T70. Contact thermique.

Deux solides de même masse m, de même capacité thermique massique c supposée constante, et de températures initiales T_1 et T_2 respectivement pour le solide chaud et le solide froid, sont placés dans une enceinte rigide et adiabatique. Ils sont alors mis en contact.

1) Exprimer la température finale T_f correspondant à l'équilibre.
   On pourra noter T_{FR} et T_{CH} les températures des deux solides à un instant quelconque. On utilisera le premier principe.
2) On donne la formule donnant la variation élémentaire d'entropie d'un système homogène $dS = \dfrac{d\mathscr{U} + pdV}{T}$.
   En déduire la variation d'entropie ΔS de l'ensemble des deux solides. *On posera $\Delta S = \Delta S_{FR} + \Delta S_{CH}$.*
   Déterminer le signe de ΔS par deux méthodes, l'une utilisant le 2e principe, l'autre se basant sur un calcul.

T72. Climatiseur.

Un local, de capacité thermique $C = 4.10^3$ kJ/K, est initialement à la température de l'air extérieur $T_0 = 305$ K. Un climatiseur, fonctionnant de façon cyclique réversible ditherme entre l'air extérieur comme source chaude et le local comme source froide, ramène la température du local à 293 K en 1 h.

1) Exprimer le coefficient de performance frigorifique et montrer qu'il décroît au cours de l'expérience.
2) Utiliser ce coefficient pour exprimer la quantité de travail élémentaire consommé pendant la durée dt en fonction de la quantité de chaleur élémentaire évacuée par le local.
3) Quelle est la puissance électrique moyenne $\mathscr{P}$ reçue par le climatiseur ?

Rép : 269 W

T73. CoP d'un réfrigérateur, d'une pompe à chaleur.

1) Définir le coefficient de performance théorique d'un réfrigérateur. Exprimer celui-ci en fonction des températures T_{FR} et T_{CH} des sources froide et chaude, sachant qu'il vaut $x = 35\ \%$ du coefficient de performance théorique optimale (fonctionnement réversible). Application numérique : $T_{FR} = 4$ °C, $T_{CH} = 20$ °C.
2) Mêmes question pour une pompe à chaleur. Application numérique : $x = 35\ \%$, $T_{FR} = 0$ °C, $T_{CH} = 20$ °C.

T75. Pompe à chaleur.

On désire maintenir dans un appartement de capacité thermique $C = 10^7$ J.K^{-1} une température constante $T_1 = 290$ K grâce à une pompe à chaleur utilisant comme source froide un lac de température $T_0 = 280$ K. La température extérieure est uniformément égale à T_0. Il faut évidemment pour cela dépenser la puissance $\mathscr{P}$ juste nécessaire pour compenser les pertes de chaleur.

1) Dans le but d'évaluer ces pertes, on arrête le chauffage, la température de l'appartement étant initialement T_1. Au bout de $\Delta t = 2$ h, la température n'est plus que $T_2 = 285$ K.

1-a) On désigne par Φ le flux thermique à travers les parois du local, grandeur algébrique orientée des températures chaudes vers les températures froides. On donne $\Phi = -\dfrac{dQ}{dt}$.
Quelle est la dimension de Φ ? En déduire son unité. Justifier le signe "–" de la formule.

1-b) On définit la résistance thermique R_{th} par la relation $\Delta T = R_{th}\Phi$ (notez l'analogie avec la loi d'Ohm), ΔT désignant l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur : $\Delta T = T - T_0$, T représentant la température de l'appartement.
Exprimer la quantité élémentaire de chaleur dQ échangée par l'appartement pendant la durée élémentaire dt en fonction de T, T_0 et R_{th}. Dans la suite de l'exercice, cette quantité sera notée δQ.

1-c) L'appartement est assimilé à un système de capacité thermique $C_V \approx C_P = C = 10^7$ J.K^{-1}.
Exprimer δQ en fonction de C et de la variation élémentaire de température dT. En déduire la résistance thermique des parois en fonction de C, Δt et des températures. Application numérique.

2) Pompe à chaleur en fonctionnement stationnaire : la température est maintenant T_1 constante dans l'appartement.

2-a) Représenter le diagramme fonctionnel de la machine.

2-b) Exprimer le coefficient de performance thermique en fonction de W et Q_{CH}, puis en fonction de $\mathscr{P}$ (la puissance de la PAC) et Φ.

2-c) Le coefficient de performance réel de la machine n'est que la fraction $x = 15\ \%$ du coefficient de performance théorique optimale. Exprimer CoP_T en fonction de CoP_{TO}, puis en fonction de x, T_0 et T_1. Application numérique.

2-d) Quelle est la puissance $\mathscr{P}$ à fournir pour maintenir une température T_1 constante dans l'appartement ? On exprimera $\mathscr{P}$ en fonction de CoP_T, R_θ, T_0 et T_1. Application numérique.

T76. Connaissez-vous la ferme aux crocodiles ?

Une centrale nucléaire fournissant une puissance $\mathscr{P} = 1\,000$ MW à la turbine d'un alternateur est installée au bord d'un fleuve dont la température est $T_{FR} = 14$ °C, et le débit $D_V = 400\ \mathrm{m^3/s}$. La température de la source chaude est $T_{CH} = 700$ K. On admet que le rendement réel est seulement la fraction $x = 60\ \%$ du rendement théorique optimal. On s'intéresse à l'élévation de température du fleuve qui résulte du fonctionnement. On donne pour l'eau : $c = 4180\ \mathrm{J.K^{-1}.kg^{-1}}$.

1) Représenter le diagramme fonctionnel de la machine. S'agit-il d'une machine motrice ou réceptrice ?
2) Exprimer puis calculer numériquement le rendement théorique optimal η_0 de la machine. En déduire la valeur du rendement réel η.
3) Rappeler la définition du rendement. En déduire la puissance $\mathscr{P}_{CH}$ reçue par le fluide caloporteur en fonction de $\mathscr{P}$ et η. Application numérique.
4) Exprimer la puissance thermique $\mathscr{P}_{fleuve}$ reçue par le fleuve en fonction de $\mathscr{P}$ et $\mathscr{P}_{CH}$. Application numérique.
5) En déduire l'élévation de température ΔT du fleuve.

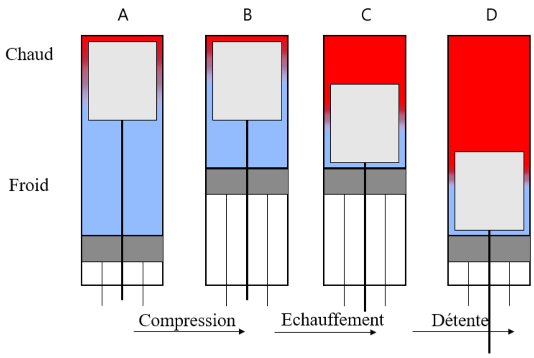
Rép : 1,1 °C

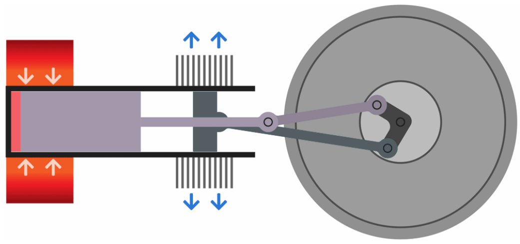
T79. Moteur de Stirling

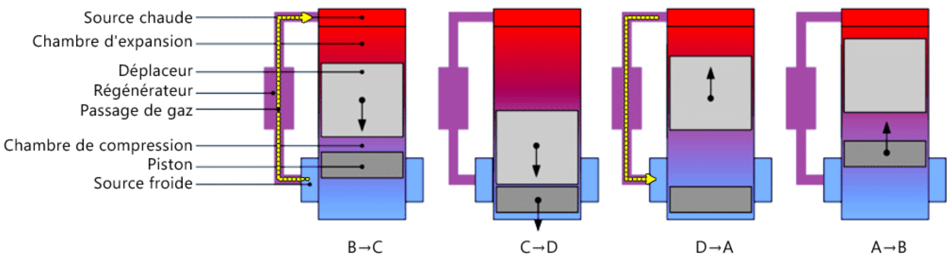
Le moteur Stirling est un moteur à combustion externe et à fluide de travail en cycle fermé. Le fluide est un gaz soumis à un cycle comprenant quatre phases (voir ci-dessous). Robert Stirling a inventé en 1816 le moteur à air chaud et, pour améliorer son efficacité, l'a muni d'un régénérateur, qui assure une fonction de stockage thermique et d'échangeur interne. Cet élément singularise le moteur Stirling par rapport aux autres moteurs. Il a considérablement amélioré sa performance, lui donnant un réel développement en thermodynamique.

Considérons n moles d'un gaz parfait de coefficient isentropique γ parcourant un cycle de Stirling :

- A → B : compression isotherme à la température T_{FR}. On note $a = \dfrac{V_A}{V_B}$ le taux de compression.
- B → C : échauffement isochore jusqu'à la température $T_{CH} > T_{FR}$.
- C → D : détente isotherme à la température T_{CH}.
- D → A : refroidissement isochore.







1) Tracer ce cycle dans un diagramme de Clapeyron.
2) Déterminer, au cours d'un cycle, la quantité de chaleur Q_{CH} reçue par le système, la quantité de chaleur Q_{FR} cédée par le système et le travail produit par le système, en fonction de R et des données.
3) En déduire le rendement ce moteur en fonction de a, γ, T_{CH} et T_{FR}, et le comparer au rendement théorique optimal correspondant.
4) On suppose qu'un régénérateur parfait permette de récupérer entièrement l'énergie nécessaire au réchauffage isochore au cours du refroidissement isochore. Comparer à nouveau le rendement de ce moteur de Stirling au rendement théorique optimal.