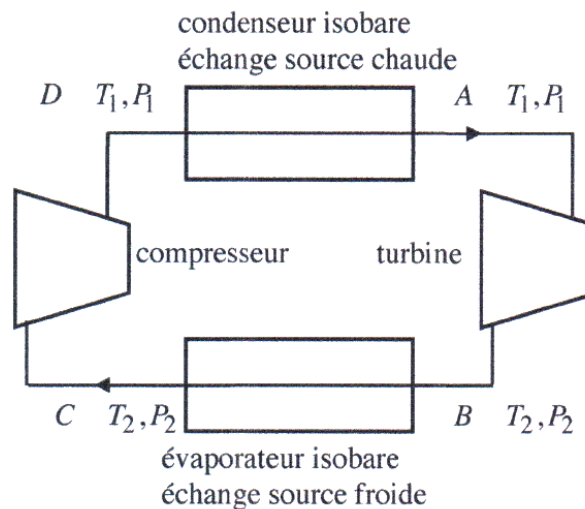


**DM n°16 : Thermodynamique -  
Diagramme  $\ln(P),h$  - Diffusion  
thermique**

**À rendre pour le jeudi 8 mars**

## 1 Réfrigérateur à ammoniac

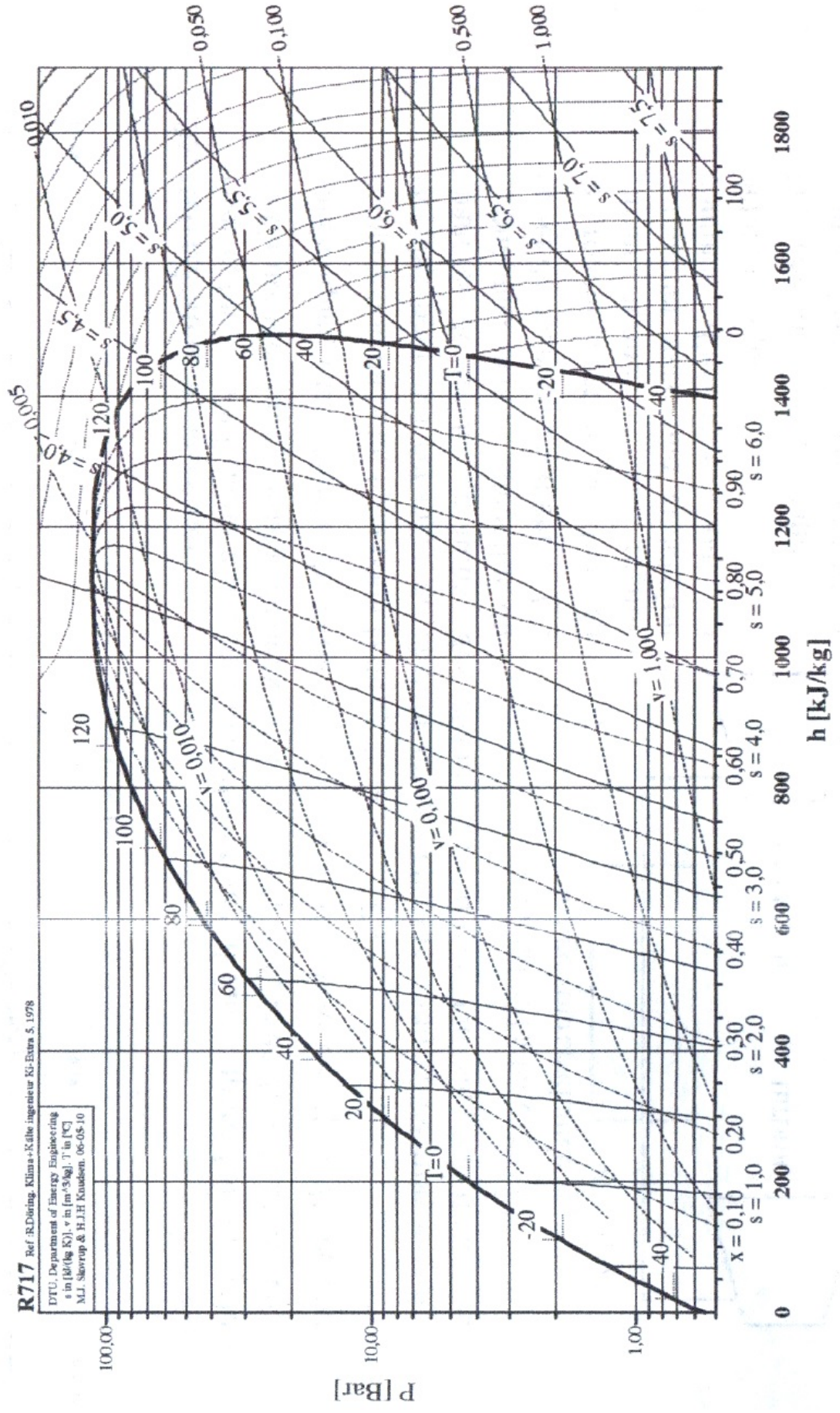
Pour optimiser l'efficacité d'une machine frigorifique, il faut s'approcher du cycle de Carnot théorique constitué de deux isothermes à  $T_1$  et  $T_2$  avec  $T_1 > T_2$  et de deux adiabatiques (une détente du point  $A$  au point  $B$  du cycle de  $P_1$  à  $P_2$  et une compression du point  $C$  au point  $D$  du cycle de  $P_2$  à  $P_1$ ).



De plus pour des échanges de chaleur importants, sans utiliser de trop grandes quantités de fluide, on utilise des changements d'état. On suppose donc que l'ammoniac décrit l'intégralité du palier de changement d'état à  $T_1$  ; le fonctionnement se fait en circuit fermé et en régime continu d'ammoniac pur au débit massique  $D_m$ . On considère l'installation ci-contre. Dans le condenseur et l'évaporateur isobares, le fluide est diphasé, donc la température reste aussi constante. De façon classique, le travail récupéré à la turbine est fourni au compresseur, ce qui limite la dépense pour alimenter ce dernier.

- Placer dans un diagramme  $(T, s)$ , la courbe de saturation et tracer le cycle de Carnot théorique  $ABCD$  que décrirait le fluide.
- On fixe d'abord les températures à  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  et  $T_2 = -20^\circ\text{C}$ . Justifier ces valeurs si la source chaude (air extérieur) est à  $30^\circ\text{C}$  et l'intérieur du "réfrigérateur" à  $-5^\circ\text{C}$ . Cela modifie-t-il l'étude théorique ?
- On donne ci-dessous le diagramme  $(\ln P, h)$ , encore appelé diagramme de Mollier des frigoristes, pour l'ammoniac. Les isentropiques (notées  $s$ , valeurs en  $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y sont tracées en trait plein, les isochores (notées  $v$ , valeurs en  $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ) en pointillé et les isothermes apparaissent en pointillé dans la partie droite (vapeur) où elles sont différenciées, elles ne sont pas tracées dans la courbe de saturation, les valeurs de températures sont en  $^\circ\text{C}$  et rappelées sur la courbe de saturation. Attention l'échelle des pressions est logarithmique.

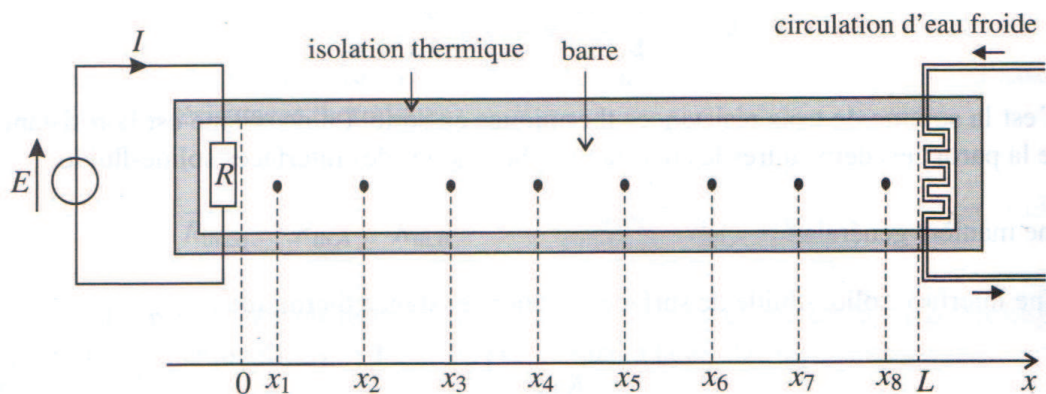
Les courbes suivies par le fluide dans ses transformations seront assimilées à des portions de droite et les valeurs numériques entre deux courbes données seront interpolées linéairement. Mesurer les pressions  $P_1$  et  $P_2$ , puis tracer le cycle de Carnot  $ABCD$ . Calculer l'efficacité de Carnot  $\eta_C$  en fonction de  $T_1$  et  $T_2$  et commenter le résultat.



- d) Dans la pratique, on n'utilise pas de turbine de détente adiabatique : elles ont un mauvais rendement en mélange liquide-vapeur, et sont complexes et chères. Bien plus simple est l'utilisation d'un détendeur calorifugé simple, sans pièce mobile (souvent un simple rétrécissement). Montrer que ce détendeur est isenthalpique et tracer la nouvelle portion  $AB'$  sur le diagramme.
- e) On ne comprime pas non plus le mélange diphasé du point  $C$  au point  $D$ , ceci risquerait d'endommager le compresseur. On préfère décrire l'intégralité du palier d'évaporation à  $T_2$  jusqu'au point  $C'$  avant de comprimer la vapeur sèche de façon adiabatique réversible jusqu'à  $P_1$ . Tracer le nouveau cycle  $AB'C'D'A$  décrit par l'ammoniac. Quelle est la température maximale atteinte, et quel problème cela peut-il poser ?
- f) Sachant qu'on veut extraire  $1,0 \text{ kW}$  thermique de la source froide, calculer le débit massique du fluide, la puissance électrique à fournir au compresseur dont le moteur électrique a un rendement  $r = 0,9$ , le débit volumique qu'il aspire, ainsi que la puissance thermique que doit absorber la source chaude. Calculer l'efficacité de ce cycle réfrigérateur, peut-on la comparer à celle du cycle de Carnot ?

## 2 Mesure d'une conductivité thermique

Une barre de cuivre de section  $S = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  constante et de longueur  $L = 19 \text{ cm}$  est calorifugée sur sa surface latérale et équipée d'un dispositif de chauffage par effet Joule qui délivre une puissance  $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = 15 \text{ W}$  à une extrémité et d'une circulation d'eau froide à la température  $T_{\text{eau}}$  qui maintient son autre extrémité à température constante. Des sondes de température sont régulièrement espacées le long de la barre aux abscisses  $x_i$  distantes de  $d = 22 \text{ mm}$ .



La température de la barre est initialement uniforme et vaut  $T_i = T_{\text{eau}}$ . À  $t = 0$ , on branche le chauffage et on enregistre, à l'aide d'un ordinateur, le réseau de courbes ci-dessous.

- Déterminer la conductivité thermique du cuivre  $\lambda_{Cu}$  à l'aide de la courbe.
- Sachant que la masse volumique du cuivre vaut  $\mu_{Cu} = 8954 \text{ kg.m}^{-3}$  et que la capacité thermique massique du cuivre vaut  $c_{Cu} = 383 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ , évaluer le temps caractéristique de diffusion thermique. Est-ce en accord avec l'expérience ?

