

Exercices 1, 2 et 4 : cycles pour des systèmes fermés (sup); exercice 3 : changement d'état (sup); exercice 4 : cycle avec écoulement (spé)

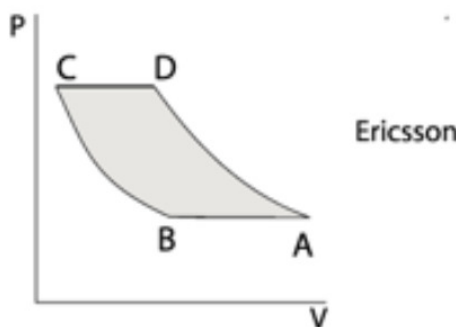
Exercice 1 : Cycle de Carnot

Le cycle de Carnot est défini par le cycle ABCD suivant :
 AB : compression isotherme réversible à la température T_1 .
 BC : compression adiabatique réversible.
 CD : détente isotherme réversible à la température T_2 .
 DA : détente adiabatique réversible.
 On considère que ce cycle est parcouru par un gaz parfait.

1. Représenter ce cycle en coordonnées de Clapeyron, puis dans un diagramme entropique. Commenter.
2. On appelle rendement du cycle, le rapport entre le travail total fourni par le gaz à l'extérieur au cours d'un cycle (énergie utile) et le transfert thermique reçu par le gaz en provenance de la source chaude à la température T_2 (énergie coûteuse). Calculer ce rendement.
3. Que se passe-t-il si le gaz n'est pas parfait ?

Exercice 2 : cycle d'Ericsson

C'est un cycle réversible, symétrique. Il est constitué de 2 isothermes et de 2 isobares.



1. Le cycle parcouru dans le sens ABCDA est-il un cycle moteur ?
2. Le système est de l'air (n moles de gaz parfait; C_{vm} constante) qui parcourt le cycle dans le sens ABCDA. T_C : température le long de l'isotherme DA (source chaude), et T_F : température le long de l'isotherme BC (source froide).
 - (a) Exprimer le travail échangé par l'air avec l'extérieur au cours des 4 étapes du cycle en fonction de T_C , T_F , P_{max} , P_{min} , n et R .
 - (b) Exprimer les transferts thermiques échangés par l'air avec l'extérieur au cours des 4 étapes du cycle en fonction de T_C , T_F , P_{max} , P_{min} , C_{pm} , n et R .
 - (c) Construire un tableau donnant ΔU , ΔH , W et Q dans chacune des 4 transformations et dans le cycle complet.

Exercice 3 : Surfusion

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 .

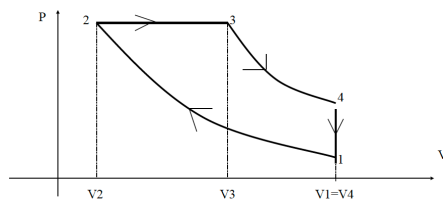
Calculer la création d'entropie.

Données

- Enthalpie massique de fusion de l'eau à 0°C : $\Delta_{fus}H = 333 \text{ J.g}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$
- Les expressions des variations d'entropie pour des phases condensées sont à récupérer dans votre cours (non exigible).

Exercice 4 : Moteur Diesel

On considère le cycle Diesel modélisé ci-dessous :



Un dixième de mole de gaz parfait subit les transformations suivantes :

État (1) vers État (2) : compression adiabatique réversible

État (2) vers État (3) : détente isobare réversible

État (3) vers État (4) : Détente adiabatique réversible État (4) vers État (1) : refroidissement isochore

Chaque état i est défini par la pression P_i , la température T_i et le volume V_i (i variant de 1 à 4).

On appelle γ le rapport des capacités thermiques molaires $\frac{C_{pm}}{C_{vm}}$.

On définit : $a = \frac{V_1}{V_2}$ et $b = \frac{V_1}{V_3}$

1. Donner les expressions de la pression, du volume et de la température pour les états (2), (3) et (4) en fonction de P_1 , V_1 , T_1 , a et b . AN pour les températures et les pressions.
2. Calculer les travaux et transferts thermiques échangés pour toutes les transformations subies. Préciser notamment le sens des échanges. AN.
3. Proposer une expression pour le rendement r d'un moteur fonctionnant suivant ce cycle, en fonction des travaux et transferts thermiques échangés. Donner l'expression du rendement r en fonction de γ , a et b . Calculer r et vérifier la valeur trouvée.

Données numériques : $\gamma = 1,4$; $a = 9$; $b = 3$; $P_1 = 1.10^5$ Pa ; $T_1 = 300$ K ; $R = 8,314$ J.K⁻¹.mol⁻¹ ; $C_{vm} = 20,8$ J.K⁻¹.mol⁻¹

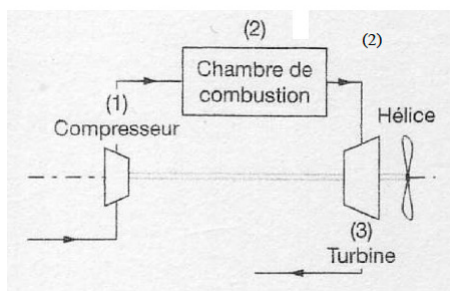
Exercice 5 : turbopropulseur

Un turbopropulseur est un moteur à réaction dont l'organe essentiel est constitué par une turbine à gaz dont le rôle est d'entraîner, outre le compresseur, l'hélice propulsive.

- *Première phase* (1) : l'air, à la température $T_0 = 280$ K et à la pression $P_0 = 1$ bar est aspiré dans le compresseur qui le porte aux conditions $P_1 = 10$ bar et T_1 par une évolution supposée adiabatique et réversible. On appellera w'_1 le travail fourni par le compresseur à l'unité de masse d'air. Les vitesses d'écoulement seront négligées.
- *Deuxième phase* (2) : à la sortie du compresseur, l'air pénètre dans la chambre de combustion où sous pression constante P_1 , sa température est portée à la valeur $T_2 = 1000$ K. On appellera q_2 le transfert thermique fourni à l'unité de masse d'air dans cette transformation.
- *Troisième phase* (3) : l'air parvient alors à la turbine où il subit une détente adiabatique réversible. On négligera les vitesses d'écoulement aussi bien à l'entrée qu'à la sortie de la turbine. À la fin de cette détente, la pression de l'air est $P_3 = P_0$ et sa température est T_3 . On appellera w'_3 le travail que l'unité de masse d'air fournit à la turbine pendant la détente.
- *Quatrième phase* (4) : l'air est rejeté dans l'atmosphère extérieure où il se refroidit à pression constante P_0 de la température T_3 à la température T_0 .

Le cycle du turbopropulseur est assimilable à un cycle de Joule, composé donc de deux isobares et deux isentropiques. Le gaz utilisé est de l'air assimilé à un gaz parfait, de capacité thermique massique à pression constante c_P . On donne $\gamma = 1,4$ et $M = 29$ g.mol⁻¹, ce qui permet de trouver

$$c_P = \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)} = 10^3 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$



1. Représenter schématiquement le cycle dans un diagramme de Clapeyron (valeurs numériques pas obligatoires).
2. Rappeler l'expression du premier principe en écoulement.
3. Déterminer et calculer T_1 et w'_1 .
4. Déterminer et calculer q_2 .
5. Déterminer et calculer T_3 et w'_3 (attention au signe).
6. En déduire le rendement η du turbopropulseur.