

ER41 : Physique pour l'énergie - Final Printemps 2014

Durée : 2h. Documents papiers et électroniques non autorisés, Les réponses se feront sur le sujet. Calculatrices autorisées. Le barème est donné à titre indicatif.

NOM :

Signature :

PRENOM :

1 Centrale nucléaire (2 pts)

Expliquer le fonctionnement général d'une centrale nucléaire. Quels est le modérateur et le fluide caloporteur dans le cas d'un réacteur de type RBMK ?

2 Quelques petites questions. Entourez la bonne réponse (2 pts)

- a) Un système isolé ne peut pas échanger de la matière avec le milieu extérieur, mais peut échanger de l'énergie : vrai faux
 - b) La variation d'énergie interne d'un système ne dépend que de l'état initial et de l'état final et pas de la nature de la transformation : vrai faux
 - c) Pour calculer la variation d'énergie interne d'un système, il faut nécessairement que son état initial et son état final soient des états d'équilibre thermodynamique : vrai faux
 - d) Lors d'une transformation isobare réversible, la quantité de chaleur échangée avec le milieu extérieur est égale à la variation d'enthalpie du système : vrai faux
 - e) Lors d'une transformation isotherme réversible, la quantité de chaleur échangée avec le milieu extérieur est nulle : vrai faux
 - f) Lors d'une transformation adiabatique réversible, le travail échangé avec le milieu extérieur est nul : vrai faux
 - g) Lors d'une transformation isotherme réversible la variation d'énergie interne d'un gaz parfait est toujours nulle : vrai faux
-
-

3 L'avis de l'ADEME (4 pts)

L'installation de pompes à chaleur (PAC) pour chauffer des habitations individuelles ou collectives est encouragée par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). Ce type de machine thermique permet d'exploiter l'énergie thermique de l'air environnant (aérothermie), du sous-sol (géothermie) ou de nappes d'eau souterraines (hydrothermie). On souhaite chauffer, à l'aide d'une pompe à chaleur aérothermique, une habitation qui, en trois heures, perd 874 J par transfert

thermique avec l'extérieur. Au cours d'un cycle de fonctionnement, la pompe à chaleur est alimentée par le biais d'une prise de courant et reçoit un travail W . L'air extérieur est à la température T_{ext} , la pompe à chaleur y puise une énergie thermique Q_{ext} . L'intérieur de l'habitation, que l'on souhaite maintenir à la température T_{int} , reçoit de la part de la pompe à chaleur un transfert thermique Q_{int} .

1. Pour le système (pompe à chaleur), établir le bilan énergétique durant un cycle de fonctionnement.
2. Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur est défini comme la valeur absolue du rapport de la puissance thermique fournie par la machine et de la puissance électrique nécessaire à son alimentation. Exprimer le coefficient de performance de la pompe à chaleur en fonction des différentes grandeurs apparues dans le bilan énergétique.
3. Quelle énergie électrique consomme une pompe à chaleur dont le coefficient de performance vaut 4 lors du chauffage pendant 3 heures de l'habitation décrite ?
4. Pourquoi l'ADEME encourage-t-elle l'installation de pompes à chaleur ?

4 Machine frigorifique (2 pts)

Les machines frigorifiques à absorption sont basées sur la variation avec la température de la solubilité des gaz dans les liquides. Elles fonctionnent schématiquement avec trois sources de chaleur telles que $T1 < T2 < T3$. Il n'y a aucune pièce métallique mobile : l'apport d'énergie électrique est entièrement employé à "vaporer" une solution d'ammoniac dans un générateur à température $T3$ (le fluide ne reçoit pas le travail électrique W_{el} mais la chaleur $Q_3 = W_{el}$, par exemple par effet Joule).

- L'ammoniac, après avoir été liquéfié (par une détente interne qui ne fait intervenir aucun transfert dans le bilan énergétique), est envoyé dans l'évaporateur à température $T1$ où il se vaporise en enlevant de la chaleur à la source froide.

remarque : l'énoncé dit "évaporateur" (et non vaporisateur) d'une part pour éviter la confusion avec le sens usuel du mot "vaporisateur" (dont le vrai nom est "brumisateur"), d'autre part car la vaporisation s'effectue à une température inférieure à la température de changement d'état usuelle, et donc à une pression plus faible que la pression atmosphérique usuelle.

- Les vapeurs vont ensuite se dissoudre dans l'eau au niveau d'un absorbeur à la température ambiante $T2$ en restituant de la chaleur au milieu extérieur.

remarque : la dissolution provoque une diminution de pression du gaz, d'où la faible pression de vaporisation dans l'évaporateur, correspondant à la détente (diminution de pression) préalable qui a provoqué la liquéfaction évoquée au début.

- La solution est ensuite chauffée par une résistance chauffante, ce qui provoque l'évaporation de l'ammoniac (effet de distillation : l'ammoniac est plus volatil que l'eau et sort de la solution en n'entraînant que très peu de vapeur d'eau). Le gaz ainsi séparé est à nouveau liquéfié par une détente, et ainsi de suite.

1. En supposant le fonctionnement idéal, exprimer le coefficient d'efficacité ("rendement") en fonction de $T1$, $T2$ et $T3$.
2. Comparer à l'efficacité d'une machine à compresseur n'utilisant que les deux sources $T1$ et $T2$.

Données : $T1 = 265$ K ; $T2 = 293$ K ; $T3 = 373$ K.

5 Un petit jus de fruit frais avant de continuer (3 pts)

On veut refroidir un verre de jus de fruit initialement à 30 degrés Celsius. La capacité calorifique du verre et du jus de fruit est de $550 J.K^{-1}$. On introduit alors une masse m de glace à 0 degré Celsius afin que la température finale de l'ensemble soit de 10 degrés Celsius.

1. En supposant que le système verre + jus de fruit + glace est thermiquement parfaitement isolé de l'extérieur, calculer la masse de glace m nécessaire.
2. En réalité, la masse de glace nécessaire est différente de la valeur trouvée précédemment. Est-elle supérieure ou inférieure ? Sachant que la différence est 30 % de m , calculer la chaleur reçue par le système (algébriquement, c'est-à-dire négativement si c'est arithmétiquement cédé par le système).

Données : capacité calorifique massique de l'eau liquide : $c = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$; enthalpie massique de fusion de la glace : $l_f = 330 \text{ J.g}^{-1}$.

6 Machine Thermique : Cycle de Diesel (4 pts)

Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas commandé par des éclateurs mais une compression élevée. L'air et le carburant sont comprimés séparément, le carburant n'étant injecté que dans la chambre de combustion et progressivement. Le premier moteur de ce type a été mis au point par l'allemand R. Diesel en 1893. Il fonctionne suivant le cycle éponyme constitué de deux isentropiques, d'une isobare et d'une isochore. Plus précisément, le cycle peut être décrit en quatre temps :

- un cylindre admet l'air seul à travers une soupape d'admission dans un volume V_A (portion I-A du cycle).
- les soupapes sont fermées. L'injection de combustible démarre au point B et est progressive jusqu'à un point C de sorte que la pression reste constante.
- les soupapes sont toujours fermées et les produits de la combustion subissent une détente isentropique en repoussant le piston jusqu'à sa position initiale (portion CD).
- La soupape d'échappement s'ouvre : la pression chute brutalement (portion DA), et les gaz brûlés sont évacués.

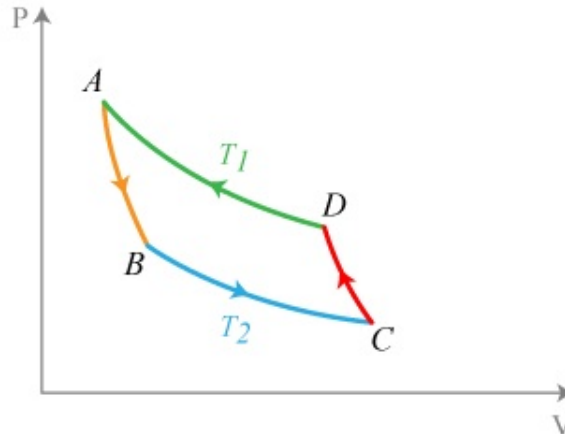
Le cycle est caractérisé par le taux de compression volumétrique α qui vaut $\frac{V_A}{V_B}$ et le rapport de détente préalable β qui vaut $\frac{V_C}{V_B}$. Les températures du mélange en A et C valent $T_A = 293\text{K}$ et $T_C = 1220\text{K}$.

1. Tracer schématiquement ce cycle de Diesel dans le diagramme de Clapeyron, en faisant figurer les 5 points I, A, B, C, et D.
2. Identifier sur le cycle les quantités de chaleur échangées et leurs signes, les travaux fournis et leurs signes, et écrire le bilan thermique sur un cycle.
3. Donner l'expression des quantités de chaleur échangées et donner l'expression de l'efficacité η_m de ce moteur thermique. Faire l'application numérique.
4. Montrer que l'efficacité de ce moteur ne dépend que du taux de compression α et du rapport de détente β .

Pour l'application numérique, on considère : $\gamma = 1,4$, $\alpha = 14$ et $\beta = 1,55$.

7 Machine Thermique : Chauffage d'une maison (3 pts)

Une pompe à chaleur utilisée pour le chauffage d'une maison individuelle fonctionne suivant un cycle supposé réversible (deux isothermes de deux isentropiques) et est reliée à deux sources : l'eau d'une rivière souterraine à la température $T_1 = 10^\circ\text{C}$ constante pendant toute l'année, et l'eau circulant dans un plancher chauffant à la température de $T_2 = 35^\circ\text{C}$. Le cycle est décrit sur la figure suivante :



Le fluide frigorigène utilisé est le R134a. Le compresseur fournissant du travail au fluide frigorigène a un rendement volumétrique r_V égal à 0,89 et un rendement mécanique et électrique r_{me} égal à 0,8. En hiver, alors que la température extérieure est de $-2\text{ }^\circ\text{C}$, la maison est maintenue à la température de $18\text{ }^\circ\text{C}$. Les besoins calorifiques pour maintenir cette température sont évalués à 6 kW .

1. Déterminer l'expression du flux de chaleur Φ à fournir à l'habitation en fonction du travail mécanique fourni par le compresseur, les températures T_1 et T_2 , et du nombre de cycles par seconde effectués par le R134a.
2. Donner l'expression de la puissance électrique P_e à fournir au moteur. Faire l'application numérique et comparer à celle consommée pour chauffer la maison directement avec des radiateurs électriques.
3. Calculer le nombre de cycles par seconde que doit effectuer le R134a afin de répondre au besoin de chauffage de l'habitation.

Données : Le cycle est caractérisé par $V_B = 0,3\text{ l}$, $V_C = 1\text{ l}$. Le R134a est admis sous forme de vapeur à l'entrée du compresseur à la pression $P_C = 4,14\text{ bars}$.

8 Il y a toujours une solution *Exercice bonus* (3 pts)

En 1947, Sir. Geoffrey Taylor a réussi à estimer l'énergie générée par l'explosion de la première bombe atomique dans le désert du nouveau Mexique en utilisant les images d'un film réalisé par J.E. Mack. Bien que ce film ait été déclassifié en 1947, les données énergétiques étaient quant à elles toujours secrètes. Son analyse était basée sur l'analyse dimensionnelle. Il a considéré qu'une explosion correspond à un dégagement d'une grande quantité d'énergie à partir d'une source pouvant être considérée comme ponctuelle. Partant de ce constat, il a supposé que l'onde engendrée pouvait être approximée à une sphère dont le rayon dépend de E l'énergie de l'explosion, t le temps depuis l'explosion, ρ_0 la densité de l'air ambiante à t_0 et P_0 la pression de l'air ambiante à t_0 .

1. Rappeler l'énoncé du théorème de Buckingham. Quel en est l'intérêt ?
2. Donner les dimensions des grandeurs impliquées.
3. Appliquer le théorème de Buckingham pour donner la relation liant ces variables.