Problème IV Réfrigérateur à compresseur

Le réfrigérateur à compresseur est le réfrigérateur le plus courant dans les cuisines. Comment le reconnaître ? Si votre réfrigérateur fait du bruit de temps en temps, c'est justement à cause du compresseur !

Un réfrigérateur a pour but de refroidir les aliments qu'il contient pour permettre leur conservation. Pour cela, un fluide va décrire un cycle thermodynamique appelé cycle frigorifique.
On se propose, dans cette partie, d'étudier un modèle thermodynamique simple du fonctionnement du réfrigérateur.
On considère une machine frigorifique ditherme cyclique basée sur le principe de fonctionnement suivant : " Un fluide frigorigène circule entre les différents organes de la machine. Mis en mouvement par le compresseur, ce fluide refroidit la source froide et réchauffe la source chaude ".

Un schéma simplifié de ce réfrigérateur est donné **figure 6**.

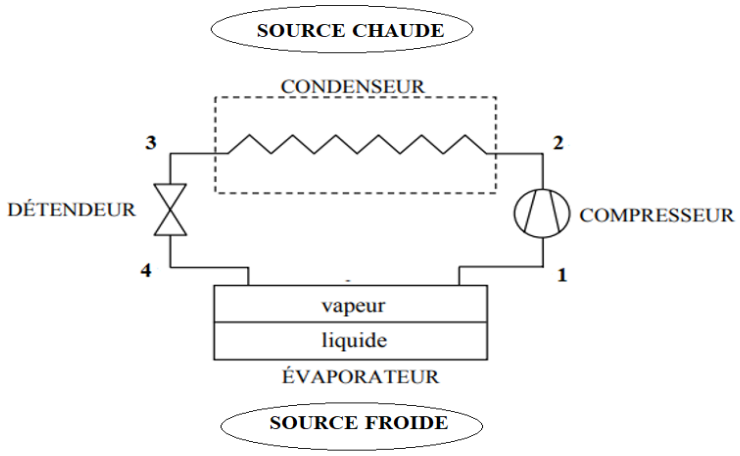


Figure 6 - Schéma simplifié du réfrigérateur

On notera Q_f et Q_c les transferts thermiques reçus algébriquement par le fluide de la part, respectivement de la source froide et de la source chaude au cours d'un cycle modèle.
On notera *W,* le travail reçu par le fluide au cours d'un cycle.

Q1 Donner et justifier les signes des quantités algébriques suivantes : Q_f, Q_c et *W*.

Q2 Sachant que le réfrigérateur est installé dans la cuisine, indiquer où se situe la source froide et où se situe la source chaude.

Le condenseur est la série de longs et fins tubes noirs situés généralement sur la face arrière du réfrigérateur.

Q3 Sans utiliser le diagramme enthalpique de la **figure 7**, indiquer si, lorsque le fluide traverse le condenseur, sa température est supérieure, inférieure ou égale à celle de l'air ambiant.

La **figure 7** représente le diagramme enthalpique (pression P en fonction de l'enthalpie massique h) d'un fluide frigorigène (ici le R134a). Les transformations au cours d'un cycle sont :

- 1 → 2 : compression adiabatique réversible du fluide dans le compresseur calorifugé ;
- 2 → 3 : échange thermique isobare à haute pression P_c dans le condenseur ;
- 3 → 4 : détente isenthalpique dans le détendeur ;
- 4 → 1 : échange thermique isobare à basse pression P_e dans l'évaporateur.

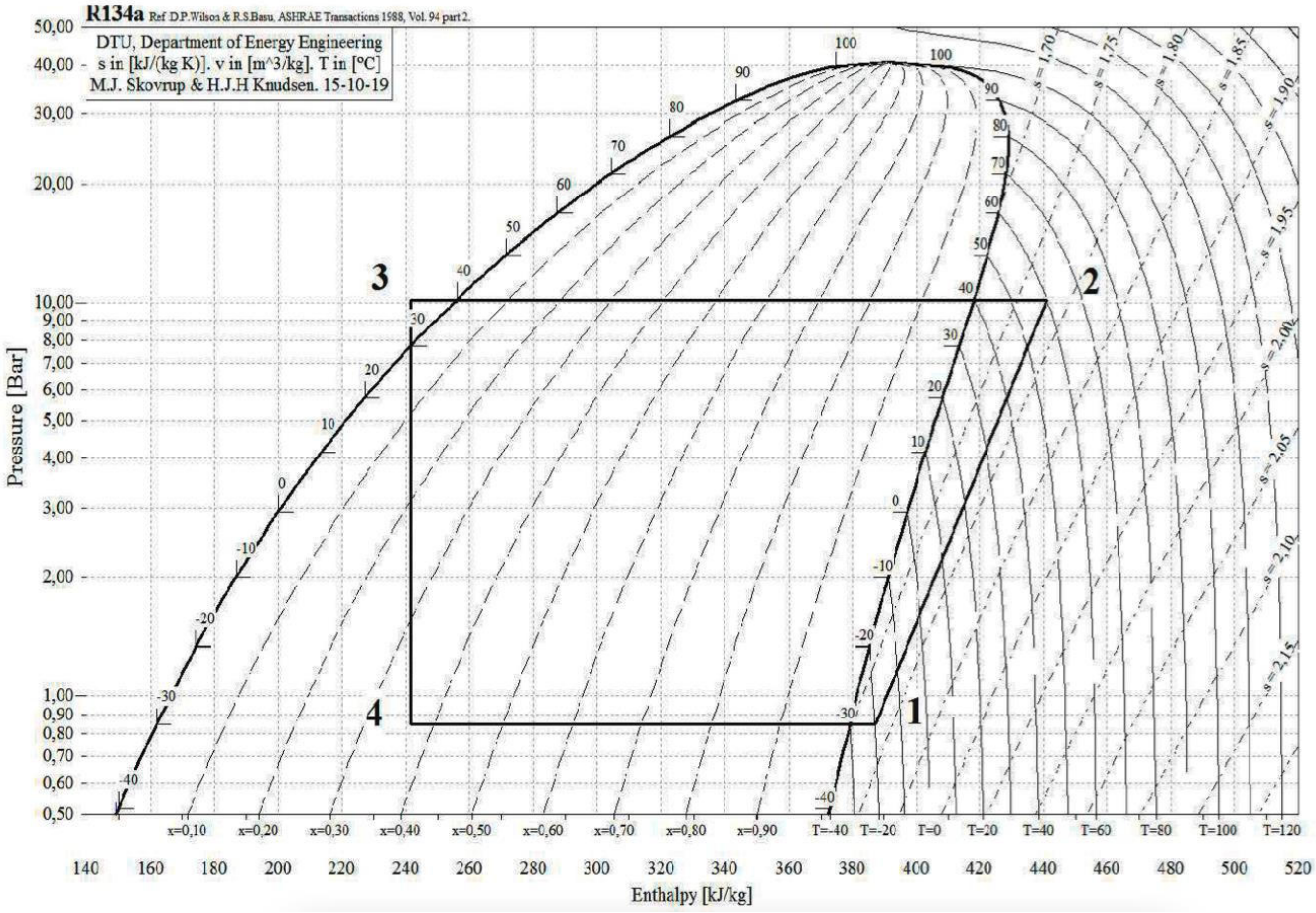


Figure 7 - Cycle suivi par le fluide R134a dans le diagramme enthalpique

Q4 En utilisant le diagramme enthalpique ci-dessus, répondre aux questions suivantes.

a) Donner les valeurs des pressions P_e au sein de l'évaporateur et P_c au sein du condenseur.

b) Déterminer le titre massique x_v en vapeur au point 4. de deux façons différentes.

c) Donner la valeur de la température T_2 en sortie du compresseur.

Q5 Donner l'expression générale du premier principe lorsqu'il est appliqué à un fluide en écoulement stationnaire unidimensionnel en nommant les grandeurs introduites.

Dans la suite des questions, on négligera les variations d'altitude et de vitesse du fluide.

Q6 Déterminer les transferts thermiques massiques reçus par le fluide de la part de la source froide q_F et de la source chaude q_C, ainsi que le travail utile massique w reçu au cours du cycle.

Q7 Montrer que l'efficacité e_1 de ce réfrigérateur est proche de 3,0.

Q8 En appliquant les deux principes de la thermodynamique à un cycle réversible, montrer que l'expression de l'efficacité de Carnot pour une machine frigorifique fonctionnant entre une source chaude T_c et une source froide T_f, est donnée par :

$$e_{Carnot} = \frac{T_f}{T_c - T_f}.$$

Q9 Donner une valeur numérique approchée de l'efficacité de Carnot du réfrigérateur dans le cas d'une source froide à la température T_f = 3,0 °C et d'une source chaude à la température T_c = 23 °C. Comparer à la valeur trouvée pour le cycle précédent. Le résultat de cette comparaison était-il prévisible ? Justifier la réponse apportée.

Du givre peut se former à l'intérieur du réfrigérateur : en effet, l'évaporateur étant très froid, la vapeur d'eau se transforme en fines couches de glace appelée givre.

Q10 Nommer le changement d'état relatif à cette formation du givre.

Si on laisse s'accumuler une couche de givre, on admet que l'entropie créée S_c augmente pour un même transfert thermique pris à la source froide lors d'un cycle.

Q11 Montrer que l'on obtient pour un cycle réel la relation suivante :

$$\frac{Q_c}{Q_f} = - \alpha \frac{T_c}{T_f}$$

où α est une constante à préciser en fonction de T_f, Q_f et de S_c.

En prenant une valeur de α égale à 1,55, l'efficacité du réfrigérateur est à présent égale à e_2 = 1,50.

Q12 En déduire la surconsommation électrique du réfrigérateur due à la présence de givre. On pourra donner le résultat en pourcentage.