

Thermodynamique - Examen.

(Durée : 2h. Documents non autorisés. Calculatrice autorisée.)

[formulaire : on rappelle les lois de Laplace $PV^\gamma = cste$; $TV^{\gamma-1} = cste$; $T^\gamma P^{1-\gamma} = cste$]

Exercice 1 - Cycle de gaz parfait.

On considère 0.1 mole de gaz parfait diatomique ($\gamma = 1.4$) enfermé dans un cylindre fermé par un piston mobile. On dispose de deux sources thermiques aux températures T_c et T_f que l'on utilise pour faire subir au gaz le cycle suivant :

1→2 : compression isentropique

2→3 : chauffage isobare par contact avec la source chaude

3→1 : refroidissement isochore par contact avec la source froide

On donne : $P_1 = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 300 \text{ K}$; $P_2 = 2 \text{ bar}$

- 1) Proposer un cycle : le tracer dans le diagramme de Clapeyron.
- 2) Calculer les pressions et les températures aux différents sommets du cycle.
- 3) Le cycle est-il moteur ou récepteur ?
- 4) Quelle est la température minimale T_{fM} de la source froide ? La température maximale T_{cM} de la source chaude ? On supposera par la suite que les sources sont à ces températures.
- 5) Préciser le sens des transferts thermiques entre les sources et le gaz.
- 6) Calculer ces transferts thermiques.
- 7) Calculer l'entropie créée dans l'Univers au cours d'un cycle.
- 8) Le cycle est-il réversible ? Si non, analyser les causes d'irréversibilité.

Exercice 2 - Vaporisation de l'eau

De l'eau est maintenue à l'équilibre liquide/vapeur dans un cylindre fermé par un piston mobile maintenant une pression constante de 1.013 bar. La température de saturation de l'eau est de 100°C à cette pression.

- 9) Calculer la chaleur Q reçue par l'eau lorsque la masse de liquide passe de 200 g à 120 g.
- 10) Calculer la variation de volume de la phase liquide et celle de la phase vapeur.
- 11) En faisant une approximation, calculer le travail de la force exercée par le piston sur la vapeur d'eau au cours de cette transformation.

On donne :

- volume massique du liquide saturant : $v_L = 1 \text{ L.kg}^{-1}$;
- de la vapeur saturante : $v_v = 1673 \text{ L.kg}^{-1}$;
- enthalpie massique de vaporisation de l'eau $L_v = 2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Exercice 3 - Surfusion de l'eau

On place un récipient contenant 10 mL d'eau à l'extérieur, un jour où la température est -5°C . L'eau, initialement liquide, atteint la température de -5°C tout en restant à l'état liquide. Spontanément, la totalité de l'eau se transforme alors en glace à -5°C .

12) Calculer la création d'entropie lors de cette transformation.

On donne :

- enthalpie massique de fusion de l'eau à 0°C : $L_f = 333 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2.1 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

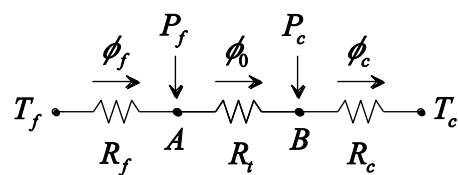
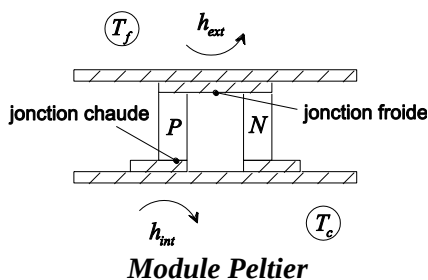
Exercice 4 - Sources de capacités thermiques finies pour une machine thermique

Une machine thermique fonctionne réversiblement à partir du temps $t = 0$ entre deux masses d'eau liquide, l'une de valeur $m_f = 20 \text{ kg}$, l'autre de valeur $m_c = 50 \text{ kg}$. Les températures initiales des masses d'eau sont égales à 20°C et c'est la masse d'eau m_f que l'on cherche à refroidir jusqu'à 0°C . La capacité thermique massique c de l'eau liquide est égale à $c_e = 4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. La puissance mécanique fournie à la pompe est constante de valeur $P_m = 100 \text{ W}$. On admet qu'il n'y a pas de transferts thermiques autres qu'entre les sources et la machine. On note T_f et T_c les températures de la source chaude et de la source froide à un temps donné t . Elles sont supposées uniformes. Pendant le fonctionnement de la machine entre les temps t et $t + dt$, les chaleurs reçues par la machine de la part de la source chaude et de la source froide sont respectivement δQ_c et δQ_f .

- Exprimer la relation entre les variations dT_f et dT_c des températures des deux sources entre les temps t et $t + dt$.
- Calculer la température finale de la source chaude T_c^F lorsque la température de la source froide atteint sa valeur finale T_f^F .
- Calculer la chaleur Q_f prise à la source froide et la chaleur Q_c fournie à la source chaude.
- Calculer le travail W fourni à la machine.
- Calculer la durée de fonctionnement τ de la machine.

Exercice 5 - Pompe à chaleur thermoélectrique

On considère une pompe à chaleur « idéale » ($R_f = 0$ et $R_c = 0$) à thermo-éléments de coefficient Seebeck α . On note I le courant d'alimentation et R_{elec} la résistance électrique des thermo-éléments.



**Modèle thermique équivalent
par analogie électrique**

- Donner l'expression du COP en rappelant ce qu'il représente.
- Donner les expressions de P_f et P_c en fonction de R_{elec} , I , α , $T_A = T_f$ et $T_B = T_c$ supposés connus.
- Donner l'expression de W_e en fonction de R_{elec} , I , α , T_A et T_B .
- Après avoir calculé ϕ_0 à partir de la branche A-B, donner les expressions de ϕ_c et ϕ_f en fonction de P_c , P_f , R_t , T_A et T_B à partir des lois aux nœuds A et B.
- Montrer que $\phi_c = \phi_f + W_e$. En déduire l'expression du COP en fonction de ϕ_c et ϕ_f .