

CTE – TD 4

Machines thermiques

Méthodes, compétences et savoirs-faire

Cahier d'entraînement

Fiche d'entraînement n°19 – Second principe et machines thermiques – Exercices 13 à 18

I - Étude d'un cycle de Carnot moteur

Soit un gaz parfait décrivant un cycle de Carnot et fournissant globalement du travail au milieu extérieur. Le cycle peut se décrire par les états successifs : ABCDA avec A l'état où la pression est la plus faible.

1. Caractériser chacune des transformations successives permettant de décrire le cycle et dessiner le cycle dans le diagramme $P(V)$.
2. Nous avons $P_A = 1,00$ bar et $T_A = 290$ K. Le travail reçu par le gaz lorsqu'il parcourt AB est : $W_{ABm} = 3,34$ kJ · mol⁻¹. En déduire T_B et P_B .
3. Le travail reçu par le gaz lorsqu'il parcourt BC est $W_{BCm} = 11,8$ kJ · mol⁻¹. Sachant que $\gamma = 1,50$ en déduire T_C et P_C .
4. Déterminer T_D et P_D .
5. Déterminer l'efficacité du cycle ainsi que son rendement absolu.
6. Tracer le cycle dans le diagramme $T(S)$ température en fonction de l'entropie. L'aire du cycle $P(V)$ représente $-W_{cycle}$, que représente l'aire du cycle $T(S)$?

II - Cycle de Stirling

Un système gazeux, constitué d'une masse $m = 1$ g d'air assimilé à un gaz parfait, est utilisé dans une machine thermique effectuant des cycles réversibles.

Le cycle est constitué de deux isothermes ($1 \rightarrow 2$ et $3 \rightarrow 4$) et de deux isochores ($2 \rightarrow 3$ et $4 \rightarrow 1$) :

état	P (bar)	V (dm ³)	T (K)
(1)	40	0,08	
(2)			
(3)	1		300
(4)			

1. Tracer le cycle dans le diagramme de Clapeyron. De quel type de machine s'agit-il ?
2. Montrer que les transferts thermiques des évolutions isochores sont opposés.
3. On admet que ces échanges thermiques se font avec un régénérateur interne à la machine et que les seuls transferts thermiques avec le milieu extérieur ont lieu durant les phases isothermes. Déterminer le rendement du cycle.
4. Montrer que le résultat précédent était prévisible sans calculs.

Données :

Masse molaire moyenne de l'air : $M = 29$ g mol⁻¹.

Rapport des chaleurs massiques isobare et isochoire : $\gamma = 1,4$.

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314$ J K⁻¹ mol⁻¹.

III - Cycle Diesel

1 - Description

Le moteur diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas assuré par une bougie mais par une forte compression, ce que l'on réalise sans risque d'inflammation en comprimant l'air seul et en injectant le carburant en fin de compression.

Dans le modèle que nous utiliserons, nous pourrions considérer que le système est uniquement constitué d'air considéré comme un gaz parfait tel que $\gamma = 1,4$.

Le cycle est décrit en quatre temps : 1-2 ; 2-3 ; 3-4 ; 4-1 ; les phases : 0-1 et 1-0 sont respectivement les phases d'admission et d'échappement.

0-1 : le cylindre de volume initial $V_0 = 0$ admet de façon réversible un volume V_1 d'air à pression constante égale à la pression atmosphérique notée $P_1 = 1,00$ bar

1-2 : l'air est comprimé de façon adiabatique réversible jusqu'au volume V_2

2-3 : en 2 on introduit le combustible (on pourra malgré cela considérer que le système est fermé car l'air est en large excès). Ensuite la combustion (2-3) se réalise ce qui entraîne une augmentation de volume à pression constante P_2 . (Pendant cette phase, nous pouvons considérer que le système reçoit algébriquement de la chaleur d'une source chaude fictive.)

3-4 : les produits de la combustion se détendent de façon adiabatique et réversible en repoussant fortement le piston jusqu'à une position extrême.

4-1 : la soupape d'échappement s'ouvre ce qui diminue brutalement la pression de façon isochore sans que le fluide n'ait le temps de s'échapper (pendant cette phase nous pouvons considérer que le système reçoit algébriquement de la chaleur de la source froide).

1-0 : les gaz brûlés sont évacués de manière isobare et réversible et le volume du cylindre passe de V_1 à $V_0 = 0$.

On appelle $\alpha = \frac{V_1}{V_2}$ le taux de compression et $\beta = \frac{V_1}{V_3}$ le rapport de détente.

2 - Étude

1. Tracer l'allure du cycle dans le diagramme de Watt $P(V)$ où V est le volume du cylindre.
2. Déterminer P_2 , P_3 et P_4 en fonction de P_1 , α , β , γ .
3. Déterminer T_2 , T_3 et T_4 en fonction de T_1 , α , β , γ .
4. Exprimer l'efficacité thermodynamique η du moteur en fonction des températures et de γ .
5. Exprimer l'efficacité thermodynamique du moteur en fonction de α , β , γ .
6. Application numérique : on donne $\alpha = 14,0$ et $\beta = 9,00$. Calculer P_2 , P_3 , P_4 , T_2 , T_3 et T_4 , sachant que $P_1 = 1,00$ bar et que $T_1 = 290$ K.
7. Donner la valeur numérique de l'efficacité η dans ces conditions.
8. Déterminer la valeur de l'efficacité η_{Carnot} pour un cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes. En déduire le rendement absolu $r = \frac{\eta}{\eta_{Carnot}}$ du cycle de Diesel dans ces conditions.

On appelle bilan entropique molaire la détermination de la variation d'entropie ΔS_m , de l'entropie créée S_m^c et de l'entropie échangée S_m^e molaires.

9. Faire un bilan entropique molaire de la phase 2-3 sachant que durant celle-ci, on peut considérer que le système évolue irréversiblement en contact avec un thermostat de température T_3 .
10. Faire un bilan entropique molaire de la phase 4-1 sachant que durant celle-ci, on peut considérer que le système évolue irréversiblement en contact avec un thermostat de température T_1 .
11. Donner la création molaire d'entropie correspondant à un cycle.

IV - Pompe à chaleur géothermique

Un lycée a remplacé une partie de sa chaufferie au gaz par des pompes à chaleur et a éliminé les rares convecteurs électriques qui subsistaient encore dans les locaux et qui servaient de chauffage d'appoint.

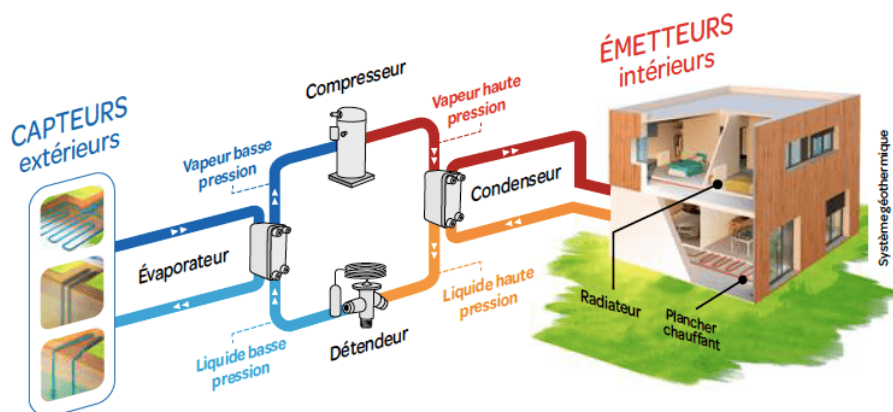
Document : description de la pompe à chaleur géothermique installée dans le lycée

Contrairement à une solution de pompe à chaleur aérothermique, la pompe à chaleur géothermique sur nappe travaille à quasi température constante côté évaporateur, ce qui lui permet de d'obtenir des performances (COP) très élevées. Le principe de la géothermie repose sur la réalisation d'un forage de production qui permettra de prélever l'eau de la nappe du Lutétien à une température d'environ 15°C pendant toute la période de chauffage. L'eau de nappe (eau minéralisée) est ensuite acheminée au travers de canalisation spécifique vers un dispositif de filtration dans le local de géothermie avant de l'envoyer vers l'échangeur à plaques primaire au niveau duquel sera prélevée l'énergie nécessaire à alimenter la pompe à chaleur en énergie. À la suite de l'échangeur thermique, l'eau de nappe refroidie (9°C) est réacheminée en direction d'un second forage d'eau pour y être restituée à son aquifère d'origine.

- débit d'eau sur nappe : $42\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$;
- puissance thermique émise : 390 kW .

Extrait du site conseil.xpair.com

On représente ci-dessous le schéma de principe d'une pompe à chaleur.



1. La pompe à chaleur est constituée de quatre éléments (évaporateur, compresseur, condenseur, détendeur). Indiquer au niveau de quel élément se situent les transferts d'énergie thermique :
 - (a) de la source froide vers le fluide caloporteur.
 - (b) du fluide caloporteur vers la source chaude.
2. À l'aide des données du document, vérifier que la puissance thermique transférée de la source froide vers le fluide caloporteur, notée $P_{th,fr}$, est égale à 293 kW . On prendra les valeurs suivantes :
 - capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18\text{ kJ K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$
 - masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1 \cdot 10^3\text{ kg m}^{-3}$
3. Donner le signe de la puissance thermique échangée par le fluide caloporteur avec la source chaude notée $P_{th,ch}$. Quelle est la relation entre cette puissance et la « puissance thermique émise par la pompe à chaleur » évoquée dans le document ?
4. En admettant que toute l'énergie électrique absorbée par la pompe à chaleur, notée W_{elec} , est transférée au fluide caloporteur, établir la relation entre l'énergie électrique absorbée (W_{elec}) et les énergies thermiques échangées avec la source froide (Q_{fr}) et la source chaude (Q_{ch}) grâce à un bilan énergétique de ce fluide.
5. En déduire la relation entre la puissance électrique absorbée P_{elec} et les puissances thermiques $P_{th,fr}$ et $P_{th,ch}$.
6. En déduire la valeur de la puissance électrique absorbée P_{elec} .
7. En déduire le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur.
8. Comparer la puissance thermique émise par la pompe à chaleur avec celle qui aurait été émise par un chauffage à résistance électrique alimenté par la même puissance électrique.