{vm}\Delta T_{12} = W_{12} + Q_{12} = 0$ car transformation isotherme

Ainsi : $Q_{12} = -nRT_1 \ln(r)$. $r > 1$ donc $Q_{12} < 0$

Q10. On applique le second principe au système {fluide} pour la transformation $1 \to 2$:

$\Delta S_{12} = S_{créee,\,12} + S_{échangée,\,12}$

Or $\Delta S = nC_{Vm}\ln\left(\frac{T_1}{T_1}\right) + nR\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -nR\ln(r)$ et $S_{échangée,\,12} = \frac{Q_{12}}{T_1} = -nR\ln(r)$

Ainsi : $S_{créee,\,12} = -nR\ln(r) + nR\ln(r) = 0$ => **La transformation $1 \to 2$ est bien réversible**.

Q11. $W_{34} = -\int_{V_2}^{V_1} P_{ext}\,dV$

Comme le piston est mobile et que le gaz est supposé parfait : $P_{ext} = P = \frac{nRT_3}{V}$.

$W_{34} = -nRT_3 \int_{V_2}^{V_1} \frac{1}{V}\,dV = -nRT_3 \ln(r)$ => $W_{34} = -nRT_3 \ln(r)$

On applique le premier principe au système {fluide} pour la transformation $3 \to 4$:

$\Delta U_{34} = W_{34} + Q_{34}$ => $nC_{vm}\Delta T_{34} = W_{34} + Q_{34}$ Or la transformation est isotherme : $W_{34} + Q_{34} = 0$

Ainsi : $Q_{34} = nRT_3 \ln(r)$.

$r > 1$ donc $W_{34} < 0$ *et* $Q_{34} > 0$

Q12. On applique le premier principe au système {fluide} pour la transformation $2 \to 3$:

$\Delta U_{23} = W_{23} + Q_{23}$. La transformation est isochore donc $W_{23} = 0$

$Q_{23} = \Delta U_{23} = nC_{vm}(T_3 - T_1) = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_3 - T_1)$. Comme $T_3 > T_1$ alors $Q_{23} > 0$

Q13. On applique le premier principe au système {fluide} pour la transformation $4 \to 1$:

$\Delta U_{41} = W_{41} + Q_{41}$

La transformation est isochore donc $W_{41} = 0$

$Q_{41} = \Delta U_{41} = nC_{vm}(T_1 - T_3) = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_1 - T_3)$. Comme $T_3 > T_1$ alors $Q_{41} < 0$

Q14. Le rendement est le rapport de l'énergie utile sur l'énergie coûteuse. Ici l'énergie utile est l'opposé du travail fourni par le cycle. L'énergie coûteuse est l'ensemble des transferts thermiques reçus positivement par le fluide.

$$\eta_s = \frac{-(W_{12} + W_{34})}{Q_{23} + Q_{34}} = \frac{(T_3 - T_1)nR\ln(r)}{\frac{nR}{\gamma - 1}(T_3 - T_1) + nRT_3 \ln(r)} = \frac{(T_3 - T_1)\ln(r)}{\frac{1}{\gamma - 1}(T_3 - T_1) + T_3 \ln(r)}$$

Q15. Le transfert thermique de l'étape 2→ 3 est entièrement « payé » par le transfert thermique de l'étape 4 → 1. Q_{23} n'est donc plus une grandeur coûteuse.

$\eta_s = \frac{-(W_{12}+W_{34})}{Q_{34}}$ soit $\eta_s = \frac{(T_3-T_1)\ln(r)}{T_3 \ln(r)}$ ainsi $\eta_s = \frac{(T_3-T_1)}{T_3} = 1-\frac{T_1}{T_3}$

On retrouve le **rendement de Carnot** : rendement max obtenu dans le cas d'un cycle réversible.

Q16. $\eta_S = 0{,}4 \quad \eta_C = 0{,}4\left(1-\frac{T_1}{T_3}\right)$

AN : $\eta_S = 0{,}4 \times \left(1-\frac{60+273}{640+273}\right) = 0{,}25$ or $\eta_S = \frac{P_{méca}}{P_{th}}$ donc $P_{th} = 708 \ W$

Partie 3 :

Q17. La transformation 2→ 3 consiste en un chauffage à pression constante suivi d'un changement d'état, qui s'effectue à T et P constants (palier de changement d'état). 2 → 3 est donc entièrement à pression constante d'où l'allure horizontale sur le cycle. A la fin, comme l'évaporation a lieu jusqu'à la dernière goutte, le point 3 est sur la courbe de saturation.

La transformation 3→ 4 étant adiabatique (Se = 0) et réversible (Sc = 0), il s'agit d'une isentropique ($\Delta S = 0$) c'est pourquoi la courbe suit une courbe d'iso-entropie).

Q18. 1er principe industriel (ou 1er principe en écoulement) appliqué au fluide lors de la transformation dans la chaudière (2 → 3) : $\Delta(h_{2-3}+e_c+e_p) = w_c+q_c$. Comme on néglige les variations de vitesse et d'altitude du fluide, $e_c = e_p = 0$ et comme il n'y a pas de pièces mobiles dans la chaudière : $w_c = 0$. On a donc : $q_c = \Delta h_{2-3} = h_3 - h_2$ A.N. $q_c = 2648 - 111 = 2537 \ kJ.kg^{-1}$

Q19. 1er principe industriel (ou 1er principe en écoulement) appliqué au fluide lors de la transformation dans la turbine (3 → 4) : $\Delta(h_{3-4}+e_c+e_p) = \Delta h_{3-4} = w_t+q_t = w_t$ car la détente est adiabatique dans la turbine.

$w_t = \Delta h_{3-4} = h_4 - h_3$ A.N. $w_t = 1592 - 2648 = -1056 \ kJ.kg^{-1}$

Q20. P_t est la puissance reçue <u>par la turbine</u> et non <u>par le fluide</u> de la part de la turbine : $P_t = -D_{m1} w_t$ A.N. $P_t = +1056 \ kW \simeq 1 \ MW$

Q21. Au point 4, le fluide est biphasé : une partie est liquide et une partie est gazeuse. L'étape 4 → 1 consiste donc en la liquéfaction (« condensation ») du gaz (d'où le nom de condenseur).

Q22. 1er principe indus au fluide de la machine : $\Delta h_{4-1} = w_{4-1}+q_{4-1} = q_{4-1}$ car il n'y a pas de pièces mobiles dans l'échangeur thermique et donc $D_{m1}\Delta h_{4-1} = P_{4-1}$ où P_{4-1} est la puissance thermique reçue par le fluide de la machine dans l'échangeur thermique.

L'échangeur étant calorifugé, la puissance thermique reçue par l'eau de chauffage est l'opposée de celle reçue par le fluide : $P_d + P_{4-1} = 0$ donc $P_d = -D_{m1}\Delta h_{4-1}$ A.N. $P_d = -(1{,}0)*(111-1592) = +1481 \ kW$

Q23. 1er principe indus à l'eau de chauffage : $D_d \Delta h = P_d$ avec $\Delta h = c_{eau}\Delta T = c_{eau}(T_d(x=L) - T_d(x=0))$ d'où $D_d = \frac{P_d}{c_{eau}(T_d(x=L)-T_d(x=0))}$ A.N. D_d = 6,44 $kg.s^{-1}$

Q24. L'efficacité correspond à « ce qu'on veut », ici la puissance mécanique produite dans la turbine et la puissance thermique produite dans l'échangeur, sur « ce qui coûte », ici la chaleur fournie par la chaudière donc $e_{cogen} = \frac{P_d+P_t}{q_c}$. A.N. $e_{cogen} = \frac{-D_{m1}\Delta h_{4-1} - D_{m1}w_t}{D_{m1}\Delta h_{2-3}} = \frac{-\Delta h_{4-1} - w_t}{\Delta h_{2-3}} = \frac{1481+1056}{2537} = 1$ cohérent car dans le modèle étudié, il n'y a pas de fuites prises en compte.