


OBJECTIF

Enregistrement et analyse du diagramme Pression-Enthalpie d'une pompe à chaleur à compression

EXERCICES

- Démonstration du principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur à compression.
- Analyse quantitative du cycle thermodynamique correspondant.
- Enregistrement et analyse du diagramme Pression-Enthalpie.

RESUME

Une pompe à chaleur à compression électrique est composée d'un compresseur avec un moteur d'entraînement, d'un condenseur, d'une vanne de détente et d'un évaporateur. Son principe de fonctionnement repose sur un cycle fermé avec changements de phases qui est traversé par un fluide caloporteur circulant dans la pompe et qui peut être décomposé en quatre étapes : la compression, la condensation (liquéfaction), la détente (dépressurisation) et l'évaporation. Le coefficient de performance théorique du cycle thermodynamique idéalisé peut être calculé à partir des enthalpies spécifiques h_1 , h_2 et h_3 lues sur un diagramme de Mollier. Une fois que les enthalpies h_2 et h_3 du cycle thermodynamique idéalisé et que la quantité de chaleur ΔQ_2 envoyée par intervalle de temps Δt au réservoir d'eau chaude ont été déterminées, on peut évaluer le débit massique du fluide.

DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Pompe à chaleur D (230 V, 50/60 Hz)	1000820 ou
	Pompe à chaleur D (115 V, 50/60 Hz)	1000819
2	Sonde de température Pt 100 avec pince de mesure	1009922
1	3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540 ou
	3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
En plus recommandé :		
1	3B NETlab™	1000544

GENERALITES

Une pompe à chaleur à compression électrique est composée d'un compresseur avec un moteur d'entraînement, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur. Son principe de fonctionnement repose sur un cycle fermé avec transformation de phases qui est traversé par un fluide caloporteur dans la pompe et qui peut être décomposé en quatre étapes : la compression, la condensation, la détente directe et l'évaporation.

2

Au moment de la compression, le fluide caloporteur gazeux est aspiré par le compresseur, comprimé sans variation de l'entropie ($s_1 = s_2$) de p_1 à p_2 , et surchauffé (voir Fig. 1 et Fig. 2). Cela explique que la température augmente de T_1 à T_2 . Le travail (énergie) mécanique de compression $\Delta w = h_2 - h_1$ est fourni par unité massique.

Dans le condenseur, le fluide caloporteur est fortement refroidi et il se condense. La chaleur libérée (chaleur d'ébullition et chaleur de condensation) se monte à $\Delta q_2 = h_2 - h_3$ par unité massique. Elle réchauffe le réservoir d'eau correspondant.

Le fluide caloporteur condensé passe alors dans une vanne de détente où il est ramené à une pression plus basse (sans travail mécanique apporté). Pendant cette phase, la température diminue également, puisqu'un travail doit être effectué dans le fluide frigorigène pour résister à la pression moléculaire (détente de Joule-Thomson). L'enthalpie reste constante ($h_4 = h_3$).

À l'arrivée dans l'évaporateur, le fluide caloporteur récupère de la chaleur et il complètement évaporé. Il en résulte un refroidissement du réservoir. La chaleur (énergie thermique) absorbée s'élève à $\Delta w = h_2 - h_1$ par unité massique. Le diagramme de Mollier du fluide est souvent utilisé pour représenter le cycle thermodynamique d'une pompe à chaleur à compression. Ce diagramme décrit l'évolution de la pression p et de l'enthalpie spécifique h du fluide (l'enthalpie permet de mesurer le contenu thermique du fluide car elle augmente généralement lorsque la pression la proportion de gaz augmentent).

Y sont également représentées les courbes isothermes ($T = \text{const.}$) et isentropiques ($S = \text{const.}$), ainsi que le volume massique relatif de la phase liquide du fluide frigorigène. À gauche de ce qu'on appelle la courbe d'ébullition, le fluide est à l'état de condensation totale (liquide saturé). À droite de ce qu'on appelle la courbe de rosée, le fluide est représenté à l'état de vapeur surchauffée et entre ces deux courbes, c'est un mélange gaz-liquide. Ces deux courbes se rejoignent au point critique.

Afin de représenter le système dans un diagramme de Mollier, on détermine le cycle thermodynamique idéalisé décrit plus haut en mesurant les pressions p_1 et p_2 à l'arrière et à l'avant de la vanne de détente ainsi que la température T_1 avant le compresseur et la température T_3 avant la vanne de détente.

Dans l'expérience, les composants du système sont reliés par une conduite en cuivre en un circuit fermé qui est monté sur une planche support. Grâce à leur disposition claire dans le montage expérimental, les différents composants peuvent être associés directement aux phases de transformation subies par le fluide dans le cycle thermodynamique de la pompe à chaleur. L'évaporateur et le condenseur sont conçus avec des tuyaux en cuivre en serpents et sont immergés chacun dans un bassin d'eau qui sert de réservoir pour déterminer l'énergie thermique absorbée ou libérée. Deux grands manomètres indiquent le niveau de pression du fluide frigorigène dans les deux échangeurs thermiques. Deux thermomètres analogiques permettent de mesurer la température dans les deux bassins d'eau. Des sondes de température à pince adaptée sont utilisées pour relever la température dans les tuyaux en cuivre avant le compresseur et avant la vanne de détente. Le coefficient de performance théorique du cycle thermodynamique idéalisé peut être calculé à partir des enthalpies spécifiques h_1 , h_2 et h_3 lues sur le diagramme de Mollier :

$$(1) \quad \eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Une fois qu'on a déterminé les enthalpies h_2 et h_3 du cycle thermodynamique idéalisé ainsi que la quantité de chaleur ΔQ_2 envoyée par intervalle de temps Δt au réservoir d'eau chaude, on peut évaluer le débit massique du fluide.

$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

EVALUATION

T_1 et p_1 déterminent la position du point 1 dans le diagramme de Mollier. Le point d'intersection des isentropes correspondants avec l'horizontale $p_2 = \text{const.}$ donne le point 2. Le point d'intersection de l'horizontale avec la courbe d'ébullition détermine le point 3, tandis qu'une perpendiculaire à l'horizontale $p_4 = \text{const.}$ détermine le point 4. La mesure additionnelle de la température T_3 permet une observation plus approfondie et une meilleure compréhension des différentes phases de transformation du fluide qui ont lieu dans la pompe à chaleur : T_3 ne concorde pas avec la température relevée sur l'échelle du manomètre correspondant. Cette échelle de température est basée sur la courbe de pression vapeur du fluide. Par conséquent, cette mesure met en évidence le fait qu'avant d'arriver à la vanne de détente, le fluide frigorigène n'est pas un mélange gaz-liquide, mais qu'il est à l'état complètement liquide.

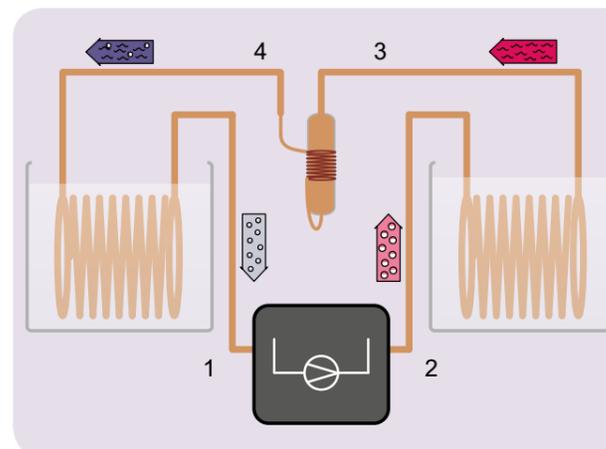


Fig. 1 Représentation schématique de la pompe à chaleur avec un compresseur (1, 2), un condenseur (2, 3), un détendeur (3, 4) et un évaporateur (4, 1)

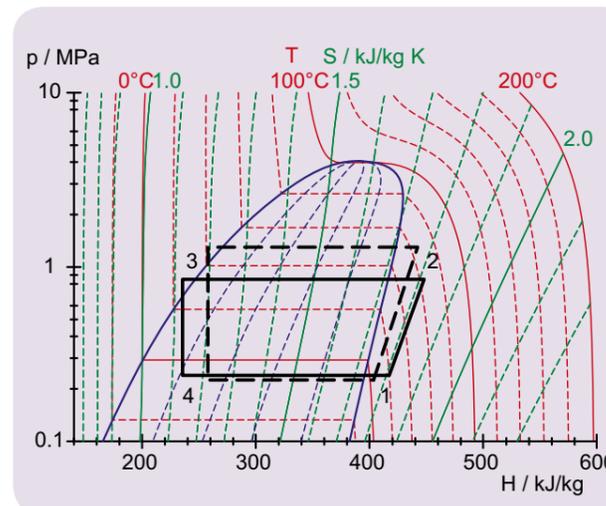


Fig. 2 Représentation sur un diagramme de Mollier du cycle thermodynamique idéalisé de la pompe à chaleur