

Sujet Final ER41 A2016

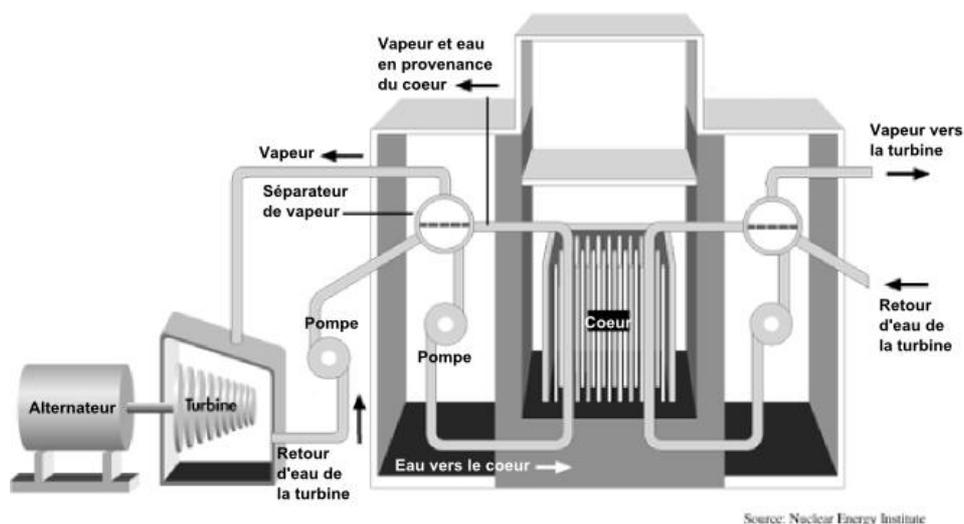
Nom:
Prénom:

Signature:

Aucun document autorisé - durée 2h

Question de cours

Dessiner le schéma général d'une centrale nucléaire de type RBMK. Quel est le fluide caloporteur? Quel est le modérateur? Quel est le principal problème de ce type de centrale ?



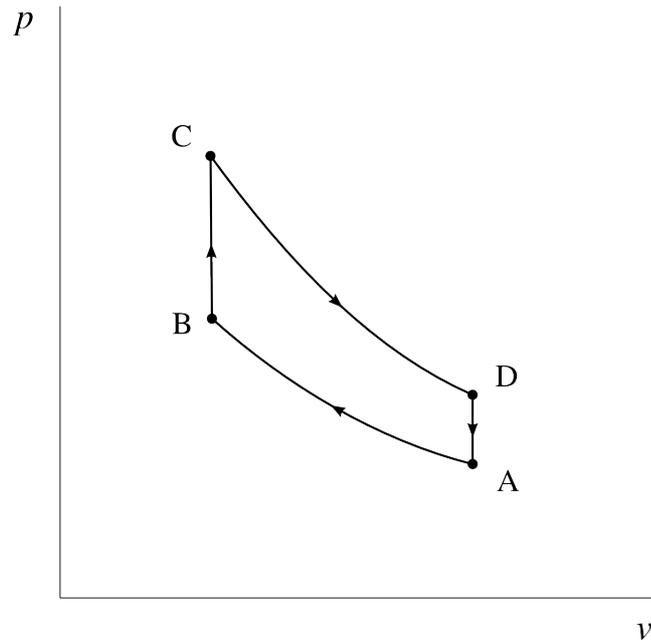
Variante de Filière graphite gaz. Modérateur graphite et fluide caloporteur Eau bouillante

Fonctionne avec de l'uranium faiblement enrichi (1,8%). Problème d'instabilité k divergent naturellement si la température augmente et si la densité d'uranium fertile diminue. Les centrales ne sont pas auto-régulées.

Exercice 1 : Cycle de Otto.

On doit à l'ingénieur allemand Nikolaus Otto, en 1864, la mise au point du moteur que l'on connaît aujourd'hui sous le nom de « moteur à essence ». Le cycle de principe de ce moteur, appelé cycle d'Otto, est constitué de deux phases isentropiques (adiabatique et réversible) encadrées par deux phases isochores. Ainsi, la transformation A-B est une compression isentropique. Elle est suivie d'un apport de chaleur isochore de B vers C (rejet de chaleur). Ensuite le système subit une détente isentropique (C-D) suivie d'une transformation isochore (D-A). Le cycle d'Otto est conçu pour permettre une mise en œuvre simple de la phase d'apport de chaleur. Le carburant est mélangé à l'air avant son insertion dans le moteur, et une combustion très rapide est provoquée avec une étincelle lorsque le volume dans le cylindre est minimal : c'est ce que l'on nomme l'allumage commandé. Otto destine son moteur à des applications statiques, mais sa simplicité relative et sa réactivité assureront son succès dans les transports (notamment avec son fils Gustav Otto, avionneur dont l'entreprise donnera naissance à BMW).

1. Représentez ce cycle théorique dans un diagramme de Clapeyron



2. Etant donné qu'aucun transfert de chaleur n'a lieu dans les phases de compression et de détente isentropiques et si on considère que les propriétés du gaz (C_v) ne changent pas au cours du cycle. Déterminer le rendement théorique du cycle de Otto η_{Otto} en fonction de T_A , T_B , T_C et T_D les températures à chaque étape du cycle.

$$\eta_{\text{Otto}} = \left| \frac{-q_{\text{combustion}} - q_{\text{refroidissement}}}{q_{\text{combustion}}} \right| = 1 + \frac{q_{\text{refroidissement}}}{q_{\text{combustion}}} = 1 + \left(\frac{T_A - T_D}{T_C - T_B} \right)$$

3. En définissant le taux de compression ϵ comme étant le rapport entre V_A et V_B , exprimez le rendement du cycle en fonction de ϵ et de γ .

$$\eta_{\text{Otto}} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$$

4. Au début du Cycle, l'air est à 21°C et à 1 bar. La chaleur spécifique fournie à chaque cycle est de 500 kJ.kg^{-1} . Le taux de compression ϵ est de 7. Quelles sont les températures au début et à la fin de la combustion ? (Les grandeurs nécessaires au calcul sont à la fin de l'exercice)

$$T_B = T_A \left(\frac{v_A}{v_B} \right)^{\gamma_{\text{air}} - 1} = 640,6 \text{ K} = 367,5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (4/36)} \text{ et } T_C = \frac{q_{\text{combustion}}}{c_{v(\text{gaz})}} + \frac{c_{v(\text{air})}}{c_{v(\text{gaz})}} T_B = 1166,3 \text{ K} = 893,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

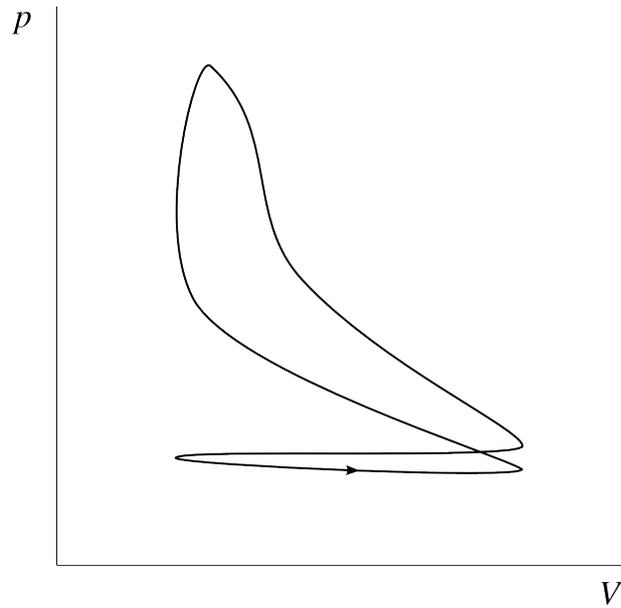
5. Quelle est la quantité de chaleur rejetée lors du refroidissement ?

$$T_D = 610,16 \text{ K} = 337 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (4/36)} \text{ ainsi } q_{D \rightarrow A} = c_{v(\text{gaz})}(T_D - T_A) = -260,1 \text{ kJ kg}^{-1}$$

6. Quel est le rendement de ce cycle théorique ?

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{q_{\text{net}}}{q_{\text{in}}} = 47,99 \% \text{ Résultat théorique en pratique on est plutôt à } 35\%$$

7. En pratique, l'évolution de l'air sur le diagramme de Clapeyron est fort différente du cycle décrit par Otto et ressemble davantage à la figure suivante. Proposez deux raisons à cela.



Les deux cycles décrits plus haut ne sont que des cycles idéaux – ils servent d'étalons conceptuels pour comparer les moteurs réels entre eux. Leur transposition à un moteur réel nécessite de prendre en compte de nombreux facteurs, parmi lesquels :

- La nécessité de vidanger l'air et les produits de combustion à l'intérieur du cylindre après le cycle, et l'impossibilité de le faire complètement ;
- Le fait que le volume occupable par le gaz soit lié à la rotation de l'arbre du moteur, et donc qu'il n'est pas possible de le contrôler indépendamment du régime de fonctionnement du moteur ;
- Les irréversibilités lors des compressions et détentees causées par les mouvements rapides des pistons ;
- Les transferts de chaleur vers et depuis les cylindres pendant le cycle ;
- Les fuites des gaz dans les interstices entre pistons et cylindres.

La prise en compte de ces facteurs, ainsi que la poursuite d'objectifs liés au confort d'utilisation et à la maîtrise de la pollution atmosphérique, font que le cycle obtenu à l'intérieur d'un cylindre de moteur en pratique pourra par exemple ressembler à celui représenté en figure 10.5. Dans le secteur automobile en particulier, l'adoption de l'injection directe et l'augmentation des taux de compression sur les moteurs essence pour diminuer leur consommation et leurs émissions a brouillé la distinction essence/Diesel – les moteurs essence sont désormais plus proches du concept de Rudolf Diesel que de celui de Nikolaus Otto.

8. Si l'on place ce moteur sur un avion, on constate, lorsque l'appareil gagne en altitude que la puissance que le moteur peut fournir baisse de façon importante. Quelle modification peut-on apporter au moteur pour éviter ce problème ?

6) La puissance diminue car la masse volumique de l'air atmosphérique diminue avec l'altitude. Pour augmenter \dot{m}_{air} on peut par exemple installer un système de turbocompression (cf. §10.3.5 p.304)

$$\begin{aligned}c_{v(\text{air})} &= 718 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} & R_{\text{air}} &= 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\c_{p(\text{air})} &= 1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} & \gamma_{\text{air}} &= 1,4 \\c_{v(\text{gaz})} &= 823 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} & R_{\text{gaz}} &= 327 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\c_{p(\text{gaz})} &= 1150 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} & \gamma_{\text{gaz}} &= 1,333\end{aligned}$$

Exercice 2 : un peu de désordre.

Un vase calorifugé contient $m_1=200\text{g}$ de liquide de capacité thermique massique $c_1=2850 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à la température $t_1 =20^\circ\text{C}$. On y plonge rapidement un bloc de cuivre de masse $m_2=250\text{g}$ ($c_2=390 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) pris initialement à la température $t_2 = 80^\circ\text{C}$. La capacité thermique du récipient est $C_3=150 \text{ JK}^{-1}$ est soigneusement refermé.

1. Déterminer la température d'équilibre

2. Calculez la variation globale d'entropie au cours de cette opération

3. On retire le couvercle et on laisse l'ensemble se refroidir lentement jusqu'à la température ambiante jusqu'à la température ambiante de 20°C. Quelle est la variation d'entropie de l'ensemble (vase, liquide, cuivre).

4. Quelle est la variation d'entropie de l'ensemble (vase, liquide, cuivre, milieu extérieur) ?
Qu'en concluez vous ?

Correction :

Le transfert thermique s'effectue sous pression constante: rechercher la variation d'enthalpie ΔH

le vase est calorifugé : $\Delta H = 0$; il n'y a pas de changement d'état physique : $\sum m_i c_i \Delta T_i = 0$

on effectue des différences de température, on peut conserver les degrés Celsius.

*liquide : $m_1 c_1 (T_e - T_1) = 0,2 * 2850 (T_e - 20) = 570 T_e - 11400.$*

*cuivre : $m_2 c_2 (T_e - T_2) = 0,25 * 390 (T_e - 80) = 97,5 T_e - 7800.$*

vase : $C_3 (T_e - T_1) = 150 (T_e - 20) = 150 T_e - 3000$.

faire la somme , résoudre l'équation à une inconnue T_e

$570 T_e - 11400 + 97,5 T_e - 7800 + 150 T_e - 3000 = 0$, $817,5 T_e = 22 200$, $T_e = \underline{27,16^\circ\text{C}}$.

variation d'entropie lors du refroidissement du cuivre (phases condensées incompressibles)

$$\Delta S = \sum m_i c_i \ln [T_e / T_i]$$

on fait des rapports de températures, mettre les températures en kelvin

liquide : $m_1 c_1 \ln(T_e / T_1) = 0,2 * 2850 \ln(300,16 / 293) = 13,76 \text{ J K}^{-1}$.

cuivre : $m_2 c_2 \ln(T_e / T_2) = 0,25 * 390 \ln(300,16 / 353) = - 15,8 \text{ J K}^{-1}$.

vase : $C_3 \ln(T_e / T_1) = 150 \ln(300,16 / 293) = 3,62 \text{ J K}^{-1}$.

total : $\underline{1,58 \text{ J K}^{-1}}$. valeur positive donc entropie créée lors d'une transformation irréversible.

même méthode de calcul de la variation d'entropie du système { vase + cuivre + liquide }

entropie échangée entre le système et l'extérieur

$(m_1 c_1 + m_2 c_2 + C_3) \ln [T_1 / T_e] = 817,5 \ln(293 / 300,16) = \underline{-19,73 \text{ J K}^{-1}}$.

variation d'entropie lors du transfert thermique du système vers l'extérieur

$\Delta S = - \Delta Q_p / T_1 = \sum m_i c_i \Delta T_i / T_1 = - 817,5 (293 - 300,16) / 293 = \underline{19,977 \text{ J K}^{-1}}$.

variation d'entropie de l'univers : $19,977 - 19,73 = \underline{0,24 \text{ J K}^{-1}}$.

Une valeur positive donc entropie créée lors d'une transformation irréversible.

Exercice 3 : Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur dont le fonctionnement est supposé réversible échange de la chaleur avec deux sources : l'une est l'eau d'un lac dont la température est $T_0 = 280 \text{ K}$, l'autre est une masse $M = 1000 \text{ kg}$ thermiquement isolée dont la température initiale est $T_i = 293 \text{ K}$. La capacité thermique massique à pression constante de l'eau est $c_p = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculer, lorsque la masse M d'eau a atteint la température finale $T_f = 333 \text{ K}$:

1. Les transferts thermiques machine/eau et machine/lac

$$Q_F = T_0 M c_p \ln \frac{T_f}{T_i} = 150,1 \cdot 10^6 \text{ J}; Q_C = -167,6 \cdot 10^2 \text{ J}$$

2. Le travail absorbé par la pompe

$$W = Mc_P \left(T_f - T_i - T_0 \ln \frac{T_f}{T_i} \right)$$

3. La variation d'entropie de la source froide

$$\Delta S_F = -Mc_P \ln \frac{T_f}{T_i} = -536,2 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1}$$

4. Le COP moyen de la pompe. Commentez ce résultat.

$$e_{\text{th}} = 9,6$$