

MACHINES THERMIQUES

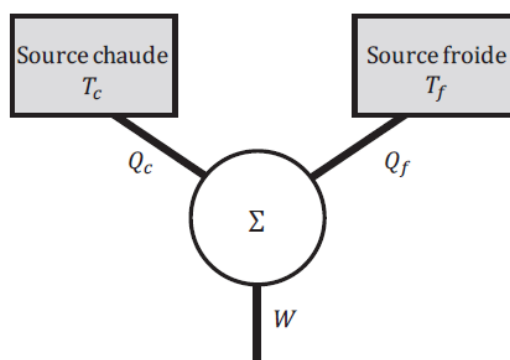
- Les questions doivent être clairement séparées.
- Toute réponse doit être introduite par le numéro de la question et un titre, elle doit justifiée.
- La rédaction doit être claire et concise.
- Les résultats doivent être encadrés.
- Les différents exercices sont à démarrer sur une nouvelle page.
- Vérifiez l'homogénéité des résultats.

Réfrigérateur domestique

Les applications numériques seront réalisées avec deux chiffres significatifs

A. Modélisation d'une machine réfrigérante ditherme

On représente schématiquement une machine ditherme comme ci-après.



On note :

Σ : le fluide thermodynamique « caloporteur » ou « frigorigène » ou « frigorigène »

Q_c : le transfert thermique échangé par Σ avec la source chaude (température T_c) au cours d'un cycle.

Q_f : le transfert thermique échangé par Σ avec la source froide (température T_f) au cours d'un cycle.

W : le s travail échangé par Σ avec l'extérieur au cours d'un cycle

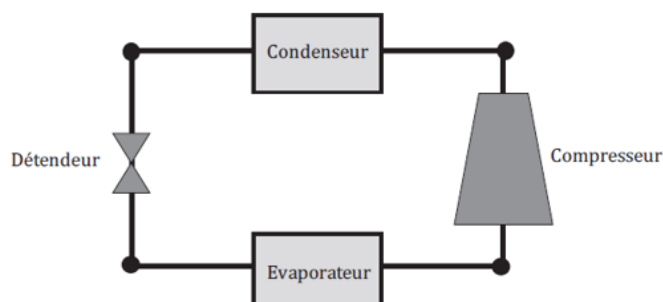
Ces grandeurs sont algébriques et leur signe est positif lorsque le système thermodynamique Σ les reçoit effectivement.

1. Indiquer le signe de Q_c , Q_f et W lorsque la machine fonctionne en réfrigérateur. On justifiera la réponse.
2. Définir l'efficacité e_f (aussi appelé coefficient de performance) d'une telle machine et montrer qu'elle est majorée par une efficacité e_f^{\max} dont on établira l'expression en fonction de T_c et T_f .

B. Etude d'un cycle réfrigérant à compression de vapeur

Nous nous proposons d'étudier un cycle à compression de vapeur utilisé dans un réfrigérateur. La source chaude est la cuisine, de température T_c , la source froide est l'armoire de réfrigération et son contenu de température T_f .

Un fluide frigorigène décrit le cycle schématisé ci-contre :



Il y subit les transformations suivantes :

De l'état 4 à l'état 1 : Evaporation à $T_{\text{evap}} = 0^\circ\text{C}$ puis surchauffe isobare jusqu'à 10°C .

De l'état 1 à l'état 2 : Compression adiabatique dans le compresseur.

De l'état 2 à l'état 3 : refroidissement isobare, liquéfaction isobare à $T_{\text{cod}} = 40^\circ\text{C}$ puis sous-refroidissement du liquide jusqu'à 30°C .

De l'état 3 à l'état 4 : détente isenthalpique du fluide.

On h_i , s_i et v_i respectivement l'enthalpie, l'entropie et le volume du fluide dans l'état i .

On note P_i et T_i respectivement la pression et la température du fluide dans l'état i .

Entre les états i et j on note :

$\Delta_{i,j}h$ la variation d'enthalpie massique du fluide (les notations utilisées pour d'autres variations de grandeurs d'état s'en déduisent)

$q_{i,j}$ le transfert thermique massique reçu par le fluide

$w_{i,j}$ le travail utile (ou indiqué) reçu par le fluide.

3. Annoter la figure 1 du document annexe à rendre en plaçant les différents points correspondant aux états 1 à 4. Positionner la source chaude et la source froide. Indiquer par une flèche le sens du transfert thermique entre les sources et le fluide dans l'évaporateur et dans le condenseur.

Cycle avec compression réversible

Dans un premier temps on suppose que la compression est adiabatique et réversible. Elle conduit le fluide de l'état 1 à l'état noté 2s.

4. Placer les points correspondant aux états 1, 2s, 3 et 4 dans les diagrammes $P(h)$ du fluide R134a en annexe (figures 2)

Ne pas prendre en compte le point 2'.

5. Remplir les colonnes représentant les états 1, 2s, 3 et 4 du tableau du document annexe à rendre.

6. Justifier que l'on ait choisit $T_{\text{evap}} \leq T_f$ et $T_{\text{cond}} \geq T_c$.

Cycle avec compression non réversible

La compression n'est en réalité pas réversible. Le compresseur est caractérisé par son rendement isentropique :

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Le rendement isentropique du compresseur est de 75%

Le cycle étudié est désormais $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$.

7. Déduire des valeurs de h_1 et h_{2s} celle de $h_2 - h_1$ et placer le point correspondant à l'état 2 sur la figure 2a. Tracer le cycle sur la figure 2a en utilisant une autre couleur.

8. Compléter la colonne 2 du tableau en annexe.

9. On observe dans la pratique que $s_2 > s_{2s}$, justifier ce résultat.

Détermination de l'efficacité de la machine

10. Rappeler l'expression du premier principe de la thermodynamique lorsqu'il est appliqué à un système ouvert en régime stationnaire ou permanent.

11. Montrer que l'on peut exprimer l'efficacité du réfrigérateur en fonction des enthalpies massiques de différents points du cycle $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$.

12. Déterminer à l'aide des données évaluées sur le graphique l'efficacité du cycle réfrigérateur décrit par le fluide.

C. Utilisation d'un réfrigérateur

On s'intéresse dans cette partie à l'évolution de la température d'un réfrigérateur. Cette température est supposée uniforme à l'intérieur du réfrigérateur. Elle est susceptible de varier dans le temps et sera noté T .

La source chaude est la cuisine dans laquelle est installé le réfrigérateur. Sa température T_c est constante.

La capacité thermique isobare de l'intérieur du réfrigérateur est $C = 3 \cdot 10^5 \text{ J.K}^{-1}$.

Le rapport K entre l'efficacité réelle du réfrigérateur et son efficacité maximale sera supposé constant au cours du temps et pris égal à 0,25.

Evaluation des fuites thermiques

Pour évaluer les fuites thermiques du réfrigérateur, on le débranche à l'instant $t = 0$ alors que l'intérieur du réfrigérateur est à la température initiale T_f .

La puissance thermique reçue par l'intérieur du réfrigérateur à travers les parois du réfrigérateur est modélisée par :

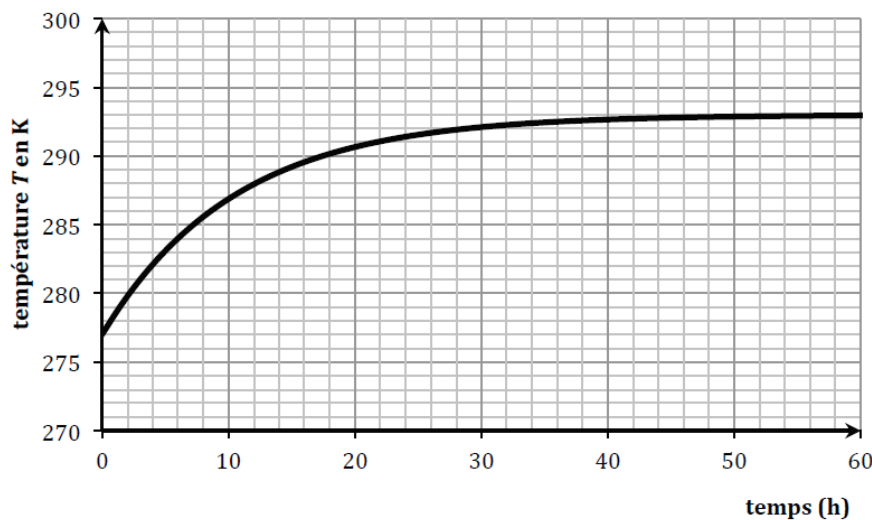
$$P_{th} = \lambda(T_c - T) \text{ où } \lambda \text{ est une constante.}$$

13. Quel est le signe de λ ? Justifier.

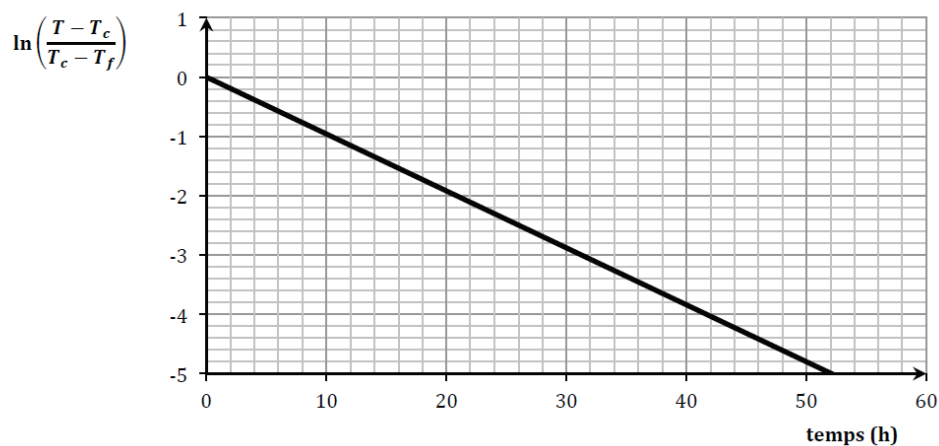
14. Etablir l'équation différentielle vérifiée par la température T .

15. En déduire l'expression de T en fonction du temps.

16. Ci-dessous figure le graphe représentatif de T en fonction du temps. En déduire la valeur numérique de T_f et T_c .



17. Ci-dessous figure le graphe représentatif de la grandeur $\ln\left(\frac{T - T_c}{T_f - T_c}\right)$ en fonction du temps t . Exploiter le graphique pour déterminer numériquement λ en précisant son unité.



Fonctionnement en régime stationnaire

Lorsque le réfrigérateur est branché depuis longtemps, la température à l'intérieur est régulée à T_f .

18. Calculer l'efficacité du réfrigérateur.

19. Calculer la puissance P_{th} des fuites.

20. Calculer la puissance P_c nécessaire du compresseur pour compenser les fuites.

ANNEXE

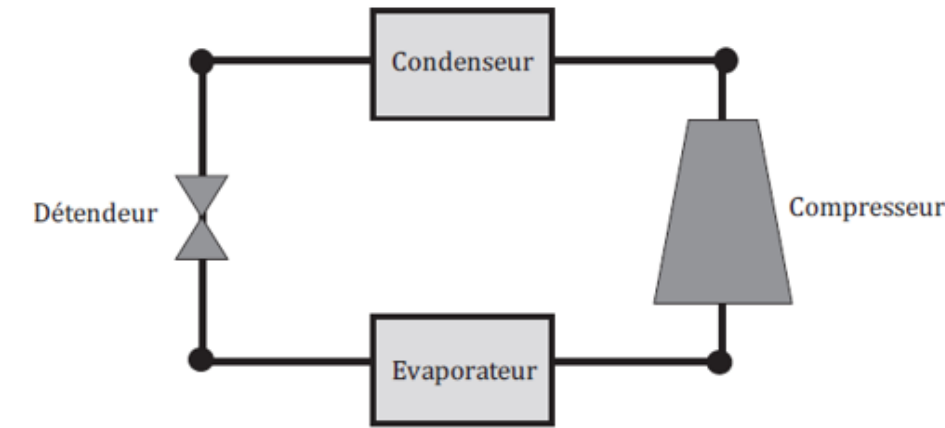


Figure 1

Point	1	2	2s	3	4
P(bar)					
T(°C)					
Etat du fluide					
h(kJ/kg)					

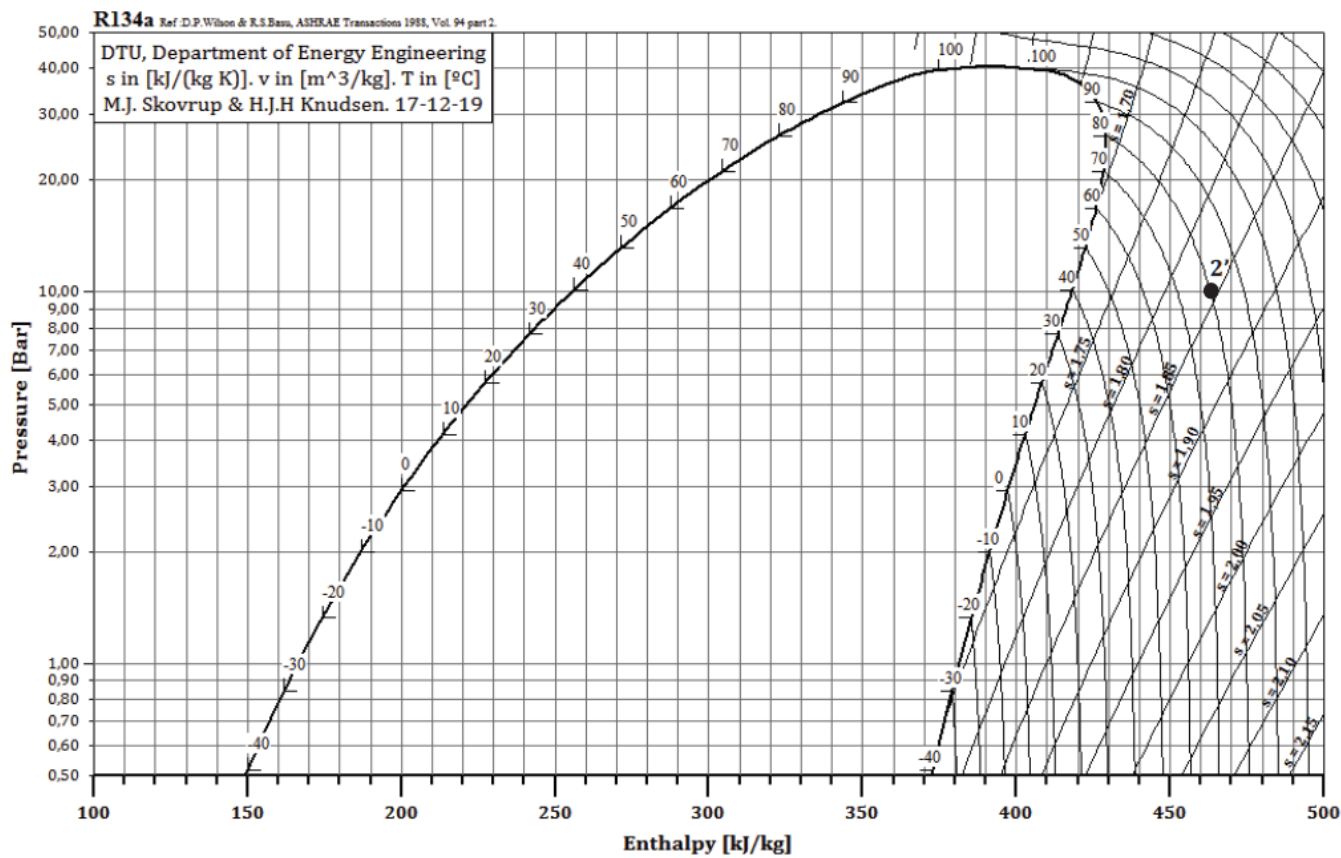


Figure 2