

## TD bilans

## Principes « industriels »

## 1 — Pompe à chaleur

On considère une pompe à chaleur réelle où le fluide en écoulement permanent lent est le R410. On donne dans le diagramme des frigoristes ( $p$  en ordonnée en échelle logarithmique,  $h$  en abscisse) le diagramme pour cette pompe à chaleur destinée au chauffage d'un local.

On donne  $h_3 = 423 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $h_4 = 477 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $h_6 = 243 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

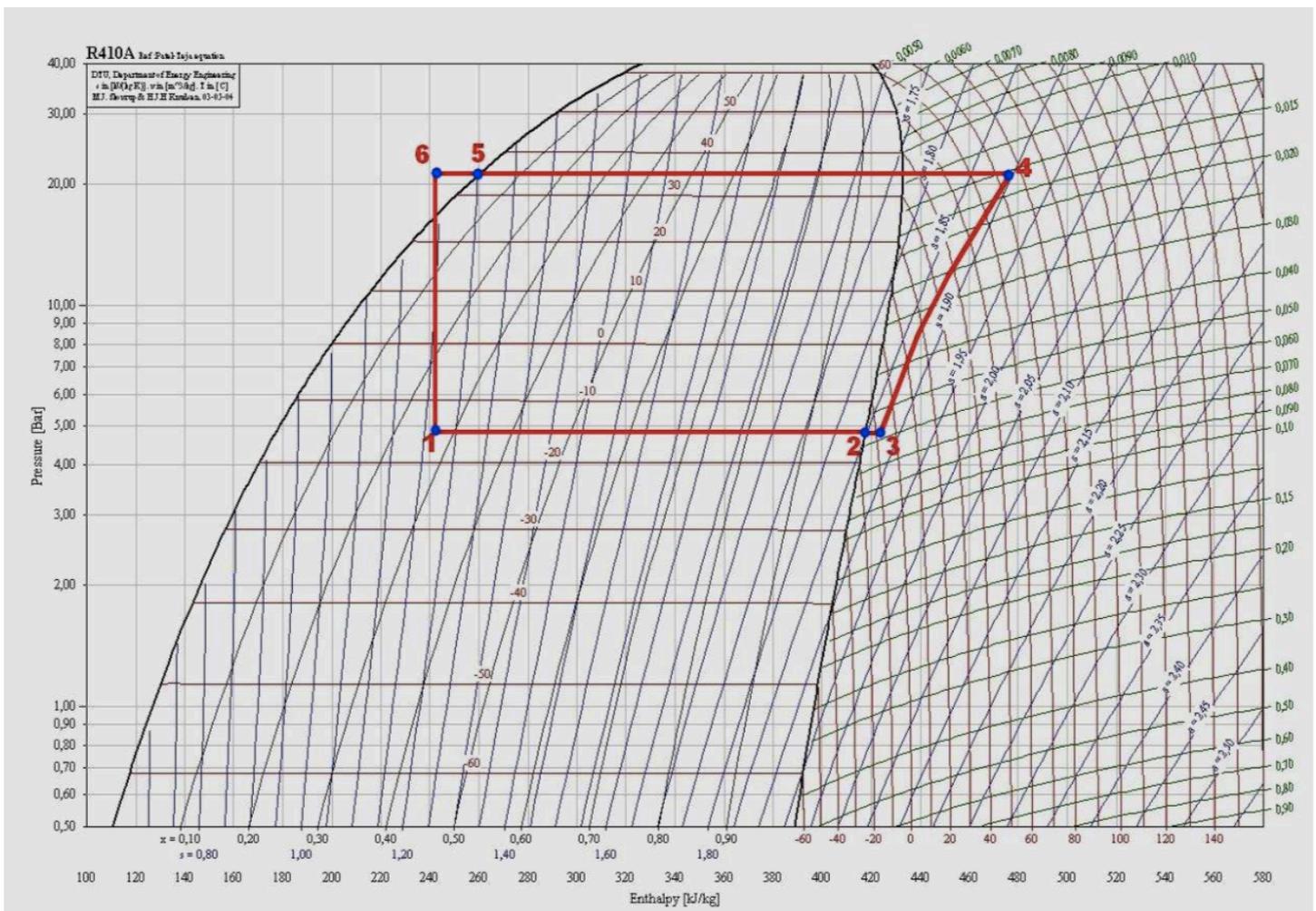
1. Quelle est l'étape du cycle qui correspond à une détente de Joule-Kelvin (dite aussi opération de laminage réalisée dans un détendeur calorifugé) ?

2. Dans quelle étape le fluide caloporteur cède-t-il un transfert thermique à la source chaude ?

Déterminer le transfert thermique reçu par le local pendant cette étape quand un kilogramme de fluide circule.

3. Dans l'étape  $3 \rightarrow 4$ , le fluide est comprimé dans un compresseur adiabatique. Déterminer l'efficacité de cette pompe à chaleur.

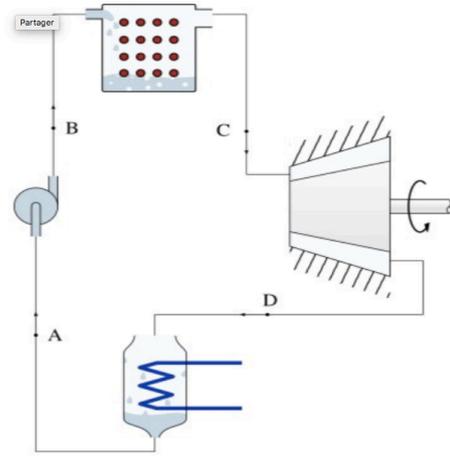
4. Sur le diagramme, les entropies sont données en  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Déterminer si la compression est réversible ou pas. Quelles sont, dans les étapes  $4 \rightarrow 6$ ,  $6 \rightarrow 1$  et  $1 \rightarrow 3$ , les étapes manifestement irréversibles et pourquoi ?



## 2 — Navire brise-glace

Dans un navire brise-glace, une installation permet de faire tourner les hélices en fabriquant de la vapeur dans une chaudière puisant de l'énergie sur le circuit secondaire d'un réacteur nucléaire.

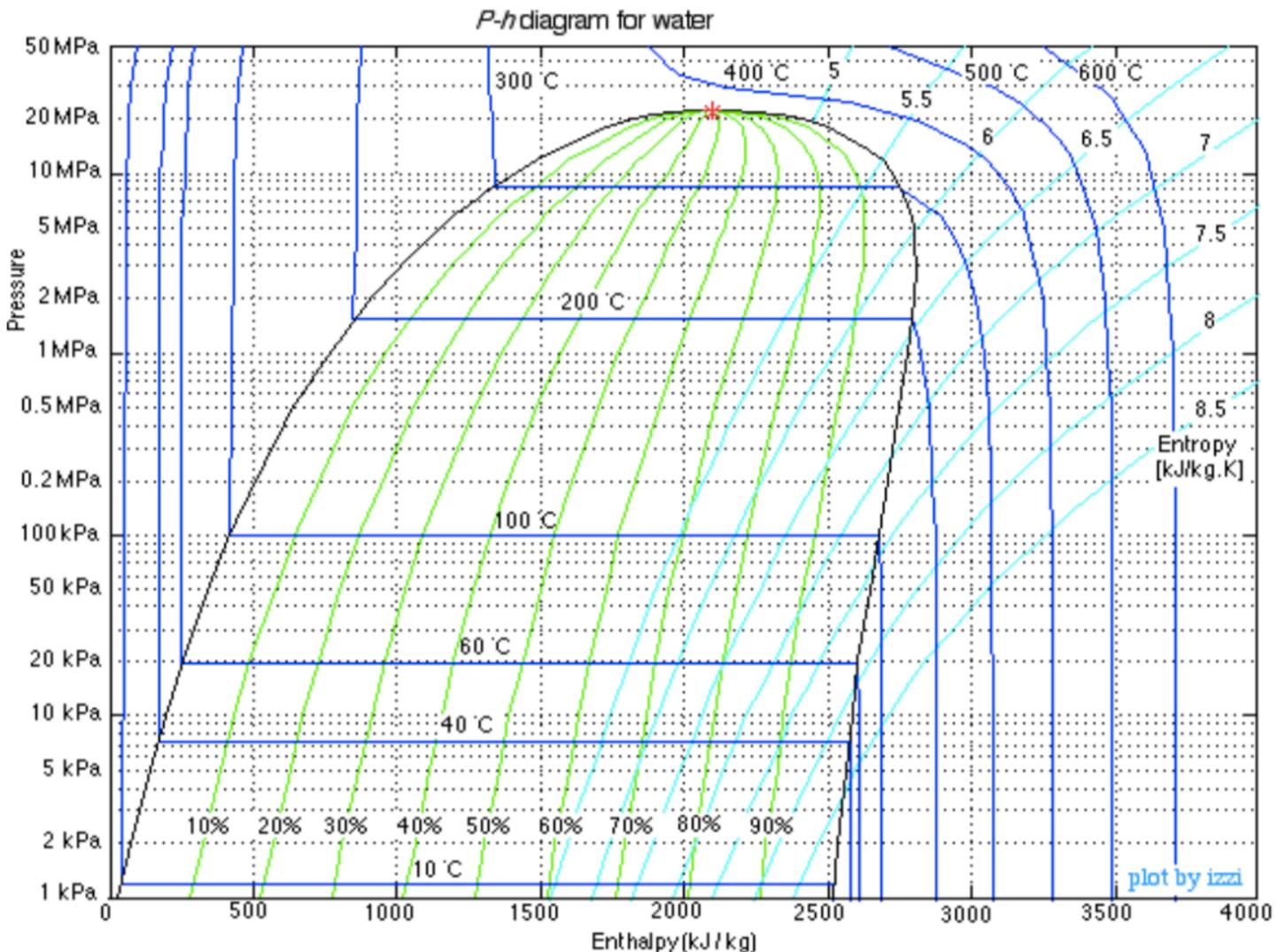
Le cycle de l'eau est basé sur un cycle de Rankine surchauffé, entre les pressions de 0,5 bar et 30 bar. Les différents organes du système sont schématisés ci après :



- A à B : pompe
- B à C : chaudière (formant de la vapeur surchauffée)
- C à D : turbine
- D à A : condenseur total

Hypothèses : l'eau en sortie du condenseur (D à A) est un liquide saturant, celle en sortie de la chaudière est surchauffée à 300 °C. On considère que la turbine est parfaitement isolée et isentropique, et que la pompe est isenthalpique.

1. Représenter le cycle de Rankine sur le diagramme des frigoristes de l'eau fourni.
2. Relever les valeurs de la pression  $p$ , de la température  $T$ , du titre en vapeur  $x$  et de l'enthalpie massique  $h$  pour chaque point.
3. Définir l'efficacité thermodynamique de l'installation. Déterminer sa valeur numérique.
4. On définit la consommation spécifique de vapeur comme la masse de vapeur ayant traversé la turbine lorsque l'installation a généré 1 kWh d'énergie mécanique indiquée. La déterminer.



### 3 — Machine frigorifique

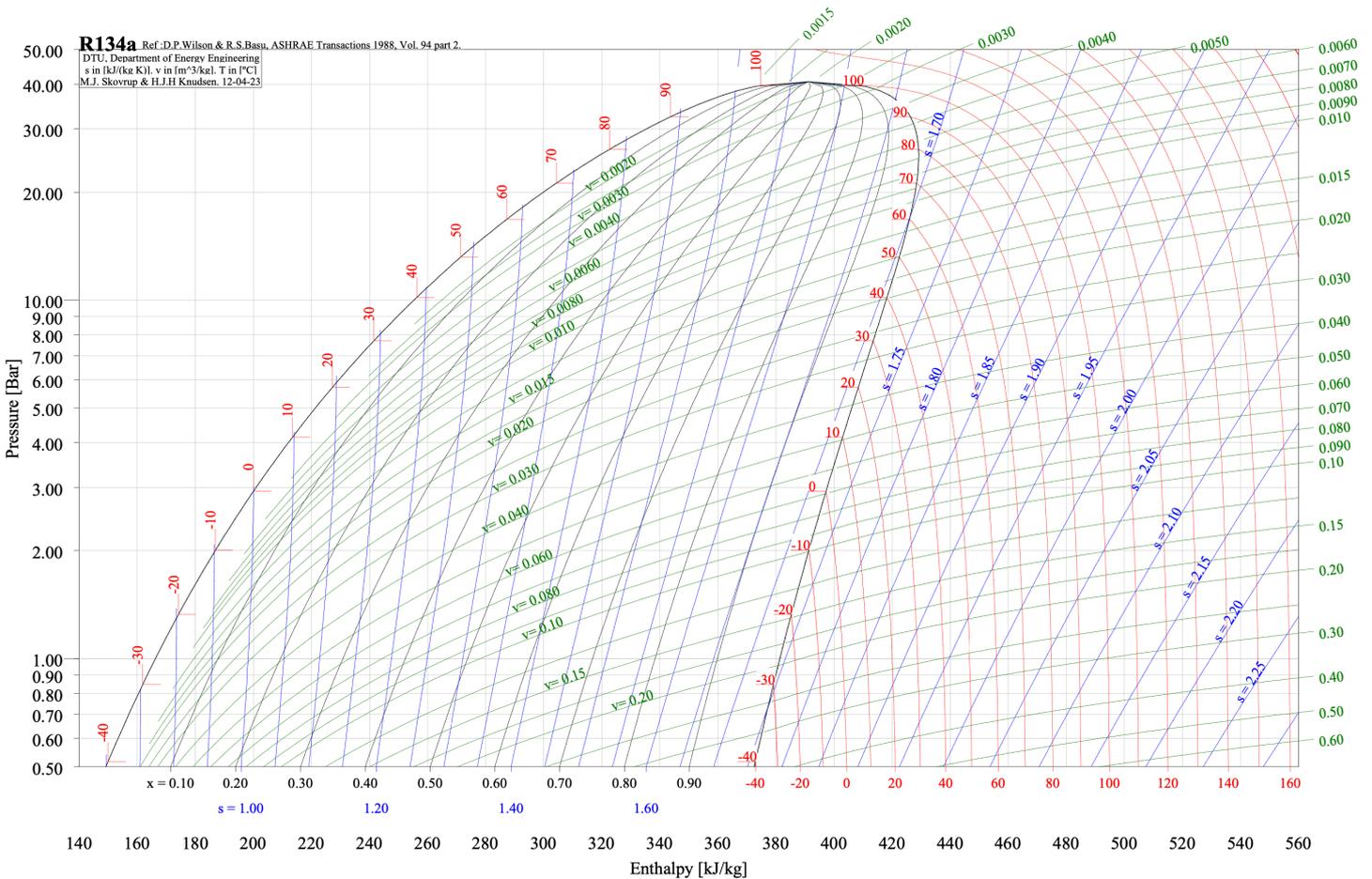
On considère une machine frigorifique dans la quelle un fluide frigorigène, le R134a, parcourt le cycle suivant :

- 1 → 2 : initialement à la température de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  sous la pression de vapeur saturante correspondant à une température  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , le fluide subit une compression adiabatique supposée réversible dans le compresseur jusqu'à la pression  $P_{hp} = 10\text{ bar}$  ;
- 2 → 3 : le fluide traverse alors le condenseur dans lequel il subit une transformation isobare l'amenant à la température de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;
- 3 → 4 : le fluide subit ensuite une détente adiabatique dans le détendeur jusqu'à la pression  $P_{bp}$  ;
- 4 → 1 : le fluide traverse alors l'évaporateur dans lequel il subit une transformation isobare le rame-

nant à l'état 1.

On considérera le fluide en écoulement stationnaire et on négligera les variations d'énergies cinétique et potentielle.

- 1. Placer les points 1, 2, 3 et 4 sur le diagramme fourni et en déduire les pressions, températures et enthalpies massique à chacun de ces points. On donnera aussi le titre en vapeur lorsque le fluide se trouve dans un état diphasé.
- 2. Quel est l'intérêt d'amener le fluide au-delà de sa courbe de saturation au point 1? Même question pour le point 3.
- Comment est modifié le cycle si la transformation dans le compresseur n'est pas réversible?
- 3. Définir puis calculer l'efficacité de cette machine.



### 4 — Réfrigérateur à ammoniac

On considère un réfrigérateur à ammoniac (R717), constitué d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur.

**État 1 :** le fluide est sous forme de vapeur juste saturante, à la pression  $P_1 = 2,9$  bar et à la température  $T_1 = -10$  °C.

- 1 → 2 : le fluide passe dans le compresseur calorifugé lors d'une transformation réversible jusqu'à  $P_2 = 10$  bar.
- 2 → 3 : le fluide passe dans le condenseur, subissant un refroidissement isobare jusqu'à l'état de liquide saturant.
- 3 → 4 : le fluide passe dans le détendeur calorifugé, d'où il ressort à la pression  $P_4$ .
- 4 → 1 : le fluide subit une transformation isobare dans l'évaporateur, à l'issue de laquelle il se retrouve dans l'état 1.

Le diagramme enthalpique de l'ammoniac est donné en annexe.

- 1. Représenter le cycle sur le diagramme. En déduire la température
  - $T_2$  en sortie du compresseur ;
  - $T_3$  pendant le changement d'état dans le condenseur.

Déterminer la fraction massique  $x$  en vapeur à la sortie du détendeur.

- 2. Définir et calculer l'efficacité du réfrigérateur. Calculer le rendement de ce réfrigérateur. Le cycle de Carnot correspondant sera pris avec les températures  $T_1$  et  $T_3$ .
- 3. Comment est modifié le cycle si la compression est irréversible? En déduire l'effet sur l'efficacité.
- 4. Ce dispositif est une machine thermique cyclique ditherme. Quel est le système étudié lorsque l'on applique les principes de la thermodynamique? Préciser les termes « cycliques » et « ditherme ». Que peut-on dire des valeurs des températures des thermostats pour ce réfrigérateur?

Diagramme enthalpique de l'ammoniac (R717)

