



Lycée Charles Coëffin — Sciences physique

Fiche de travaux dirigés — CPGE TSI2

TD 17 : Diagrammes d'état des fluides réels purs

Objectifs

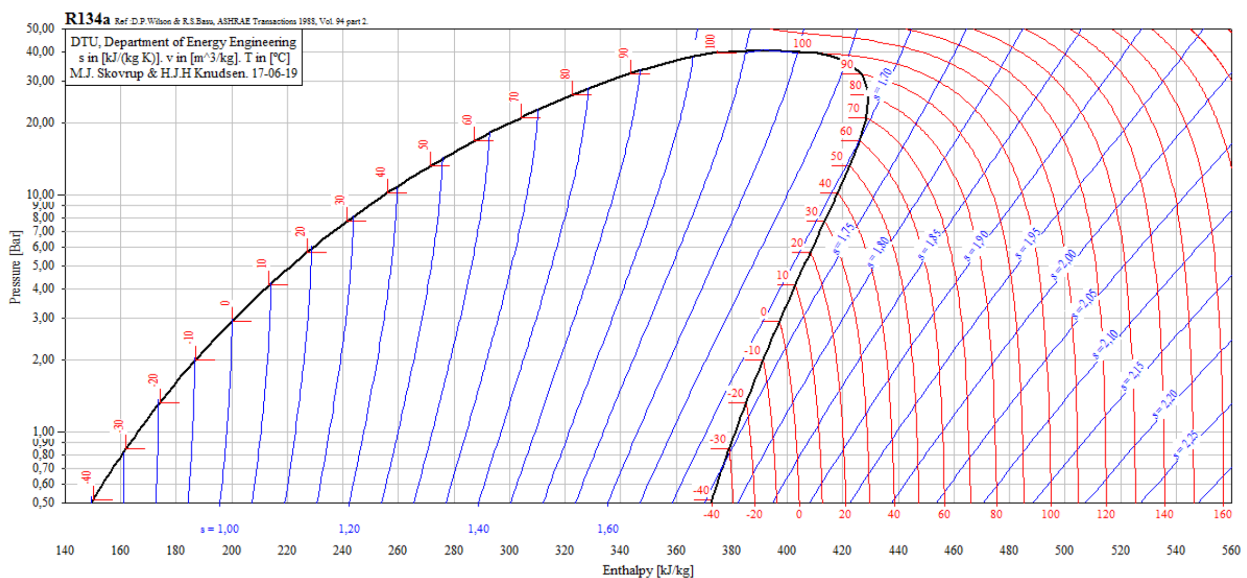
- Citer l'ordre de grandeur de l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau.
- Calculer l'énergie récupérable par transfert thermique lors d'une liquéfaction isobare.
- Relier l'entropie de changement d'état à l'enthalpie de changement d'état.
- Utiliser la règle des moments.
- Représenter, pour le diagramme de Clapeyron, l'allure des courbes isothermes et isentropiques.
- Exploiter un diagramme fourni pour déterminer une grandeur physique

Pré-requis : thermodynamique TSI 1 (modèle du gaz parfait, modèle de la phase condensée indilatable et incompressible, diagramme de Clapeyron (P, v), transformations, premier et second principes, machines thermiques cycliques dithermes); thermochimie TSI 2 (identité thermodynamique).

1 Exercices

Lecture du diagramme des frigoristes ★

Du fluide réfrigérant R134a subit le cycle thermodynamique suivant. À la sortie du condenseur, le fluide est dans l'état, noté (1), de liquide saturant à la température $T = 40^\circ\text{C}$. Il subit alors une détente isenthalpique dans un détendeur qui abaisse sa pression de 8 bar et l'amène à l'état noté (2). Il traverse, sans chute de pression, un évaporateur dans lequel il reçoit une grande quantité d'énergie, suffisante pour l'amener à sa température de vapeur saturante augmentée de $+10^\circ\text{C}$ qui représente l'état (3). La vapeur sèche est alors comprimée de façon isentropique jusqu'à atteindre l'isobare de départ au point (4).

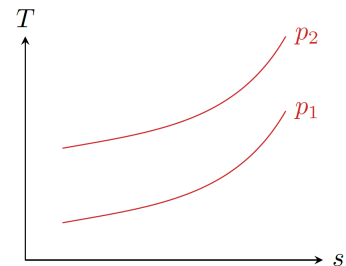


1. Placer les points (1) à (4) sur le diagramme des frigoristes représenté figure.
2. Quelle est la température des points (2), (3) et (4) ?
3. Quelle est l'enthalpie massique du fluide au point (2), et des points correspondant au liquide et à la vapeur saturants ?
4. En déduire le titre en vapeur du point (2).

Positionnement relatif des isobares en diagramme entropique ★

Le but de l'exercice est de déterminer la position relative des isobares en diagramme entropique en se plaçant dans la limite du gaz parfait : les isobares haute pression sont-elles au dessus ou au dessous des isobares basse pression ?

Pour répondre à la question initiale, raisonnons sur la compression isentropique d'un gaz parfait de la pression p_1 à la pression p_2 . On note T_1 et T_2 les température initiale et finale.



1. Établir l'équation d'une isobare en diagramme entropique dans la limite du gaz parfait.
2. Représenter la transformation sur le diagramme fourni.
3. Exprimer p_2 en fonction de p_1 , $\gamma = c_P/c_V$, et des températures.
4. Justifier que $\gamma > 1$, et conclure.

Détendeur de plongée ★ ★

L'air des bouteilles de plongée sous-marine est stocké sous forme de gaz comprimé, en équilibre thermique avec l'eau environnante supposée à 20 °C. À l'aide d'un système complexe de membrane déformable et de ressort, un détendeur fait circuler l'air au travers d'un mince étranglement en lui faisant subir une détente isenthalpique et adiabatique. Pour la plongée, un détendeur primaire placé sur la bouteille assure une première détente de l'étage haute pression (200 bar, point 1) vers l'étage moyenne pression (10 bar, point 2), où l'air retrouve l'équilibre thermique avec l'eau (point 3). Un second détendeur, placé au niveau de la bouche du plongeur, assure la détente vers la basse pression (1 bar, point 4). Le plongeur inhale environ 0,5 L d'air par inspiration.

Donnée : masse molaire de l'air $29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

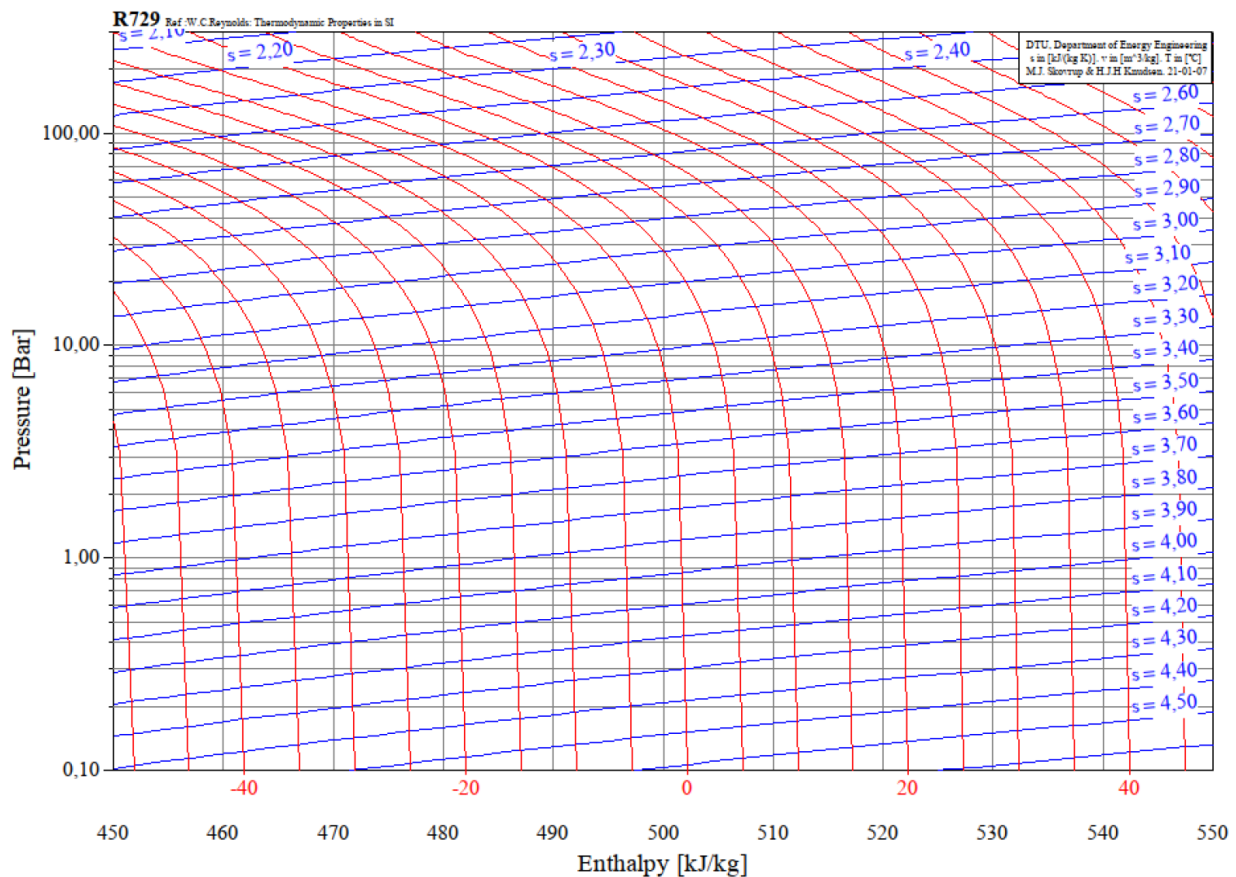


FIGURE 1 – Diagramme des frigoris de l'air avec T en $^{\circ}\text{C}$ et s en $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Représenter l'évolution subie par l'air sur le diagramme de la figure fournie.
2. Montrer que la première détente s'accompagne d'une forte baisse de température. Qu'aurait donné le modèle du gaz parfait ? Quel aspect du diagramme permet d'anticiper que ce modèle n'est pas valable ?
3. En pratique, le plongeur ne ressent pas de sensation d'air froid lors de l'inspiration. Expliquer.
4. À quel point le modèle du gaz parfait est-il le mieux vérifié ? En raisonnant en ce point, déterminer la masse d'air inhalée à chaque inspiration.
5. En déduire le transfert thermique que reçoit cette masse d'air lors de son passage dans le tube séparant les deux détendeurs, puis l'entropie créée lors de la totalité du processus.

2 Annale

Partie III - 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**.

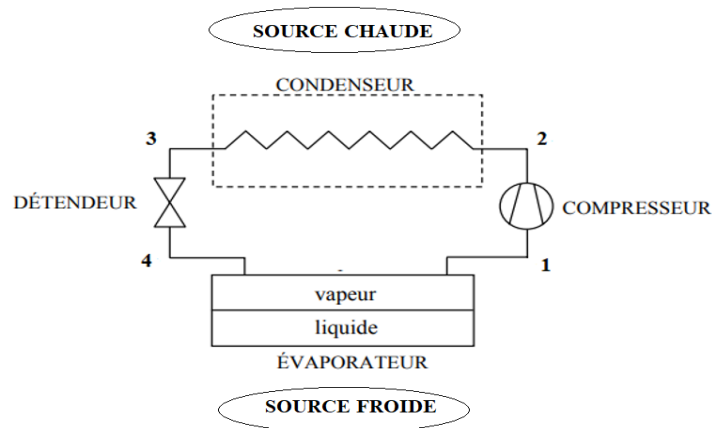


Figure 6 - Schéma simplifié du réfrigérateur

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.

Q35. Donner et justifier les signes des quantités algébriques suivantes : Q_f , Q_c et W .

Q36. 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.

Q37. 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 :

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

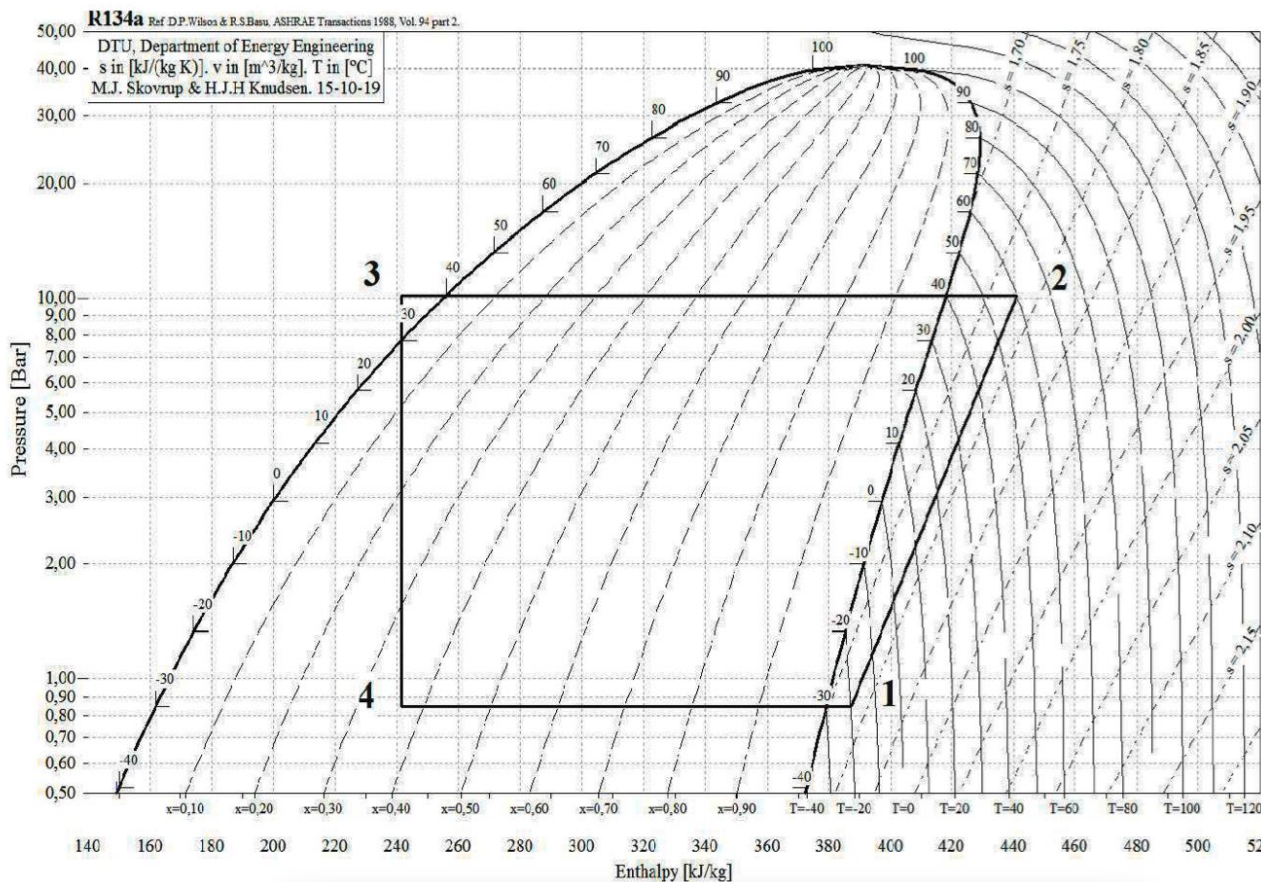


Figure 7 - Cycle suivi par le fluide R134a dans le diagramme enthalpique

Q38. En utilisant le diagramme enthalpique ci-dessus, répondre aux questions suivantes.

- Donner les valeurs des pressions P_e au sein de l'évaporateur et P_c au sein du condenseur.
- Déterminer le titre massique x_v en vapeur au point 4.
- Donner la valeur de la température T_2 en sortie du compresseur.