Dept.S .M .2^{éme}année.

TD n°3 De Thermodynamique

Exercice n°1

Au cours d'un cycle ,un fluide thermique d'un moteur ditherme reçoit un transfert thermique

Q_c =420 J d'une source chaude à 200°C .La source froide est à 17°C . Le travail fourni par le moteur est W=120 J .

1°)Calculer l'efficacité de ce moteur thermique .

2°)Le fonctionnement est –il réversible ?

Exercice n°2

Une pièce est maintenue à 20°C par chauffage, l'atmosphère extérieur étant à 4°C. En régime permanent , les pertes thermiques sont de 4KJ par seconde .

1°)Quelle serait la puissance nécessaire à un radiateur électrique pour ce chauffage ?

2°) Quelle serait la puissance fournie à une pompe à chaleur réversible qui amènerait au même résultat ?

Exercice n°3

Dans une pièce à 20°C , l'intérieur d'un congélateur est à -19°C . Pour arriver à maintenir cette température, il est nécessaire d'enlever par transfert thermique,400KJ par heure à l'intérieur du congélateur . L'opération est supposée réversible .

1°) Calculer le transfert thermique fourni à la pièce par le congélateur .

2°) Déterminer la puissance mécanique à fournir au congélateur .

Exercice n°4

On fait fonctionner un moteur thermique entre l'atmosphère, source froide à la température

T_f =288K , et une masse d'eau de capacité thermique C = 10KJ .K^{-1} et de température variable T_c . La température initiale de l'eau est $T_{c,0}$=350K.

1°) Calculer le travail maximal que ce moteur est capable de fournir .

2°) Déterminer l'efficacité d'un tel moteur .

Exercice n°5

Dans une machine frigorifique dont le fluide thermique est assimilable à un gaz parfait , une mole de fluide parcourant le cycle reçoit un transfert thermique Q_2 (> 0) d'une source froide de température T_2 =268K et un transfert thermique Q_1 (< 0) d'une source chaude de température

T_1 =293K . Le compresseur délivre dans le même temps un travail W.

1°) On suppose, dans un premier temps , que le cycle comprend les transformations réversibles suivantes :

-une compression adiabatique de T_2 à T_1 ,

-une compression isotherme à T_1,

-une détente adiabatique de T_1 à T_2 ,

- une détente isotherme à T_2 .

a) Exprimer W en fonction de Q_1 et des températures .Pourquoi est –il impossible d'abaisser la température de la source froide au zéro absolu ?

b) Définir et calculer l'efficacité e du cycle .

2°) En réalité , le cycle comprend les transformations suivantes :

(1): une compression adiabatique réversible de T_2 à T_2' =330K ;

(2): un refroidissement isobare de T_2' à T_1;

(3): une détente adiabatique réversible de T_1 à T_1' ;

(4): un échauffement isobare jusqu'à T_2 .

Exprimer l'efficacité e en fonction de T_2 et T_2' et comparer sa valeur à celle du cycle réversible .

Donnée : la capacité calorifique molaire à pression constante du fluide :

C_p =29 J .K^{-1}.mol^{-1} .

T.D Machines thermiques Dithermes

(commencer par les 2 derniers exos. de la Série, S.V.P)

Exo 1 :

Pour le moteur, l'efficacité : $e = \dfrac{|\text{transfert . therm, utile}|}{|\text{transf . d'energie dépensée}|}$

$$e = -\frac{W}{Q_c} = \frac{120}{420} = 0.285.$$

Si le fonctionnement était réversible (Cycle de Carnot) ; l'efficacité s'écrirait :

$$e_c = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad \text{(voir Cours).}$$

$$= 1 - \frac{290}{473} = 0.387. \quad \text{(Convertir les t}^{\text{es}} \text{ en K.)}$$

On voit que : $e_c > e$. Donc, Irreversible !..

Exo 2 :

1°/ Pour maintenir les pièce à 20°c, le radiateur électrique doit fournir une énergie de 4 kJ par seconde, soit donc une puissance $P = \dfrac{4.10^3 J}{s}$

$\boxed{P = 4 kW}$ (kW). (kilo watt).

2°/ L'efficacité d'1 pompe à chaleur réversible entre ces deux source est : (Cycle de Carnot).

$$e_c = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{293}{293 - 277} = 18,3.$$

Or : $e_c = \dfrac{Q_c}{W}$ et l'energie Q_c fournie par transfert thermique est de 4kJ par seconde.

D'où le travail nécessaire $W = \dfrac{Q_c}{e_c} = \dfrac{4000}{18,3}$.

$W = 218$ Joules par seconde.

La puissance fournie à cette pompe serait 218W.

• Il est + interessant d'utiliser une pompe à chaleur avec un compresseur auquel on fournit une $P = 218$ W que d'utiliser un radiateur élect. ($P = 4$ kW).

Exo. 3 :

1°/ On a : $\begin{cases} Q_f = 400\,KJ. \\ T_f = -19°C. \end{cases}$ $\quad Q_c = ?$ $\quad T_c = 20°C.$

. Le transfert thermique fourni à la pièce : est Q_c =

On a l'égalité de Clausius pour ce fonctionnement réversible :

$$\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

$$\Rightarrow \quad Q_c = -T_c \cdot \frac{Q_f}{T_f} = -293 \times \frac{400}{254}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_c = -461{,}4\,KJ}$$

2°/ La puissance mécanique à fournir au congélateur : W :

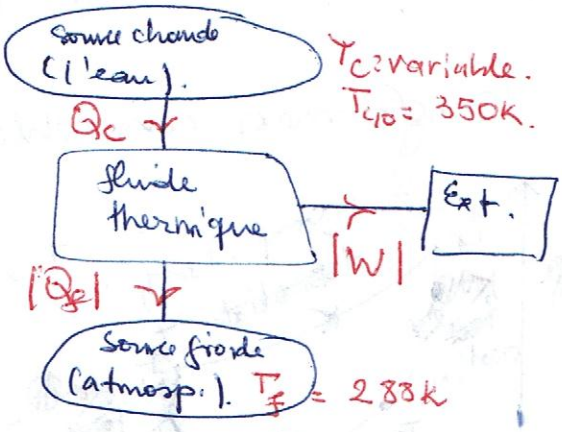
D'après le 1er principe On a :

$$W = -Q_c - Q_f = +461{,}4 - 400$$

$W = 61{,}4\,KJ$. par heure.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{61{,}4 \cdot 10^3}{3600} = \boxed{17\,W = P}$$

Exo n°4 :



1°/ Travail maximal :

travail max. → efficacité maximale → cycle réversible.

On a : 1er ppe : $W + Q_f + Q_c = 0$. (Pour le cycle).

$\Rightarrow W = -Q_f - Q_c$.

T_c : variable : Considérons des transformations infinit. ⇒ cycle rév. : On a l'égalité : $\frac{\delta Q_c}{T_c} + \frac{\delta Q_f}{T_f} = 0$ --(1)

$Q_c = ?$.

L'eau chaude reçoit : $\delta Q = C\,dT_c$.

Le fluide thermique : $\delta Q_c = -\delta Q = -C\,dT_c$.

$\Rightarrow Q_c = -C(T_f - T_i)$

$\Rightarrow Q_c = -C(288 - 350) \Rightarrow \boxed{Q_c = 6{,}2.10^5 J} > 0$.

(La T^e finale est $T_f = 288K$ car le moteur cesse de fonctionner à cette T^e) (reçu par le fluide thermique)

Utilisons l'égalité (1) pour calculer Q_f :

$(1) \Rightarrow \int_{350}^{288} \frac{\delta Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \Rightarrow \int_{350}^{288} -C\frac{dT_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$

$\Rightarrow Q_f = T_f \cdot C \cdot \ln\left(\frac{288}{350}\right) \Rightarrow \boxed{Q_f = -5{,}6\,10^5 J}$

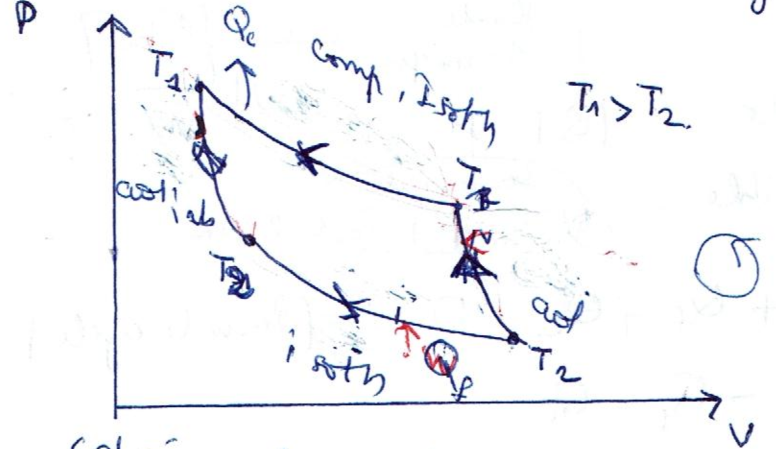
(Elle est bien fournie). (<0)

Enfin : $W_{max} = -Q_f - Q_c = +5{,}6\,10^5 - 6{,}2\,10^5 \Rightarrow \boxed{W_{max} = -0.6\,10^5 J}$ (<0)

2°/ $e = -\frac{W}{Q_c} = \frac{0.6}{6{,}2} = \boxed{0.097 = e}$

Exo n° 5 : Machine frigorifique.

1°/ Transformaos. réversibles : cycle rev.



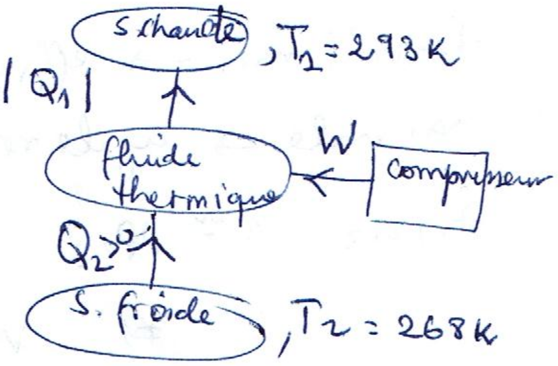


Schéma du cycle ds le diagramme de Clapeyron.

a°/ * On a : $W + Q_1 + Q_2 = 0$. (1) 1er Ppe.

et $\dfrac{Q_1}{T_1} + \dfrac{Q_2}{T_2} = 0$. (2) $\Rightarrow$ $W = -Q_1 - Q_2$

$\Rightarrow Q_2 = -\dfrac{Q_1}{T_1} \cdot T_2$ $\Rightarrow W = -Q_1 + Q_1 \dfrac{T_2}{T_1}$.

$\Rightarrow$ $\boxed{W = Q_1 \left(\dfrac{T_2}{T_1} - 1 \right)}$. (3)

*

On a : (2) $\Rightarrow$ $T_2 = -T_1 \dfrac{Q_2}{Q_1}$.

$Q_2 \neq 0$, $T_2 \to 0K$ ssi $Q_1 \to \infty$: impossible.

Donc Impossible d'abaisser la t° de la Source froide au zéro absolu.

b°) Efficacité du cycle :

On a : $e = \dfrac{Q_2}{W}$. (voir cours).

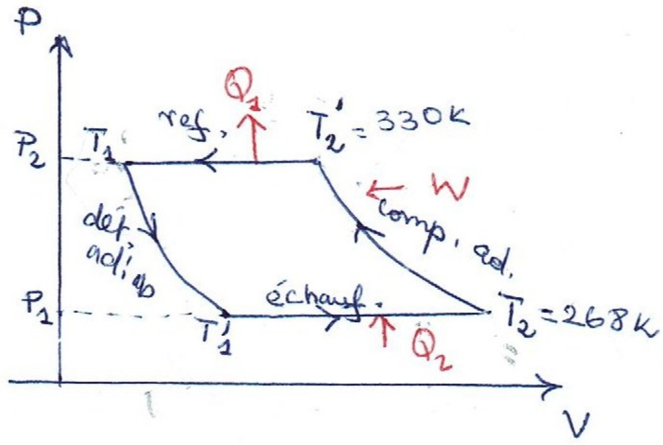
on a : (2) $\Rightarrow Q_2 = -\dfrac{T_2}{T_1} Q_1$. et donc : voir cours.

efficacité de Carnot $\leftarrow$ $e_C = \dfrac{-\frac{T_2}{T_1} Q_1}{Q_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)} \Rightarrow \boxed{e_C = \dfrac{T_2}{T_1 - T_2}} = \left(\dfrac{T_f}{T_c - T_f} \right)$

A.N : $e_c = \dfrac{268}{293 - 268} = \boxed{10,72 = e_c}$

2°/ $e = f(T_2, T'_2)$.

$$e = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{-Q_1 - Q_2}$$



analyser Q_1 et Q_2 :

refroidissement à P = cste :

$$Q_1 = \Delta H_{2'}^{1} = c_p(T_1 - T'_2) < 0 \quad (\text{car } T_1 < T'_2)$$

$$Q_2 = \Delta H_{1'}^{2} = c_p(T_2 - T'_1) > 0 \quad (T_2 > T'_1).$$

donc :

$$e = \frac{T_2 - T'_1}{(T'_2 - T_1) + (T'_1 - T_2)} \quad \cdots (I)$$

Utilisons les relations de Laplace : on a :

$(1 \to 1')$: $\quad T_1'^{\gamma} P_1^{-\gamma+1} = T_1^{\gamma} P_2^{-\gamma+1} \Leftrightarrow \dfrac{T'_1}{T_1} = \left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}} \cdots (a)$

et $(2 \to 2')$: $\quad T_2^{\gamma} P_1^{-\gamma+1} = T_2'^{\gamma} P_2^{-\gamma+1} \Leftrightarrow \dfrac{T_2}{T'_2} = \left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}} \cdots (b)$

en remplaçant ds (I) les expressions de T'_1 et T'_2 :

$$e = \frac{T_2 - T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}}}{\left(T_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-1+\gamma}{\gamma}} - T_1\right) + \left(T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}} - T_2\right)}$$

$$= \frac{\left[T_2 - T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}}\right]}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-1+\gamma}{\gamma}}\left[T_2 - T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}}\right] - \left[T_2 - T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-\gamma+1}{\gamma}}\right]}.$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-1+\gamma}{\gamma}} - 1} = \frac{1}{\frac{T'_2}{T_2} - 1} = \frac{T_2}{T'_2 - T_2}.$$

Enfin : $\boxed{e = \dfrac{T_2}{T'_2 - T_2}}$. A.N : $e = \dfrac{268}{330 - 268} = 4,32$.

cycle irrev. ← $e < e_c$.