

C. E. S. I. R. E.  
Plateforme TTE

# Pompe à chaleur (réfrigérateur)



*manip Trièves*

Ce document ne doit pas quitter la salle de TP. Ne pas détériorer : il doit servir à tout le monde.

NE RIEN ECRIRE DESSUS

## 1. MISE EN ROUTE

- Ouvrir doucement la vanne générale d'eau (rouge, sur le mur) à environ 30°.
- Ouvrir les deux robinets d'eau sur le devant du dispositif, un à droite et un à gauche, à environ 0,1 l/g/s. Augmenter ensuite le débit des deux robinets à 0,25 g/s. Il s'agit de l'alimentation des circuits échangeurs de chaleur.
- Agir sur l'interrupteur "Main Switch, ce qui allume les indicateurs, et met en marche le compresseur et le ventilateur de l'échangeur à air.

## 2. SPÉCIFICITÉS DE MESURES

- On fait défiler les températures des différents points du circuit via les triangles noirs tête en bas ou tête en haut.
- On lit la consommation électrique sur le wattmètre "AC Monitor MK.II".
- Pressions : la mesure est différentielle, il faut donc ajouter la pression atmosphérique = 1 bar.

## 3. CHANGEMENT DE RÉGIME

Cette pompe à chaleur didactisée mais sécurisée ne possède pas de vanne permettant de faire varier le débit de fréon. On peut le faire varier indirectement en jouant sur les débits d'eau, ce qui se voit sur le débitmètre de fréon ("Refrigerant flowmeter").

Remarque : connaissant le débit de l'eau et sa différence de température entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur, on peut calculer la chaleur cédée par l'eau au niveau de l'évaporateur par unité de temps. De même, on peut déterminer la chaleur reçue par le fréon dans l'évaporateur. La différence entre les deux, en tenant compte de la barre d'erreur, donne une idée des pertes thermiques.

Grandeurs numériques nécessaires en dernière page.

## 4. ENTHALPIE EN SYSTÈME OUVERT/CIRCUIT FERMÉ

Un système ouvert peut échanger non seulement de l'énergie mais aussi de la matière avec l'extérieur. C'est le cas d'un système en écoulement permanent, et par extension un circuit fermé (comme celui auquel on a affaire) est un ensemble de systèmes ouverts. Dans ce cas, c'est l'enthalpie et non l'énergie interne qui est la grandeur la plus pratique à considérer. Démonstration :

Premier principe sur une partie du fluide (= par essence un système fermé) situé au niveau d'une des quatre transformations :  $U_2 - U_1 = W + Q$  (convention thermo habituelle : ce qui est effectivement reçu par le fluide est  $> 0$ ). Attention :  $W$  est la somme du travail fourni par l'extérieur  $W_{ext}$  (par exemple, par le compresseur) et du travail des forces de pression exercées sur le système considéré par le reste du fluide  $W_{reste}$ .

Ce travail  $W_{reste}$  est égal à  $P_1V_1 - P_2V_2$  (c'est-à-dire à la différence entre le travail échangé lorsqu'un volume  $V_1$  de fluide sort d'une zone où la pression est  $P_1$ , et celui qu'il faut fournir pour faire entrer un volume  $V_2$  de fluide dans une zone où la pression est  $P_2$ ) (voir cours). Ainsi le premier principe s'écrit :

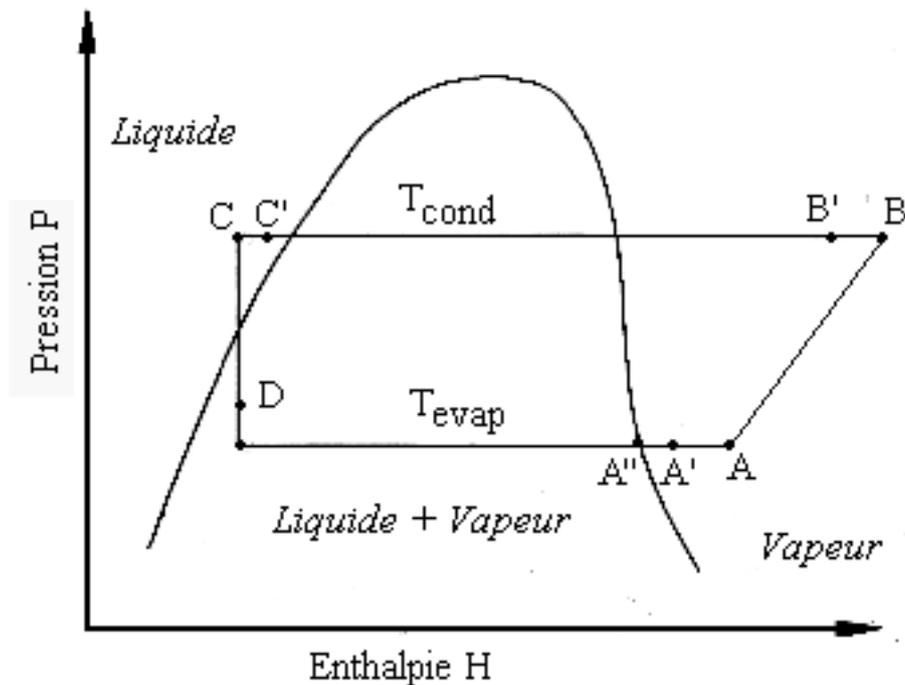
$$U_2 - U_1 = Q + W_{ext} + P_1V_1 - P_2V_2$$

En introduisant l'enthalpie  $H = U + PV$ , on obtient finalement la version "système ouvert" du premier principe pour une transformation, où on ne tient compte que du travail  $W_{ext}$ , connu :

$$H_2 - H_1 = H_{après} - H_{avant} = Q + W_{ext}$$

Cette importance de l'enthalpie explique que le diagramme de Mollier, où  $P$  est en ordonnée et  $H$  en abscisse, est souvent utilisé pour les machines thermiques.

# Cycle réel de la PAC



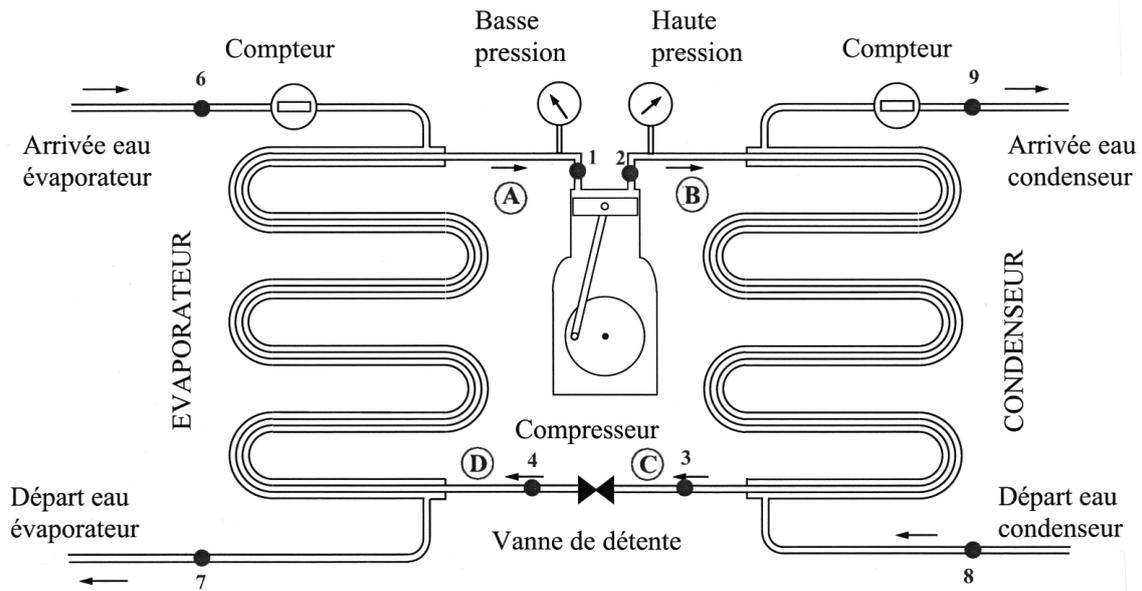
- Si l'on mesure la température à l'entrée du compresseur, on constate que le point  $A$  à l'entrée du compresseur n'est pas situé sur la courbe de saturation, ou de rosée (point  $A''$ ). On surchauffe le gaz à la sortie de l'évaporateur : dans ces conditions, on assure que le compresseur travaille uniquement avec du gaz, ce qui évite sa détérioration en cas de fonctionnement avec un mélange liquide-gaz.

- Si le compresseur était parfaitement adiabatique, on mesurerait en sortie du compresseur une température correspondant au point  $B$  situé sur l'isentropique passant par  $A$ . En pratique, la température mesurée en sortie du compresseur fait placer le point  $B$  à droite de l'isentropique qui passe par  $A$ , car il a fallu fournir plus de travail que pour une compression adiabatique et le fréon a récupéré les pertes du moteur et du compresseur. A l'entrée du condenseur (point  $B'$ ), on mesure une température plus faible qu'en  $B$  à cause des pertes dans les canalisations entre le compresseur et le condenseur.

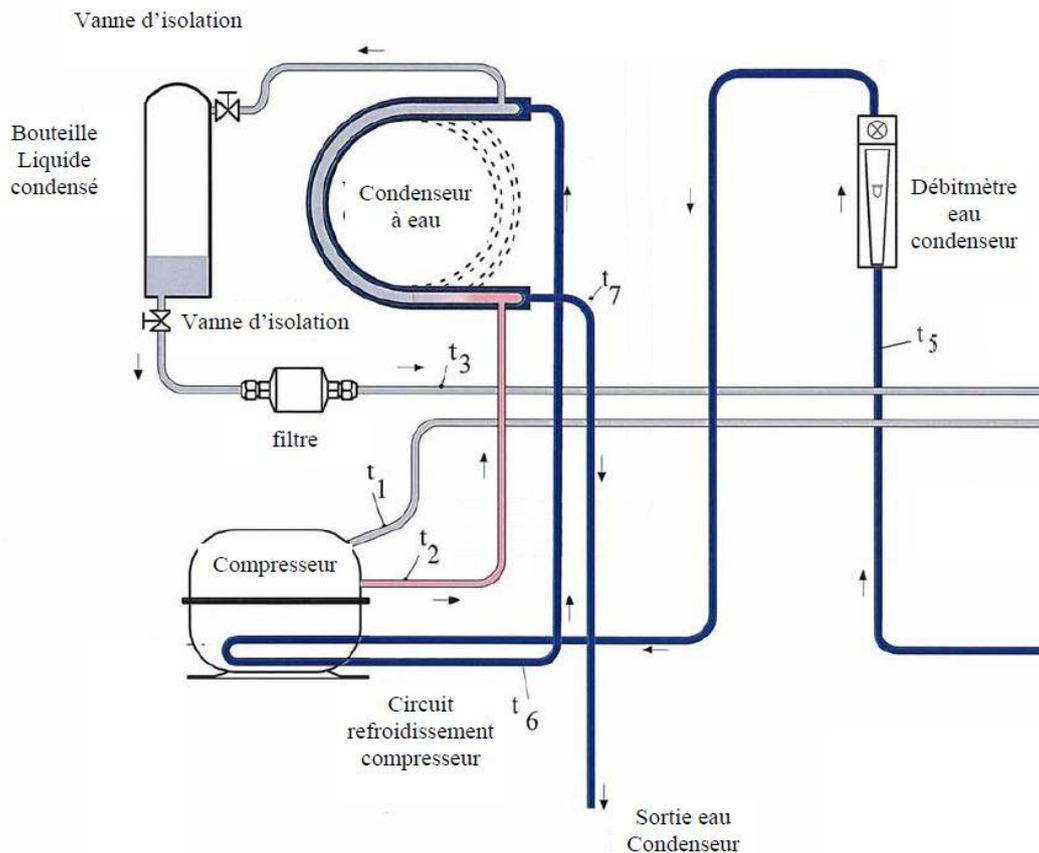
- Si on mesure la température à l'entrée de la vanne de détente, on trouve un point  $C$  situé dans la région "liquide" et non pas exactement sur la courbe de rosée : les dimensions du dispositif sont calculées pour sous-refroidir légèrement le liquide. La détente dans la vanne est ainsi plus régulière, l'écoulement du fluide n'étant pas perturbé par un mélange liquide-gaz. Le point  $C'$  correspond à la mesure de température en sortie du condenseur.

- Enfin, la mesure de la température à l'entrée de l'évaporateur donne dans certaines conditions un point  $D$  dont la pression est différente de celle de  $A$ , où est situé le manomètre. Ceci traduit le fait qu'il peut exister des pertes de charge non négligeables dans l'évaporateur. La position du thermomètre correspondant au point  $D$  peut aussi expliquer cette différence. En pratique, on placera le point  $D$  en considérant qu'il est à la même pression que  $A$ , et que la transformation  $C - D$  est isenthalpique.

## Machine Trièves - Position des thermomètres :



### Détail du dispositif expérimental réel :

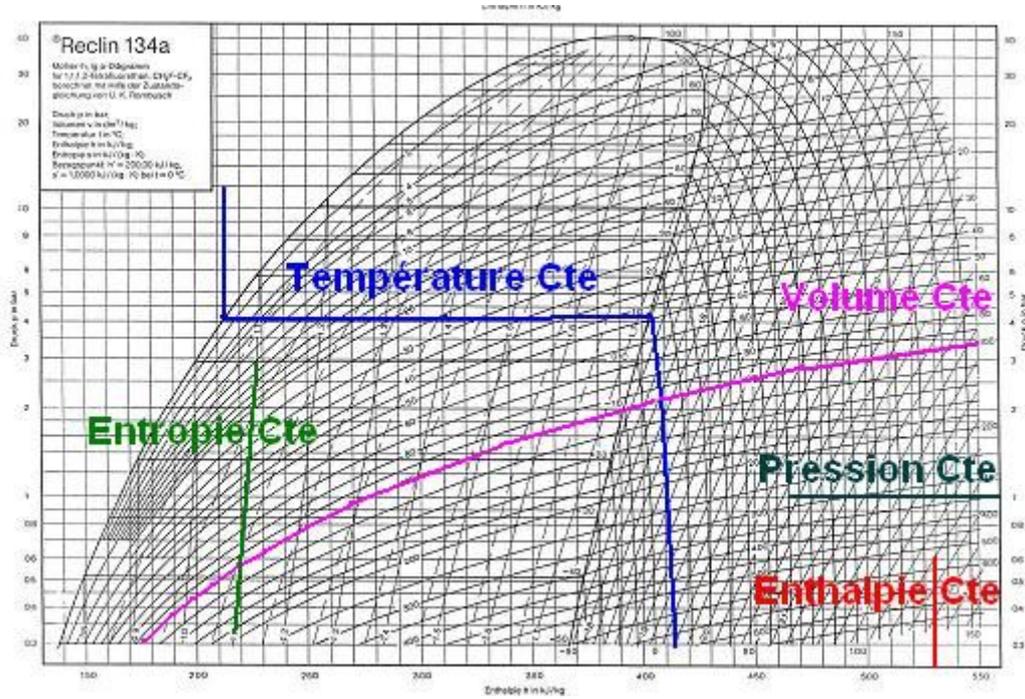


En bleu : circulation de l'eau.

En gris : circulation du R134a (rose pour les hautes températures).

La connaissance de  $T_5$  et  $T_6$ , températures avant et après la boucle de refroidissement, permet d'estimer la quantité de travail mécanique qui est dissipée dans l'eau au niveau du compresseur.

# Diagramme de Mollier du R134a



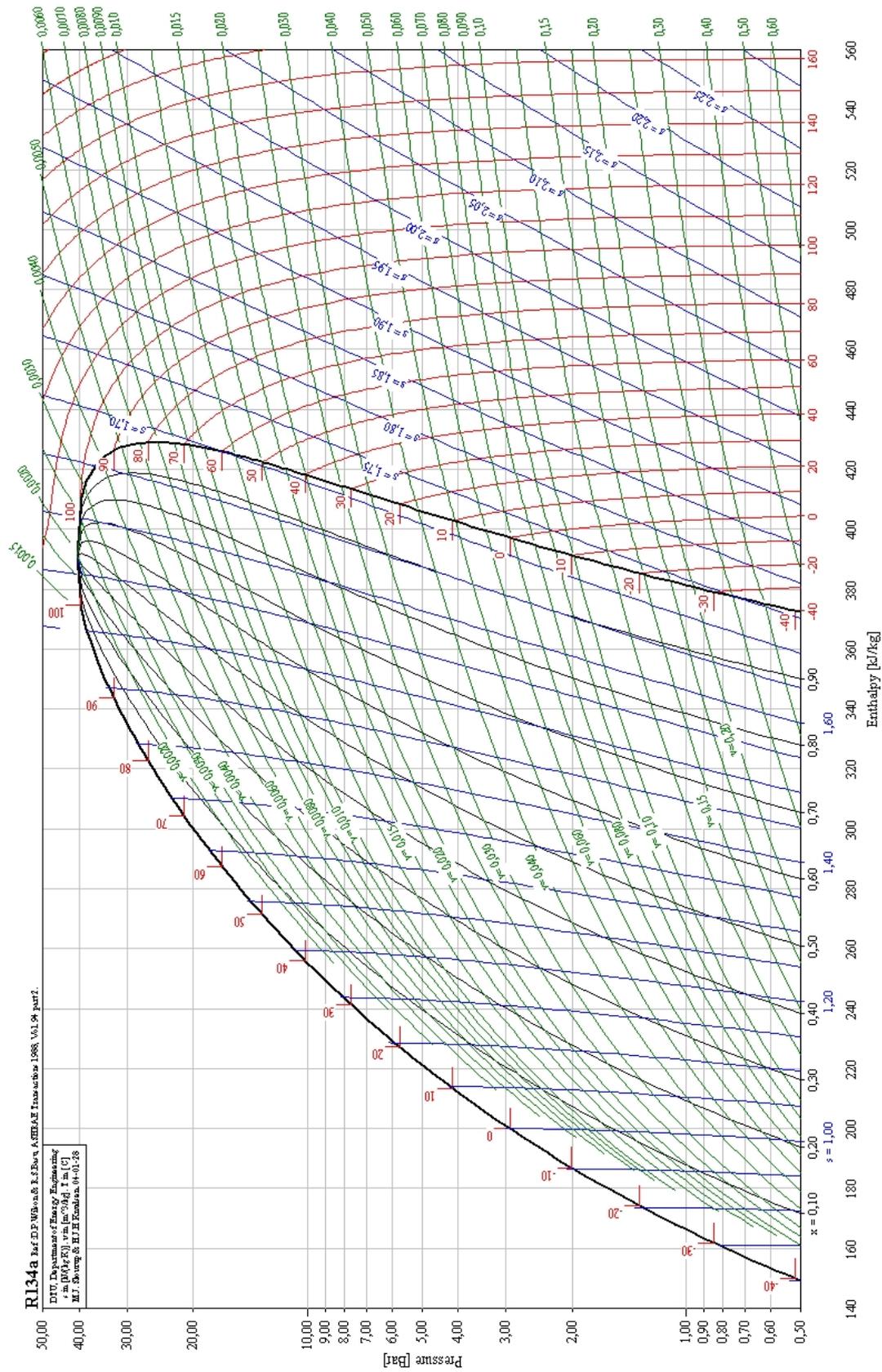
**R134A** :  $H_2FC - CF_3$  ; MW = 86,5 g/mol

Les graduations portées sur la partie gauche de la courbe d'équilibre liquide-vapeur donnent le volume massique du fréon.

Les isothermes et les isentropiques peuvent être considérées comme verticales dans la partie liquide.

Chaleurs spécifiques du R134a : à  $25^\circ C$   $c_{liq} = 1,42 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  et  $\rho_{liq} = 1,21.10^3 \text{ kg/m}^3$ , gaz  $c_P = 0,874 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ . Chaleur latente de vaporisation :  $L_v = 215,9 \text{ kJ/kg}$ .

Rappel :  $c_{eau} = 4,186 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  ;



Enthalpie massique : graduations de la ligne inférieure (140 à 560).

Isothermes : uniquement les indications en rouge. Isentropiques (en bleu) : verticales dans la zone liquide