

Etude d'un congélateur neuf et d'un congélateur usagé

On considère une machine thermique ditherme réelle fonctionnant entre l'intérieur d'un congélateur à la température $\theta_1 = -18 \text{ °C}$ et la pièce dans laquelle il se trouve (température $\theta_2 = 20 \text{ °C}$). La machine thermique utilise n moles d'un fluide qui, au cours d'un cycle, reçoivent les transferts thermiques Q_1 de l'intérieur du congélateur et Q_2 de l'extérieur, ainsi que le travail W .

1) Faire un schéma sur lequel on identifiera la source froide et la source chaude. On indiquera également les transferts d'énergie Q_1, Q_2, W .

2) Cette machine fonctionne-t-elle en moteur ou en récepteur thermique? Indiquer les signes de Q_1, Q_2, W .

3) Ecrire le premier principe et le deuxième principe pour n moles de fluide décrivant un cycle thermodynamique.

4) Définir l'efficacité e de cette machine en fonction d'une ou de plusieurs des grandeurs Q_1, Q_2 , et W , puis en fonction uniquement de Q_1 et Q_2 .

5) Un congélateur neuf a une efficacité $e = 2,0$.

On définit le coefficient α comme le rapport entre l'efficacité e du congélateur neuf et l'efficacité e_r d'une machine réversible fonctionnant avec les mêmes sources.

5.a) Donner l'expression de e_r en fonction des températures T_1 et T_2 . Réaliser l'application numérique.

5.b) Calculer numériquement α .

5.c) Ecrire la relation entre l'inverse de l'efficacité e , l'inverse de l'efficacité e_r , l'entropie créée au cours d'un cycle, le transfert thermique Q_1 et la température T_2 .

6) Un appareil dans lequel on a laissé s'accumuler une couche de glace a une efficacité réduite e' . On suppose que l'effet de la couche de glace est de multiplier par deux l'entropie créée pour un même transfert thermique pris à la source froide.

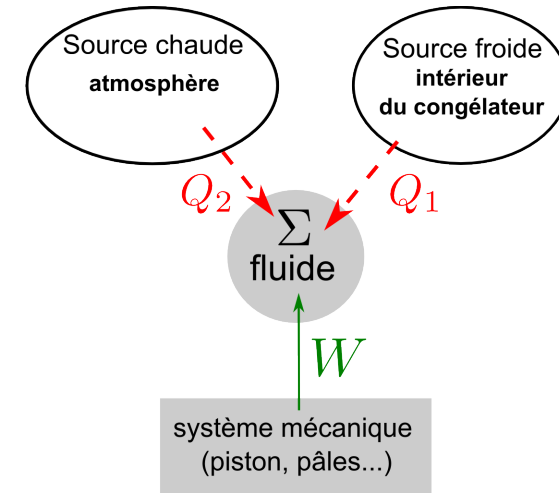
6.a) Montrer que le rapport α devient pour un congélateur usagé $\alpha' = \frac{\alpha}{2-\alpha}$.

6.b) Calculer numériquement α' et en déduire l'efficacité e' du congélateur usagé.

Correction :

A1) voir diagramme ci-contre

A2) Le but d'un congélateur est d'extraire un transfert thermique de la source froide (l'intérieur du congélateur) et de rejeter un transfert



thermique vers la source chaude (inversion du sens naturel du transfert thermique) en utilisant du travail. Un congélateur fonctionne donc avec un cycle **récepteur**. Ainsi, on a $W > 0, Q_1 > 0$ et $Q_2 < 0$

A3) La variation d'énergie interne du fluide au cours d'un cycle est nulle. Le premier principe de la thermodynamique donne donc $W + Q_1 + Q_2 = 0$

De la même façon, la variation d'entropie du fluide au cours d'un cycle est nulle, le second principe de la thermodynamique donne donc

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + S_{cycle}^{cr} = 0$$

A4) Comme pour toute machine thermique, nous avons

$$e = \left| \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie coûteuse}} \right|$$

$$\text{Ici, nous avons } e = \frac{|Q_f|}{W_{cycle}} = \frac{Q_f}{W_{cycle}}, \text{ ainsi } e = \frac{Q_1}{W}$$

$$\text{Puisque } W = -Q_1 - Q_2, \text{ on obtient } e = -\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

A.5.a) L'efficacité e_r de la machine thermique fonctionnant avec les mêmes sources correspond à une entropie créée nulle. On obtient donc

(voir cours)
$$e_r = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

AN :
$$e_r = \frac{-18 + 273}{20 - (-18)} \quad e_r = 6,7$$

A.5.b) On a $\alpha = \frac{e}{e_r}$ on obtient donc $\alpha = \frac{2,0}{6,7}$ ce qui donne finalement

$$\alpha = 0,30$$

A.5.c) De l'équation $e = -\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ on obtient $Q_2 = -Q_1 \left(\frac{1}{e} + 1 \right)$

et de l'équation $e_r = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$, on obtient $T_1 = \frac{T_2}{1 + \frac{1}{e_r}}$

On substitue dans le second principe de la thermodynamique, ce qui donne :

$$S^{cr} = -\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = -\frac{Q_1}{T_2} \left(\frac{1}{e_r} + 1 \right) + \frac{Q_1}{T_2} \left(\frac{1}{e} + 1 \right)$$

et au final :
$$S^{cr} = \frac{Q_1}{T_2} \left(\frac{1}{e} - \frac{1}{e_r} \right)$$

A.6.a) Les grandeurs correspondant au congélateur usagé sont appelées '. Pour le congélateur usagé, on a $S'^{cr} = 2S^{cr}$ avec $Q'_1 = Q_1$ ce qui donne

$$\frac{Q_1}{T_2} \left(\frac{1}{e'} - \frac{1}{e_r} \right) = 2 \frac{Q_1}{T_2} \left(\frac{1}{e} - \frac{1}{e_r} \right) \Leftrightarrow \frac{1}{e'} = \frac{2}{e} - \frac{1}{e_r} \Leftrightarrow \frac{1}{\alpha'} = \frac{2}{\alpha} - 1 \text{ ce}$$

qui donne finalement
$$\alpha' = \frac{\alpha}{2 - \alpha}$$

A.6.b) AN : $\alpha' = 0,18$ ce qui donne $e' = 1,2$

Le congélateur usagé a une efficacité plus faible que le congélateur neuf.