

T60. Cycle d'un turboréacteur

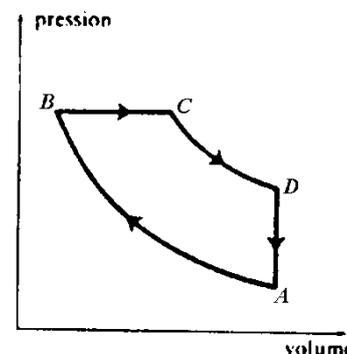
Tracer dans le diagramme de Clapeyron le cycle quasistatique d'un turboréacteur, composé d'une compression adiabatique AB, d'un chauffage isobare BC, d'une détente adiabatique CD, et d'un refroidissement isobare DA. Exprimer le rendement en fonction du rapport de compression $a = p_B/p_{A'}$ et du coefficient γ du gaz supposé parfait.

Rép : $\eta = 1 - a^{(1-\gamma)/\gamma}$

T61. Cycle de Diesel

Dans le cycle de Diesel le premier temps (représenté par AB) est une compression adiabatique de l'air seul avec un rapport volumétrique assez élevé. Le carburant n'est injecté dans le cylindre qu'à partir de B. La température en B est suffisante pour que le mélange s'enflamme spontanément (sans l'aide de bougies). Le taux d'injection est réglé de manière que la pression reste constante pendant la phase BC de la détente. On arrête l'injection en C et on laisse le mélange se détendre adiabatiquement selon CD. En D le piston est alors au point mort bas : on suppose un refroidissement isochore DA.

Exprimer le rendement du cycle en fonction du coefficient isentropique γ (supposé constant et indépendant de la composition du mélange), du rapport volumétrique à la compression $a = V_A/V_{B'}$ et du rapport volumétrique à la détente $b = V_D/V_C$. On suppose les gaz parfaits.



T62. Cycle de l'air dans un moteur Diesel à double combustion.

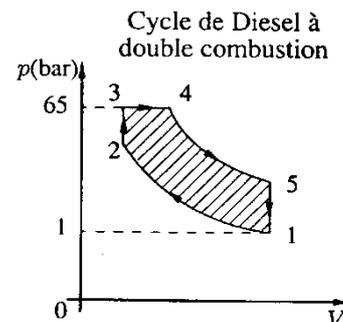
Dans les moteurs Diesel actuels, le cycle décrit par l'air est celui représenté sur la figure dans le diagramme de Clapeyron (p, V) : la pression en 1 est 1 bar et la température 293 K. La pression maximale est 65 bar et la température maximale (en 4) vaut 2 173 K. 1→2 et 4→5 sont adiabatiques.

On suppose que l'air est un gaz parfait d'indice adiabatique $\gamma = 1,4$ et de masse molaire $M = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. On donne le taux de compression : $\alpha = V_1/V_2 = 19$. On indique que la combustion a lieu durant les phases 2→3 et 3→4.

1) Exprimer, en fonction de $\gamma = C_p/C_v$, et des températures T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 des points correspondants sur le diagramme, le rendement η_M du moteur Diesel à double combustion.

2) Calculer T_2, T_3 et T_5 . En déduire la valeur de η_M .

3) Quelle est, en kJ, la chaleur reçue par 1 kg d'air au cours de l'évolution entre les points 2 et 4 ? Quelle est la chaleur reçue entre les points 5 et 1 ? En déduire le travail fourni par 1 kg d'air au milieu extérieur au cours d'un cycle.



T63. Cycle Beau de Rochas.

En ce qui concerne les échanges énergétiques, le cycle du moteur à quatre temps peut être ramené théoriquement au cycle suivant :

1°) Une compression adiabatique AB de $\{V_0, T_A\}$ à $\{V_0/a, T_B\}$.

2°) Un échauffement isochore BC au cours duquel le gaz reçoit la quantité de chaleur Q_{CH} . Il atteint en C la température T_C .

3°) Une détente adiabatique CD jusqu'au volume V_D (la température est alors T_D).

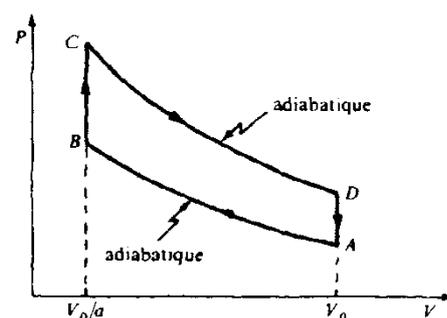
4°) Un refroidissement isochore DA au cours duquel le gaz fournit à la source froide la quantité de chaleur Q_{FR} .

1) Déterminer le rendement du cycle en fonction de a et du rapport γ supposé constant, le gaz étant considéré comme parfait.

2) En admettant que le mélange combustible a un pouvoir calorifique de 2760 J par gramme de mélange, et en assimilant ce dernier à l'air ($c_v = 0,71 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $\gamma = 1,4$) déterminer la température en fin d'explosion (point C du cycle). On donne la température du milieu extérieur $T_A = 300 \text{ K}$, on prendra pour rapport volumétrique $a = 9$.

3) En imaginant une machine idéale fonctionnant entre T_C et T_A , calculer son rendement $\eta_{MO} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$ (voir chapitre T5),

nommé rendement théorique optimal, et le comparer au rendement théorique du cycle Beau de Rochas.

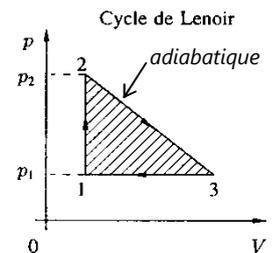


T64. Cycle de Lenoir

Le premier moteur à combustion interne à 2 temps a fonctionné suivant un cycle de Lenoir :

- 1^{er} temps : entrée du mélange air-combustible et allumage avec explosion en 1.
2^{ème} temps : entre 1 et 2, combustion fournissant de la chaleur, puis entre 2 et 3, détente adiabatique réversible et enfin échappement isobare entre 3 et 1.

Pour un tel cycle décrit par de l'air, supposé parfait, exprimer le rendement η_M du cycle moteur en fonction du coefficient isentropique γ et du rapport de compression $\alpha_p = p_2/p_1$, p_2 étant la pression au point 2 et p_1 celle au point 1. Application numérique : Calculer η_M pour $\alpha_p = 5$.



T65. CoP d'un réfrigérateur, d'une pompe à chaleur.

- 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 : $T_{FR} = 4^\circ\text{C}$, $T_{CH} = 20^\circ\text{C}$.
- Mêmes question pour une pompe à chaleur. Application numérique : $x = 35\%$, $T_{FR} = 0^\circ\text{C}$, $T_{CH} = 20^\circ\text{C}$.

T66. 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.

- Exprimer le coefficient de performance frigorifique et montrer qu'il décroît au cours de l'expérience.
- 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.
- Quelle est la puissance électrique moyenne \mathcal{P} reçue par le climatiseur ?

Rép : 269 W

T67. 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 \mathcal{P} juste nécessaire pour compenser les pertes de chaleur.

- 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.
 - 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 $\Phi = -\frac{dQ}{dt}$.
Quelle est la dimension de Φ ? En déduire son unité. Justifier le signe "-" de la formule.
 - 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 \mathcal{Q} .
 - L'appartement est assimilé à un système de capacité thermique $C_V \approx C_p = C = 10^7$ J.K⁻¹. Exprimer \mathcal{Q} 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.
- Pompe à chaleur en fonctionnement stationnaire : la température est maintenant T_1 constante dans l'appartement.
 - Représenter le diagramme fonctionnel de la machine.
 - Exprimer le coefficient de performance thermique en fonction de W et Q_{CH} , puis en fonction de \mathcal{P} (la puissance de la PAC) et Φ .
 - 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_{T0} , puis en fonction de x , T_0 et T_1 . Application numérique.
 - Quelle est la puissance \mathcal{P} à fournir pour maintenir une température T_1 constante dans l'appartement ? On exprimera \mathcal{P} en fonction de CoP_T , R_{th} , T_0 et T_1 . Application numérique.

T68. Connaissez-vous la ferme aux crocodiles ?

Une centrale nucléaire fournissant une puissance $\mathcal{P} = 1\,000$ 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 $D_V = 400$ m³/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 : $c = 4180$ 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 \mathcal{P}_{CH} reçue par le fluide caloporteur en fonction de \mathcal{P} et η . Application numérique.
- 4) Exprimer la puissance thermique \mathcal{P}_{fleuve} reçue par le fleuve en fonction de \mathcal{P} et \mathcal{P}_{CH} . Application numérique.
- 5) En déduire l'élévation de température ΔT du fleuve.

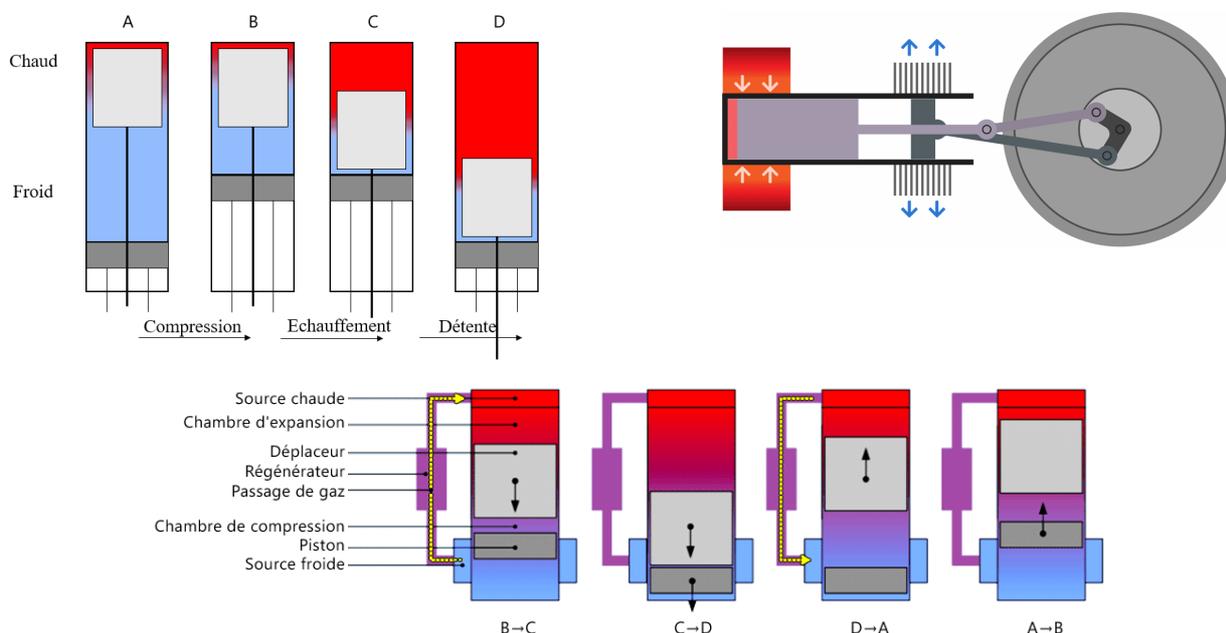
Rép : 1,1 °C

T69. 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 $a = \frac{V_A}{V_B}$ 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.