

Corrigé de l'EC7: Étude d'un congélateur

Énoncé

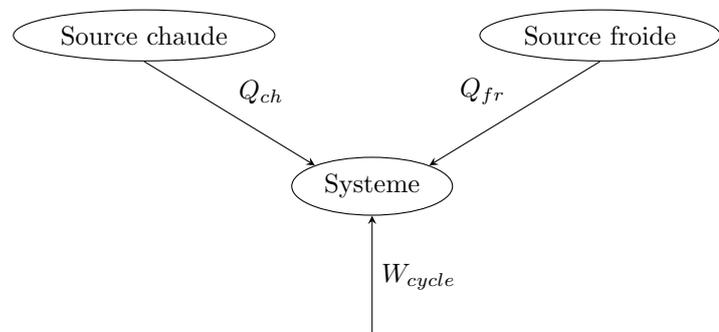
On souhaite refroidir un bloc solide de masse $m = 150 \text{ g}$ et de capacité thermique massique $c = 2,4 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ initialement à la température de la pièce à l'aide d'un congélateur. Le congélateur fonctionne grâce à un compresseur de puissance $P = 250 \text{ W}$, la température du bac du congélateur est $T_i = -18^\circ\text{C}$ et la température de la pièce est $T_e = 19^\circ\text{C}$.

1. Rappeler le principe de fonctionnement d'un congélateur. Parmi les trois machines thermiques vues en cours, de laquelle s'agit-il ? Sur un schéma, représenter la machine thermique considérée en faisant apparaître les différents flux énergétiques reçus par le système.
2. Donner le signe de chacun de ces flux, identifier le fluide (système) utilisé, les différentes sources ainsi qu'un ordre de grandeur de l'efficacité d'une telle machine.
3. Définir l'efficacité du congélateur et redémontrer la formule dans le cas d'une machine de Carnot. Donner la puissance thermique reçue par le fluide venant de la source froide dans le cas d'une machine de Carnot.
4. On supposera que toute cette puissance thermique est utilisée pour refroidir le bloc solide. En considérant toujours une machine de Carnot, déterminer le temps nécessaire pour refroidir l'objet à la température du congélateur. Discuter.
5. En pratique, l'efficacité du congélateur est plutôt $e = 3,2$. Combien de temps est-il maintenant nécessaire pour refroidir l'objet ? Discuter la validité du modèle utilisé et les hypothèses qui pourraient ne pas être vérifiées.

Correction

1. Un congélateur sert à refroidir le contenu du bac de congélation pour le maintenir à une température constante, ici T_i . Pour ce faire, il utilise la puissance mécanique fournie par un compresseur lui-même alimenté par le secteur. Ce trop plein d'énergie est alors évacué dans la pièce.

Il s'agit donc d'une machine frigorifique.



2. D'après le principe de fonctionnement, on a $P_{fr} > 0$, $P_{ch} < 0$ et $P_{meca} > 0$.

Le fluide utilisé est un fluide réfrigérant dont la nature exacte dépend du congélateur. La source froide est l'air contenu dans le bac du congélateur. La source chaude est l'air de la pièce.

L'efficacité d'un réfrigérateur est de l'ordre de 3 à 5.

3. D'après le principe de fonctionnement, on a $e = \frac{Q_{fr}}{W_{cycle}}$.

D'après le premier principe appliqué sur un cycle, on a $\Delta U_{cycle} = W_{cycle} + Q_{fr} + Q_{ch}$.

Or U étant une fonction d'état, on a $\Delta U_{cycle} = 0$.

Donc $W_{cycle} + Q_{fr} + Q_{ch} = 0$

D'après le second principe appliqué sur un cycle, on a $\Delta S_{cycle} = \frac{Q_{fr}}{T_i} + \frac{Q_{ch}}{T_e} + S_{cycle}^{cr}$.

Le cycle de Carnot étant réversible, on a $S_{cycle}^{cr} = 0$.

S étant une fonction d'état, on a $\Delta S_{cycle} = 0$.

Finalement $\frac{Q_{fr}}{T_i} + \frac{Q_{ch}}{T_e} = 0$.

On a donc $Q_{ch} = -\frac{T_e}{T_i} Q_{fr}$.

En injectant dans l'équation obtenue par le premier principe, on a $W_{cycle} + Q_{fr} \left(1 - \frac{T_e}{T_i}\right) = 0$.

Finalement $W_{cycle} = \left(\frac{T_e}{T_i} - 1\right) Q_{fr}$.

En injectant dans la formule de l'efficacité, on trouve $e = \frac{1}{\frac{T_e}{T_i} - 1}$.

On retrouve finalement la formule du cours $e = \frac{T_i}{T_e - T_i}$.

On a donc $e = 6,9$, c'est une valeur élevée pour un réfrigérateur réel, mais qui reste cohérente dans le cas d'un réfrigérateur de Carnot.

On a $e = \frac{P_{fr}}{P_{meca}}$.

Or $P_{meca} = P$.

Donc $P_{fr} = eP$.

Finalement $P_{fr} = 1,7 \text{ kW}$.

4. Supposons que le bloc solide se comporte comme une phase condensée incompressible, indilatable. On a alors $dU = mc dT$.

En intégrant, on trouve que l'énergie nécessaire pour refroidir le bloc de T_e à T_i est $mc(T_i - T_e) = -13 \text{ kJ}$.

Or, d'après l'énoncé, l'énergie fournie par l'objet est égal au transfert thermique fourni par la source froide au système.

Le temps t_C nécessaire pour refroidir l'objet vérifie donc $P_{fr} t_C = -mc(T_i - T_e)$.

Donc $t_C = \frac{mc(T_e - T_i)}{P_{fr}}$.

Finalement $t_C = 7,7 \text{ s}$.

C'est étonnamment extrêmement rapide. Une des hypothèses effectuées lors de l'exercice n'est probablement pas vérifiée.

5. On trouve ici $P_{fr} = 800 \text{ W}$.

Le temps t_r nécessaire pour refroidir l'objet est toujours donné par la formule précédente $t_r = \frac{mc(T_e - T_i)}{P_{fr}}$.

On a donc $t_r = 17 \text{ s}$.

Ce temps semble également déraisonnablement rapide.

Lors de l'exercice, on a supposé que la source froide se comportait comme un thermostat, cependant, cette hypothèse n'est pas forcément vérifiée sur le temps pendant lequel se refroidit l'objet car celui-ci peut réchauffer l'air dans le bac du congélateur.

Une autre hypothèse discutable, et il s'agit probablement de la plus erronée, est de considérer que la température de l'objet est uniforme. En pratique, la surface va se refroidir rapidement, mais l'intérieur mettra a priori plus de temps pour atteindre T_i . Pour pouvoir obtenir un temps plus cohérent avec la réalité, il faudrait donc considérer la propagation du transfert thermique dans l'objet. Ce que vous verrez en P8 - 1 si vous suivez le préspecialisation physique.