

## Introduction aux TP 1 et 2

Dans les TP 1 et 2, pour une question de temps, vous ne tiendrez pas compte des incertitudes types de répétabilité (évaluation par une méthode de Type A). Seules les incertitudes types liées à l'utilisation des instruments de mesures seront évaluées par une méthode de type B (à partir des informations données ci-dessous). Pour chaque instrument de mesure utilisé, l'erreur maximale ( $E_{\max}$ ) associée à la mesure est déterminée à partir de la notice du constructeur :

Manomètres relatifs :  $\pm 0.10$  bar

Pression différentielle :  $\pm 0.10$  mmH<sub>2</sub>O

Tension d'alimentation du ventilateur :  $\pm 5.0V$

Condensation récupérée : à vous de le déterminer

Intervalle de temps pour la mesure du condensat : négligeable

Débit massique du réfrigérant :  $\pm 0.20$  g/s

Température mesurée par thermocouple :  $\pm 1.5^\circ C$

Température mesurée par un thermomètre à dilatation de liquide :  $\pm \frac{1}{2}$  graduation

Température mesurée avec l'hygromètre portatif :  $\pm 0.90^\circ C$

Humidité relative mesurée avec l'hygromètre portatif :  $\pm 3.0\%$

L'incertitude type associée à la mesure se déduit de cette erreur maximale en supposant une

distribution uniforme :  $u_B = \frac{E_{\max}}{\sqrt{3}}$

Propagation des incertitudes dans le cas de n variables indépendantes  $x_i$  :

$$y = f(x_1, \dots, x_n) \Rightarrow u^2(y) = \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 u^2(x_1) + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 u^2(x_n)$$

Cette formule appliquée aux cas rencontrés dans les TP 1 et 2 donne les résultats suivants :

$$y = x_1 \cdot x_2 \Rightarrow u(y) = y \sqrt{\left( \frac{u(x_1)}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{u(x_2)}{x_2} \right)^2}$$

$$y = x_2 - x_1 \Rightarrow u(y) = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)}$$

$$y = x_3 (x_2 - x_1) \Rightarrow u(y) = y \sqrt{\left( \frac{u(x_3)}{x_3} \right)^2 + \left( \frac{u(x_2)}{x_2 - x_1} \right)^2 + \left( \frac{u(x_1)}{x_2 - x_1} \right)^2}$$

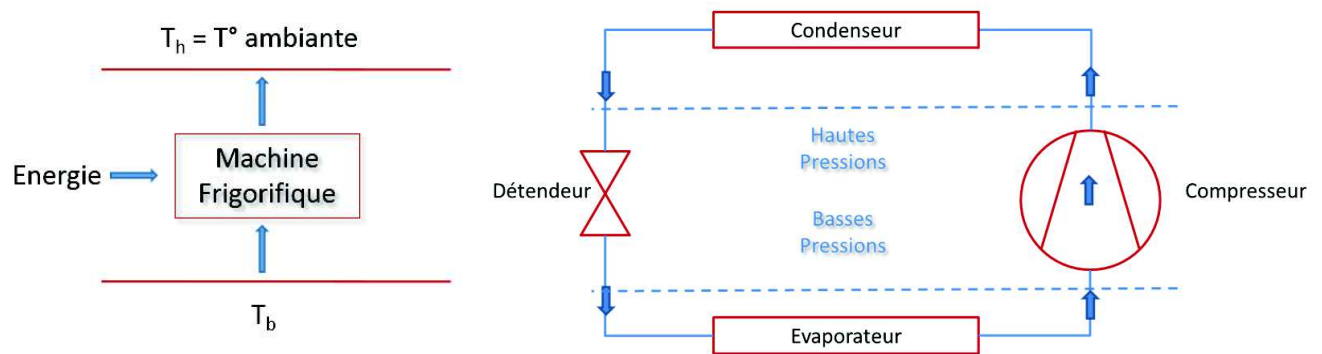
Climatiser un local, c'est permettre d'obtenir à l'intérieur des conditions déterminées de température, d'humidité et aussi de pureté de l'air, c'est à dire d'y créer un climat artificiel indépendant des conditions extérieures.

On y parvient en traitant l'air des locaux ou l'air qui y est introduit, d'où le terme, plus approprié de "conditionnement d'air".

Le conditionnement d'air comprend, le chauffage comme le refroidissement, ainsi que la ventilation mécanique.

Ce traitement d'air donne à l'homme une impression de confort. C'est le cas lorsque la température est au maximum de 15 à 20 °C en hiver, 25 à 30 °C en été et que l'humidité relative de l'air est comprise entre 35 et 70 %. – voir vocabulaire en annexe –

Un fluide en circulation continue prélève de la chaleur au milieu à refroidir (évaporateur) et la restitue au milieu ambiant (condenseur).



*Schéma du principe d'une installation frigorifique*

Une telle installation constitue une machine thermique fonctionnant entre deux sources de chaleur. La compréhension de son fonctionnement nécessite quelques connaissances de thermodynamique qui sont rappelées ci-dessous.

## RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE

### 1.1 – Premier principe

Ce principe ne fait qu'exprimer la conservation de l'énergie.

Considérons une masse donnée de fluide, par exemple 1 kg. Lorsque cette masse de fluide a effectué un cycle, on la retrouve dans son état initial : en particulier son énergie n'a pas varié ; par conséquent, la somme algébrique de toutes les quantités d'énergie (travail ou chaleur) que le fluide a échangées avec l'extérieur au cours du cycle est nulle.

On notera :

W le travail reçu par kg de fluide au cours d'un cycle

$Q_h$  la quantité de chaleur reçue par kg de fluide au cours d'un cycle, de la part de la source chaude ( $Q_h < 0$ )

$Q_b$  la quantité de chaleur reçue par kg de fluide au cours d'un cycle, de la part de la source froide ( $Q_b > 0$ )

$$W + Q_h + Q_b = 0 \quad (1)$$

## 1.2 - Enthalpie

Cette fonction, notée  $H$ , a été introduite dans le cours de thermodynamique. Elle possède la propriété fondamentale suivante :

Lorsqu'un système subit une transformation **à pression constante**, la variation de son enthalpie est égale à la quantité de chaleur qu'il a échangée avec l'extérieur au cours de cette transformation.

Les diagrammes dont vous disposerez en T.P. vous donneront l'enthalpie spécifique du fluide utilisé (Fréon 134), c'est-à-dire l'enthalpie d'une masse de fluide de 1 kg. L'enthalpie spécifique dépend évidemment de la pression et de la température du fluide.

## 1.3 – Relation de Clausius

Si au cours d'un cycle, une machine thermique idéale (réversible) échange les quantités de chaleur  $Q_h$  et  $Q_b$  avec deux sources aux températures  $T_h$  et  $T_b$ , ces quantités satisfont à la relation :

$$\frac{Q_h}{T_h} + \frac{Q_b}{T_b} = 0 \quad (2) \quad (T_h \text{ et } T_b \text{ sont des températures absolues)}$$

# COEFFICIENTS CARACTERISTIQUES D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE

## 2.1 – Coefficient de performance

La quantité de chaleur  $Q_b$  prélevée au milieu à refroidir est appelée effet frigorifique dans l'industrie du froid.

Le coefficient de performance (C.O.P) est :  $e = \frac{Q_b}{W}$

C'est l'effet frigorifique par unité de travail consommé.

## 2.2 – Rendement frigorifique

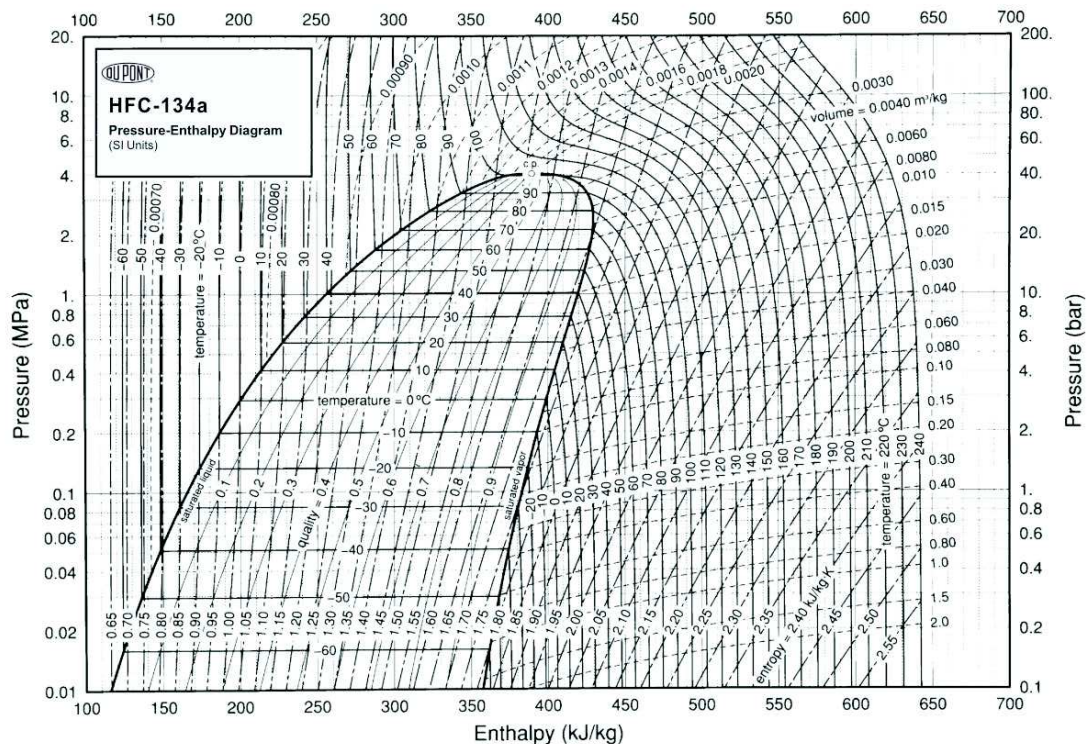
Pour toute installation frigorifique  $e_{\text{réel}} < e_{\text{rev}}$  (coefficient de performance d'une machine réversible fonctionnant entre les mêmes températures).

$$\text{Le rendement frigorifique est : } \eta = \frac{e_{\text{réel}}}{e_{\text{rev}}}$$

## DESCRIPTION DU CYCLE FRIGORIFIQUE

### 3.1 - Diagramme pression-enthalpie

On comprend plus aisément les transformations d'un fluide lorsqu'on les représente sur un diagramme ; vous avez sans doute utilisé en thermodynamique le diagramme P - V. Dans l'industrie frigorifique on utilise plutôt le diagramme P - H. (Figure 2)



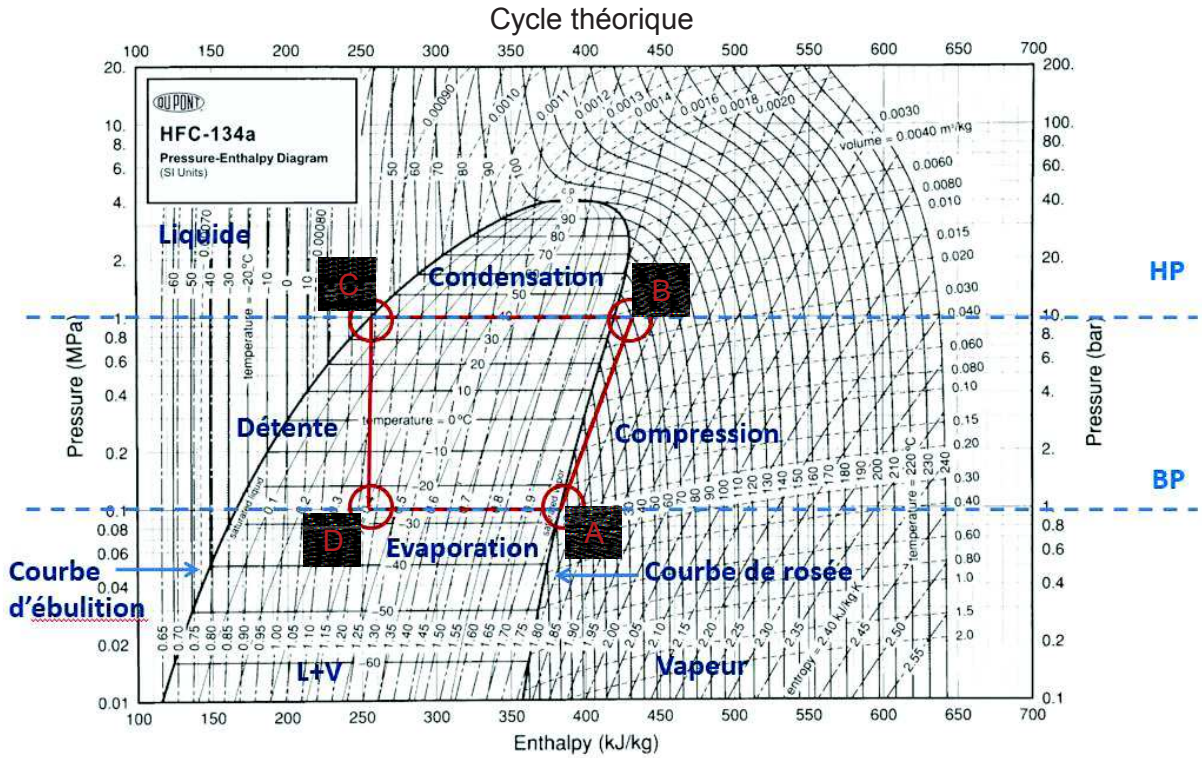
Le plan P - H est séparé en deux régions par la courbe de saturation qui présente un maximum au point critique.

- Au-dessous de cette courbe, le fluide est en équilibre sous deux phases :
  - phase liquide
  - phase gazeuse.
- Au-dessus de cette courbe, le fluide est en équilibre sous une seule phase: pour les températures inférieures à la température critique, le fluide est liquide à gauche de la courbe de saturation, et gazeux à droite.

### 3.2 - Cycle Frigorifique

Le cycle frigorifique d'une installation à compression comprend quatre parties :

Compression – condensation – détente – évaporation



## A - COMPRESSION

Dans le compresseur la pression du fluide augmente fortement. Il crée les deux domaines Haute Pression et Basse Pression et assure la circulation du fluide.

### Cycle théorique **ABCD**

Au cours de cette transformation, le fluide passe de l'état A à l'état B. L'entrée du fluide dans le compresseur se fait au niveau de la courbe de rosée. La pression et la température augmentent au cours d'une transformation **isentropique**.

### Cycle réel **A'B'C'D'**

Certains fluides deviennent humides par compression isentropique. On **surchauffe** alors la vapeur à pression constante dans le domaine vapeur avant la compression. La compression débute sur de la vapeur surchauffée et la compression A' B' n'est pas isentropique. Les points A' et B' sont déterminés par des couples de mesures Pression – Température.

## B - CONDENSATION

A la sortie du compresseur, le fluide est refroidi à pression constante, et passe dans le condenseur (identique à un radiateur d'automobile) refroidi par un ventilateur.

### Cycle théorique **ABCD**

Le refroidissement et la condensation s'effectuent à pression constante BC. Le point C est situé sur la courbe d'ébullition.

### Cycle réel **A'B'C'D'**

Dans certaines installations, le refroidissement se poursuit encore après l'entrée dans le domaine liquide jusqu'au point C', on dit alors qu'il y a **sous-refroidissement**. Le point C' est déterminé par un couple de mesures Pression – Température.

### C – DETENTE A ENTHALPIE CONSTANTE

Le fluide est ensuite détendu à enthalpie constante à travers une vanne. Le fluide, à la sortie de la vanne, existe sous les deux phases liquide et gazeuse.

Cycle théorique **ABCD**

La détente se poursuit jusqu'à retrouver le niveau basse pression (point D).

Cycle réel **A'B'C'D'**

La détente se poursuit jusqu'à retrouver le niveau basse pression (point D').

### D - EVAPORATION

Dans l'évaporateur, le fluide très refroidi par la détente prend de l'énergie à la source froide. Il passe progressivement à l'état de vapeur à pression et température constantes.

Cycle théorique **ABCD**

Le cycle est refermé par le passage DA.

Cycle réel **A'B'C'D'**

Le cycle est refermé par le passage D'A'.

## **DESCRIPTION DU BANC DE LABORATOIRE A AIR CONDITIONNE**

A l'exception de la filtration et du mélange, le climatiseur de laboratoire Hilton a été conçu pour démontrer et évaluer les transferts d'énergie intervenant dans tous les processus qui sont nécessaires dans une installation de climatisation.

Le groupe est monté sur un bâti mobile qui contient le groupe de réfrigération et le générateur de vapeur.

L'air non traité entrant dans la veine passe en série par :

- Un ventilateur radial à débit axial avec régulateur de vitesse (9) et (10)
- De la vapeur peut être ajoutée par un injecteur de vapeur après la décharge du ventilateur (3).

- Un préchauffeur (4), composé de 2 résistances ( $R_1=46,8 \Omega$  et  $R_2=45,4 \Omega$ )
- Un évaporateur (5) avec sortie d'eau précipitée
- Un réchauffeur (6), composé de 2 résistances ( $R_1=46,8 \Omega$  et  $R_2=45,4 \Omega$ )
- Un orifice de conduit de mesure d'air (7) et un manomètre (14).

Avec l'agencement physique de l'installation proposée, et par sélection des dispositifs de chauffage, de l'injection de vapeur et du système d'évaporation, les données suivantes peuvent être facilement obtenues :

- La condition de l'air avant et après les divers procédés (par l'intermédiaire des sondes thermométriques mouillées et sèches)
- Le taux de transfert d'énergie à chaque dispositif de chauffage, à la chaudière, au ventilateur et au groupe de réfrigération
- Les débits massiques d'air
- Les pressions et températures du réfrigérant
- Les débits massiques du réfrigérant
- La génération d'un diagramme du cycle de réfrigération sur un graphique pression-enthalpie pour le réfrigérant utilisé. L'analyse des transferts d'énergie dans le système de réfrigération
- Le taux de précipitation à l'évaporateur

Ces informations combinées à l'utilisation des tables ou graphiques d'air et du réfrigérant permettent à l'opérateur de démontrer et d'évaluer tous les effets susceptibles d'être constatés dans une installation de climatisation.

#### **SPECIFICATIONS :**

- Veine d'air :** Longueur dans l'axe : 2298 mm  
 Matériau : CPV  
 Conductivité thermique : 0,16 W/M.K  
 Température maximale : 70 °C
- Débit d'air :** 0,14 m<sup>3</sup>/s (max)
- Préchauffeur :** Eléments chauffants électriques à ailettes prolongées : 2x1,0 kW  
 (nominal à 220 V), 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  (valeurs sur la machine)  
 Longueur effective : 1,414 m  
 Superficie exposée des tubes : 0,0355 m<sup>2</sup>  
 Superficie exposée des ailettes : 0,2876 m<sup>2</sup>



- Evaporateur :** Serpentin à ailettes prolongées, détente directe, puissance de refroidissement : environ 2 kW  
 Tube cuivre de diamètre extérieur 5/8 pouce, calibre 20  
 Profondeur 4 rangées x hauteur 5 rangées 0,253 m<sup>2</sup> exposé à la circulation d'air  
 61 ailettes : 4,277 m<sup>2</sup> exposé à la circulation d'air
- Réchauffeur :** Eléments chauffants électriques à ailettes prolongées : 2x1,0 kW (nominal) à 220 V, 2 résistances (R<sub>1</sub>=46,8 Ω et R<sub>2</sub>=45,4 Ω)  
 Longueur effective : 1,414 m  
 Superficie exposée des tubes : 0,0355 m<sup>2</sup>  
 Superficie exposée des ailettes : 0,2876 m<sup>2</sup>
- Ventilateur :** action radiale, débit axial (vitesse variable). Consommation de puissance: environ 120 W à 240 V, 50 Hz  
 Longueur effective : 1,414 m  
 Vitesse de rotation : 0 – 2400 tr/mn  
 Puissance : 0 – 0,9 A , 210 W  
 Tension : 220 – 240 V
- Humidificateur :** chauffage électrique, fonctionnement à la pression atmosphérique.  
 Muni d'un contacteur de niveau d'eau à flotteur et d'une électrovanne en ligne.  
 Eléments chauffants: 1 x 1,0 kW et 2 x 2 kW à 220 V (nominal)  
 Volume : 2,5 litres (au centre du viseur transparent) sous contrôle du Contacteur de niveau à flotteur  
 Protection contre le débordement : un deuxième clapet à flotteur ouvre le circuit à 4 litres en cas de défaillance du contacteur de régulation de niveau à flotteur.  
 Electrovanne d'eau  
 Orientation quelconque  
 Pression d'entrée : 0 – 45 bar  
 Consommation de puissance : 19 VA
- Condenseur :** Bloc hermétique avec condenseur refroidi par air  
 Réfrigérant : R134a Tétrafluoroéthane CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F  
 Vitesse du compresseur : 2700 tr/min à 50 Hz selon la charge 3300 à 3600 tr/min à 60 Hz  
 Puissance nominale  $\frac{3}{4}$  ch à température ambiante 32 °C, 2171 W à température d'évaporation +5°C

## INSTRUMENTATION :

<b>Débit d'air :</b>	Diaphragme avec manomètre à tube incliné
<b>Mesure :</b>	Plage de mesure : 0 – 12 mm d'eau
<b>Température d'air :</b>	4 paires de thermomètres mouillés et secs
<b>Température du réfrigérant :</b>	3 thermomètres
<b>Pression du réfrigérant :</b>	Sortie de l'évaporateur Gamme -100 à 1200 kN/m <sup>2</sup> Entrée du condenseur Gamme 0 à 2000 kN/m <sup>2</sup> Sortie du condenseur Gamme 0 à 2000 kN/m <sup>2</sup>
<b>Débit du réfrigérant :</b>	Débitmètre à superficie variable. Gamme de 4 à 30 g/s
<b>Débit d'air :</b>	Diaphragme à la sortie du conduit et prise de pression différentielle vers un manomètre à tube incliné. Gamme 0 - 12,5 mm H <sub>2</sub> O.
<b>Tension d'alimentation :</b>	Voltmètre analogique. Gamme 0 à 250 V alternatif
<b>Tension du ventilateur :</b>	Le Voltmètre analogique indique la tension du ventilateur lorsqu'elle est sélectionnée par un commutateur à rappel automatique

## Mise en marche

Avant toute opération, on vérifiera le niveau d'eau (remplissage jusqu'au repère) du réservoir qui alimente les godets des sondes humides ; utiliser de l'eau distillée.

- Mettre le groupe sous tension (prise triphasée)
- Mettre le banc sous tension en tournant le commutateur principal (D) à gauche du panneau de commande et l'électrovanne d'eau produira un déclic sonore. Dès que le commutateur principal est mis en position de marche, le voltmètre du panneau indique la tension d'alimentation U.
- **Vérifier** que les interrupteurs de chauffage et d'humidification, ainsi que l'interrupteur de mise sous tension du compresseur sont en **position arrêté**.
- Vérifier que la tension du ventilateur  $U_v$  est à zéro

- Ramener lentement le niveau du liquide du manomètre incliné à zéro, en utilisant le bouton moleté situé au dessus du manomètre.
- Vider et sécher le b cher de réception de l'eau condens e (expérience précédente)
- Mettre le compresseur en marche
- Tourner doucement le bouton de commande du ventilateur, **et** appuyer sur le levier pour ajuster la valeur  $U_v$  de la tension du ventilateur (valeur donn e par l'enseignant) -Le ventilateur assure la circulation de l'air autour de l'évaporateur-