

# TD 12 - Thermodynamique industrielle (2)

10/12/2025

## 1 Retour sur le diagramme de Clapeyron - II

Le diagramme de Clapeyron est le diagramme  $(P, v)$ .

1. Représenter l'allure de ce diagramme pour un équilibre liquide/gaz.
2. On cherche à tracer l'allure d'une isotherme. On suppose la phase liquide incompressible et indilatable,  $v$  est ainsi indépendant de  $P$ . On suppose que la phase gazeuse est modélisable par un gaz parfait. En déduire en le justifiant l'allure d'une isotherme dans les trois zones du diagramme.

## 2 Climatisation d'une voiture - II

On va étudier dans cette exercice le système de climatisation d'une voiture. Le fluide circulant dans le climatiseur est du R134a, qui n'est plus utilisé de nos jours à cause de son fort pouvoir de réchauffement global. Ce fluide s'écoule dans la machine de manière stationnaire avec un débit massique  $D_m = 0,1 \text{ kg/s}$ .

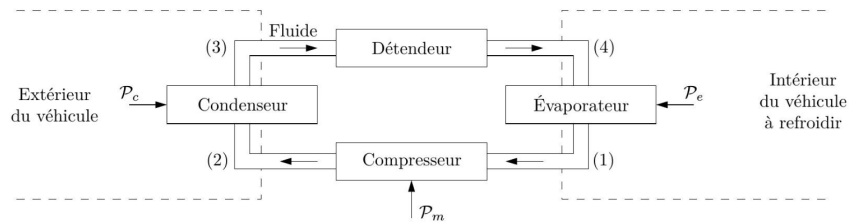


FIGURE 1 – Schéma d'un climatiseur de voiture

On représente sur la figure 2 le diagramme enthalpique du R134a. Sur ce diagramme l'entropie massique  $s$  est donnée en  $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$  et la température  $T$  en  $^{\circ}\text{C}$ .

1. Indiquer sur le diagramme les domaines où le fluide est liquide, gazeux, ou à l'équilibre liquide/gaz.

On étudie l'évolution du fluide au cours d'un cycle en régime permanent avec un débit massique  $D_m = 0,1 \text{ kg/s}$ .

- Dans l'évaporateur, le fluide reçoit la puissance thermique  $P_e$  et s'évapore complètement de manière isobare et conduit au point (1) à la température  $T_1 = 5^{\circ}\text{C}$  et pression  $P_1 = 3 \text{ bar}$ .
  - Le compresseur comprime la vapeur (1) de manière isentropique, en sortie le fluide est à la pression  $P_2 = 6P_1$ .
  - Dans le condenseur le fluide change d'état et se refroidit jusqu'à la température  $T_3 = 60^{\circ}\text{C}$ .
  - Dans le détendeur le fluide subit une détente isenthalpique jusqu'à la pression de l'évaporateur  $P_1$ .
2. Tracer le cycle parcouru par le fluide dans le diagramme enthalpique. Commenter le sens de parcours de ce cycle.
  3. Justifier que sur le schéma du climatiseur, l'évaporateur soit au contact de l'air intérieur de la voiture.

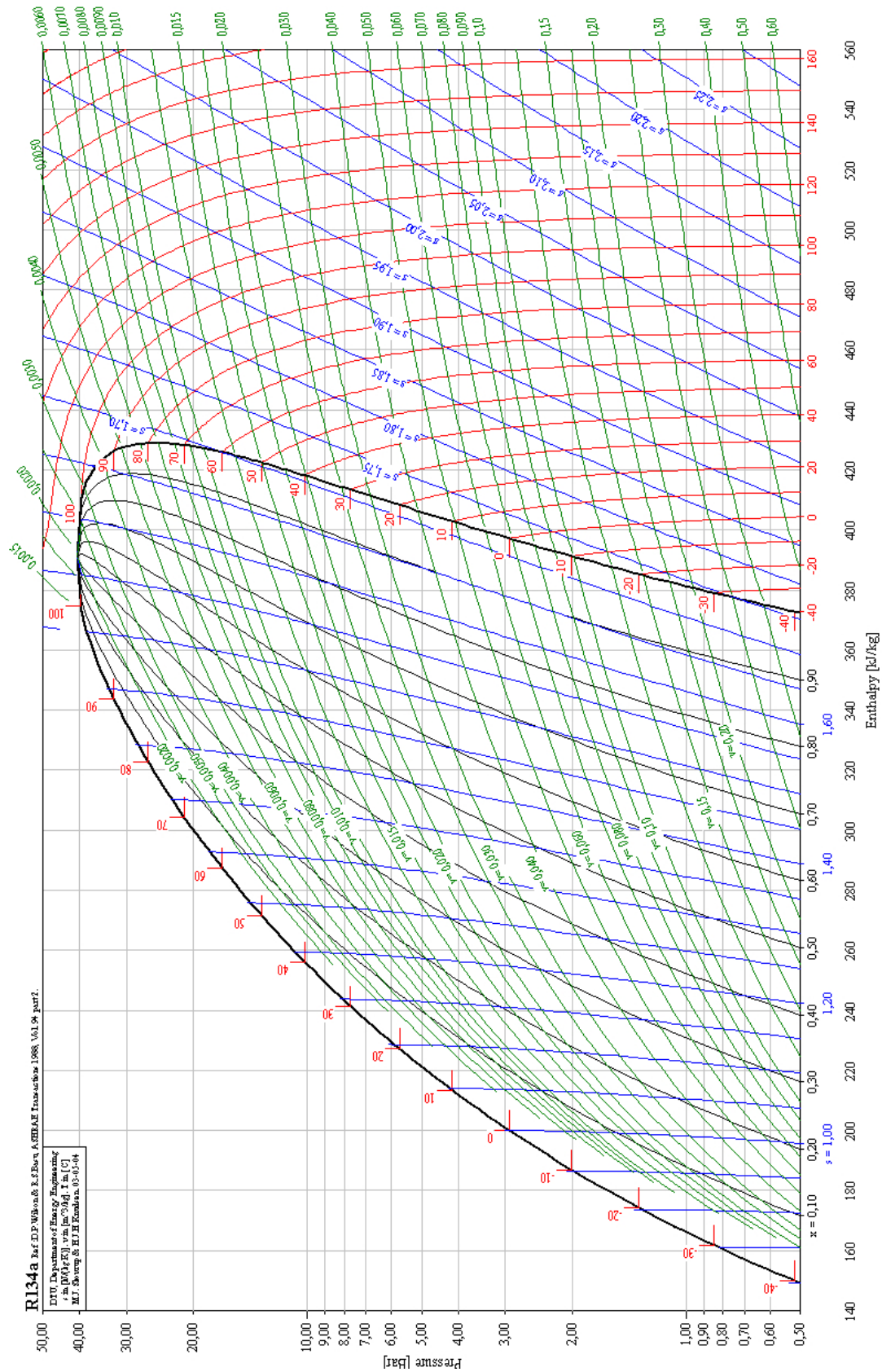


FIGURE 2 – Diagramme enthalpique du R134a

- Rappeler l'expression du premier principe industriel, version puissance, où l'on a négligé les variations d'énergie mécanique.
- Déterminer la valeur de la puissance mécanique  $P_m$  reçue par le fluide lors de son passage dans le compresseur. Commenter le signe de  $P_m$ .
- Déterminer la puissance thermique  $P_e$  échangée par le fluide lors de son passage à travers l'évaporateur. L'air intérieur du véhicule est-il bien refroidi ?
- Définir le coefficient de performance du climatiseur  $COP$  et le calculer.
- Comparer cette valeur à celle du coefficient de performance d'un climatiseur de Carnot fonctionnant entre les températures  $T_1$  et  $T_3$ . Commenter le résultat.

### 3 Diagramme entropique et centrale à vapeur - III

On s'intéresse au fonctionnement d'une centrale à vapeur : le but est de produire de l'électricité à partir de la combustion de gaz ou de charbon. Cette installation est schématisée sur la figure 3

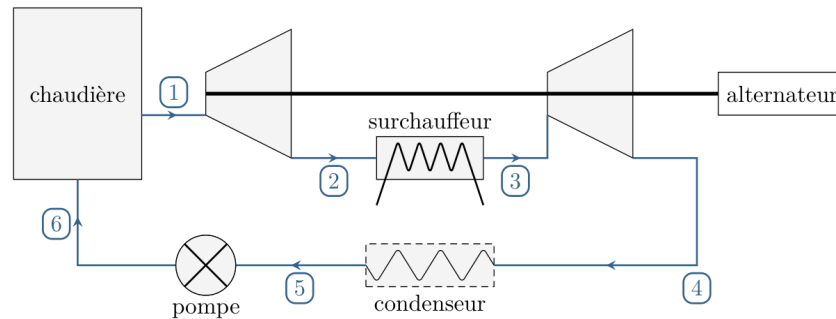


FIGURE 3 – Schéma du cycle de la centrale à vapeur.

Le fluide en écoulement dans la centrale est de l'eau, son diagramme entropique étant représenté sur la figure 4. Les isobares sont les courbes rouges. Dans la phase liquide, toutes les isobares se confondent sur la courbe de changement d'état. Le cycle suivi par l'eau dans cette machine est appelé cycle de Hirn.

L'eau liquide est chauffée par une chaudière thermique, qui débite de la vapeur d'eau à  $550^\circ\text{C}$  et 100 bar (état 1). Cette vapeur subit une détente adiabatique réversible dans une première turbine dite haute pression, d'où elle sort à la pression de 10 bar (état 2). Un surchauffeur isobare, lui aussi relié à la chaudière, ramène la vapeur à la température initiale (état 3). La vapeur passe ensuite dans la seconde turbine, dite basse pression, d'où sort de l'eau à la température de  $40^\circ\text{C}$  (état 4). Le passage dans cette seconde turbine est également fait de manière adiabatique et réversible.. Cette eau est envoyée dans un condenseur d'où elle sort à l'état de liquide juste saturant (état 5), puis elle est pompée de manière adiabatique réversible (état 6) et renvoyée en entrée du générateur de vapeur où elle subit un échauffement isobare. Les arbres des deux turbines sont liés entre eux. On négligera ici les variations d'énergie mécanique.

- Tracer le cycle parcouru par l'eau dans le diagramme entropique. Pourquoi les points 6 et 5 sont ils confondus ?
- Commenter le sens de parcours de ce cycle.
- Donner la température de l'eau dans l'état 2 ainsi que la composition du fluide dans l'état 4. Déterminer ensuite les valeurs approximatives des enthalpies massiques de l'eau aux 6 points du cycle.
- Déterminer le travail indiqué total **reçu** par les turbines haute et basse pression.
- Si on considère que l'alternateur a un rendement électromécanique de 90 %, déterminer le débit d'eau à imposer pour obtenir une puissance électrique de 400 MW.
- Pendant quelles étapes le fluide reçoit-il de l'énergie thermique ? Calculer la chaleur massique totale reçue par le fluide lors de son parcours dans la centrale.



7. Calculer finalement le coefficient de performance de cette centrale à vapeur.