

Objectif: Préparation théorique de l'analyse d'une installation thermodynamique

1/ Définition de l'enthalpie :

D'après le premier principe de la thermodynamique, il y a équivalence de la chaleur et du travail.

L'enthalpie H est une fonction thermodynamique complexe. On peut la définir simplement comme la somme de l'énergie interne et de l'énergie dite « élastique » (produit de la pression P avec le volume V) :

$$H = U \text{ (énergie interne) } + PV \text{ (énergie « élastique »)}$$

Ainsi, la différence d'enthalpie est la somme de l'énergie, qu'elle soit sous forme thermique ou mécanique, gagnée ou perdue par un corps.

Le travail des thermiciens ou frigoristes est facilité par les diagrammes enthalpiques qui indiquent non seulement l'enthalpie massique pour une unité de masse du fluide frigorigène étudié mais aussi ses autres grandeurs essentielles : pression, volume....

En toute rigueur, l'enthalpie est nulle au zéro absolu (-273°Celsius ou 0 Kelvin).

Par commodité, les tables et diagrammes ont souvent leur zéro à une autre valeur, au zéro Celsius. Cela n'a pas d'influence sur les calculs car c'est la différence d'enthalpie qui est utilisée.

Sans rentrer dans les détails des calculs, il faut retenir que, dans une pompe à chaleur, la variation d'enthalpie permet de calculer facilement:

- **Les quantités de chaleur échangées** lors du passage du fluide frigorigène dans les échangeurs en contact avec la source froide (évaporateur) et la source chaude (condensateur) :

$$\Delta H_{\text{évap}} = Q_f \text{ en J}$$

$$\Delta H_{\text{cond}} = Q_c \text{ en J}$$

- **le travail reçu** lors du passage du fluide frigorigène dans le compresseur:

$$\Delta H_{\text{comp}} = W \text{ en J}$$

2/ Présentation du diagramme enthalpique:

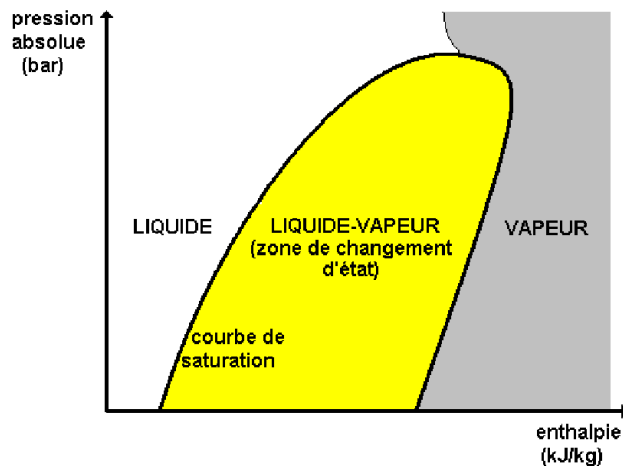
Ce diagramme permet de représenter et de relier graphiquement les paramètres essentiels d'un fluide :

- son état (liquide ou vapeur uniquement)
- sa pression
- sa température
- son enthalpie massique

Chaque fluide frigorigène a son diagramme qui permet de suivre l'évolution de ce fluide dans son circuit au cours de son cycle. Il est l'outil indispensable du technicien en énergétique.

Le diagramme est constitué :

- d'une échelle d'enthalpie massique (axe des abscisses)
- d'une échelle de pression absolue (axe des ordonnées)
- d'une courbe en « cloche » dite courbe de saturation qui découpe le diagramme en trois zones : liquide, liquide-vapeur et vapeur.



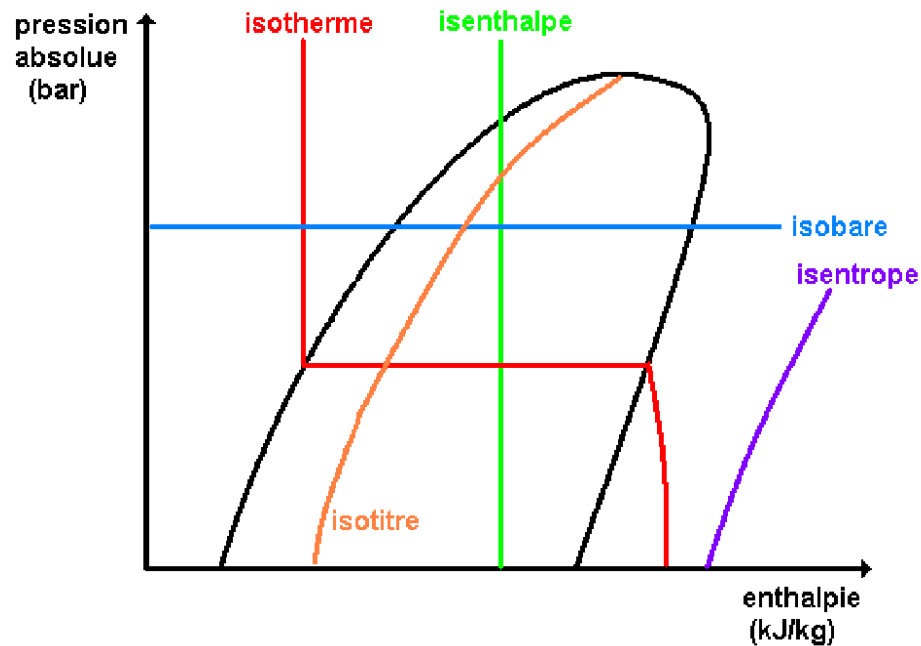
3/ Les principales familles de courbe du diagramme :

Le diagramme est constitué de différentes familles de courbes représentant les grandeurs physiques du fluide.

Les principales sont :

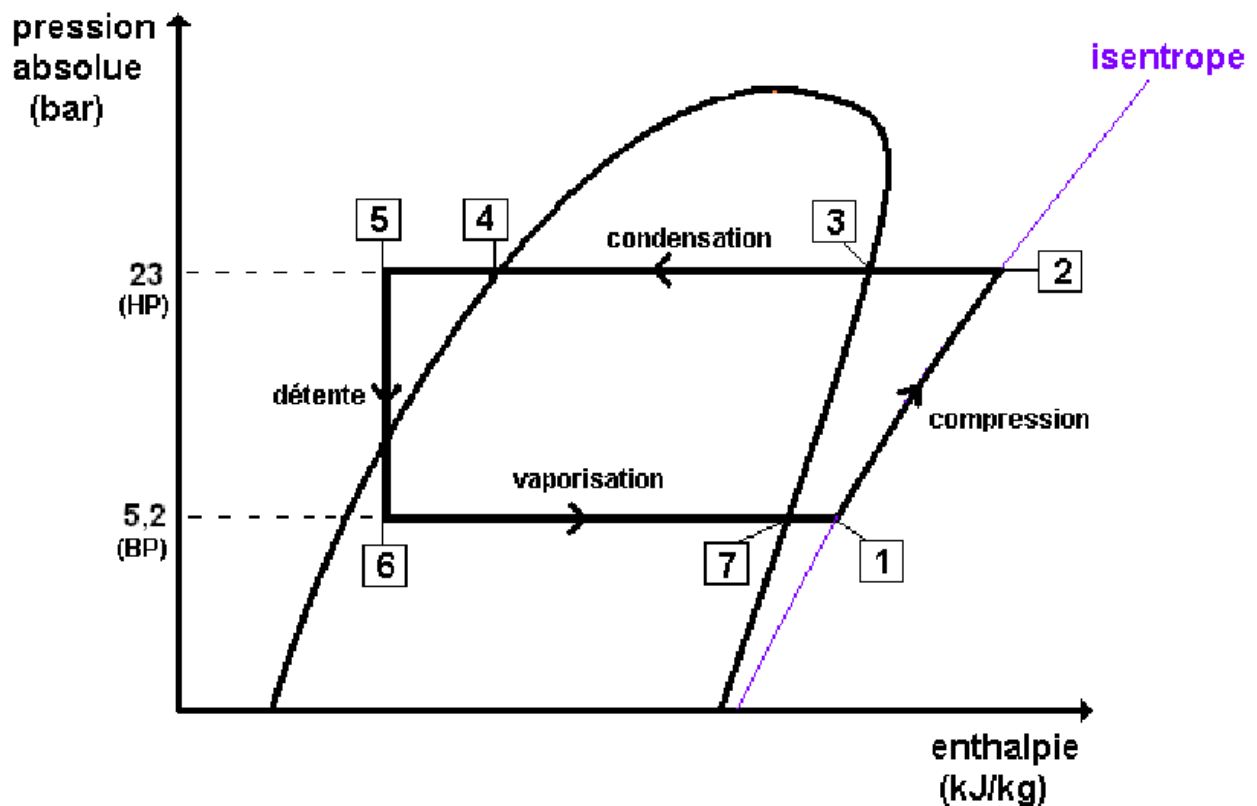
- les **isenthalpes** : ce sont les droites d'enthalpie massique constante, elles sont verticales.
- les **isobares** : ce sont les droites de pression constante, elles sont horizontales
- les **isothermes** : ce sont les courbes de température constante.
- les **isentropes** : ce sont les courbes où la transformation du fluide frigorigène s'effectue de façon réversible et sans échange de chaleur (avec l'extérieur)
- les **isotitres** : ce sont les courbes de pourcentage de vapeur constant dans la zone liquide-vapeur

Titre en vapeur = $100 \times \left[\frac{\text{masse de vapeur}}{\text{masse de vapeur} + \text{masse de liquide}} \right]$



4/ Cycle élémentaire et vocabulaire

Le diagramme enthalpique permet de tracer le cycle du fluide frigorigène R410A dans la pompe à chaleur.



Les évolutions élémentaires du fluide frigorigène au cours de son cycle sont :

1 à 2 : **compression** (dans le compresseur)

2 à 3 : **désurchauffe** (diminution de la température dans le tuyau entre le compresseur et le condenseur et à l'entrée du condenseur)

3 à 4 : **condensation** (dans le condenseur)

4 à 5 : **sous-refroidissement** (diminution de la température du liquide en sortie du condenseur) = **5 à 8°C** (valeur courante sur ce type de PAC)

5 à 6 : **détente isenthalpique** (dans le détendeur capillaire)

6 à 7 : **vaporisation** (dans l'évaporateur)

7 à 1 : **surchauffe** (augmentation de la température en sortie de l'évaporateur et dans le tuyau entre l'évaporateur et le compresseur) = **3 à 5°C** (valeur courante sur ce type de PAC)

4/ Activité 1: Diagramme enthalpique du fluide frigorigène R410A :

Le relevé des points caractéristiques du cycle du fluide frigorigène d'une installation frigorifique a été effectué par un technicien dans le but de calculer les performances de l'installation.

- En vous aidant de la présentation des familles de courbes (paragraphe précédent), positionner les 4 points du tableau ci-dessous dans le diagramme du fluide R410A et analyser la pertinence du relevé (probabilité que le relevé soit correct...).
- Proposez un positionnement probable des autres points du "cycle élémentaire" en prenant en compte les valeurs de variation de température pour "le sous-refroidissement" et "la surchauffe" données dans le paragraphe précédent.
Ces variations de température sont mesurables dans les portions de tuyau entre les appareils.

	état du fluide	température (en °C)	pression absolue (en bars)	enthalpie (en kJ/kg)	titre en vapeur (en %)
Point 1	liquide	0	20	200	0
Point 2	liquide-vapeur	- 30	2,8	260	40
Point 3	vapeur	82	10	500	100
Point 4	liquide-vapeur	- 20	4		

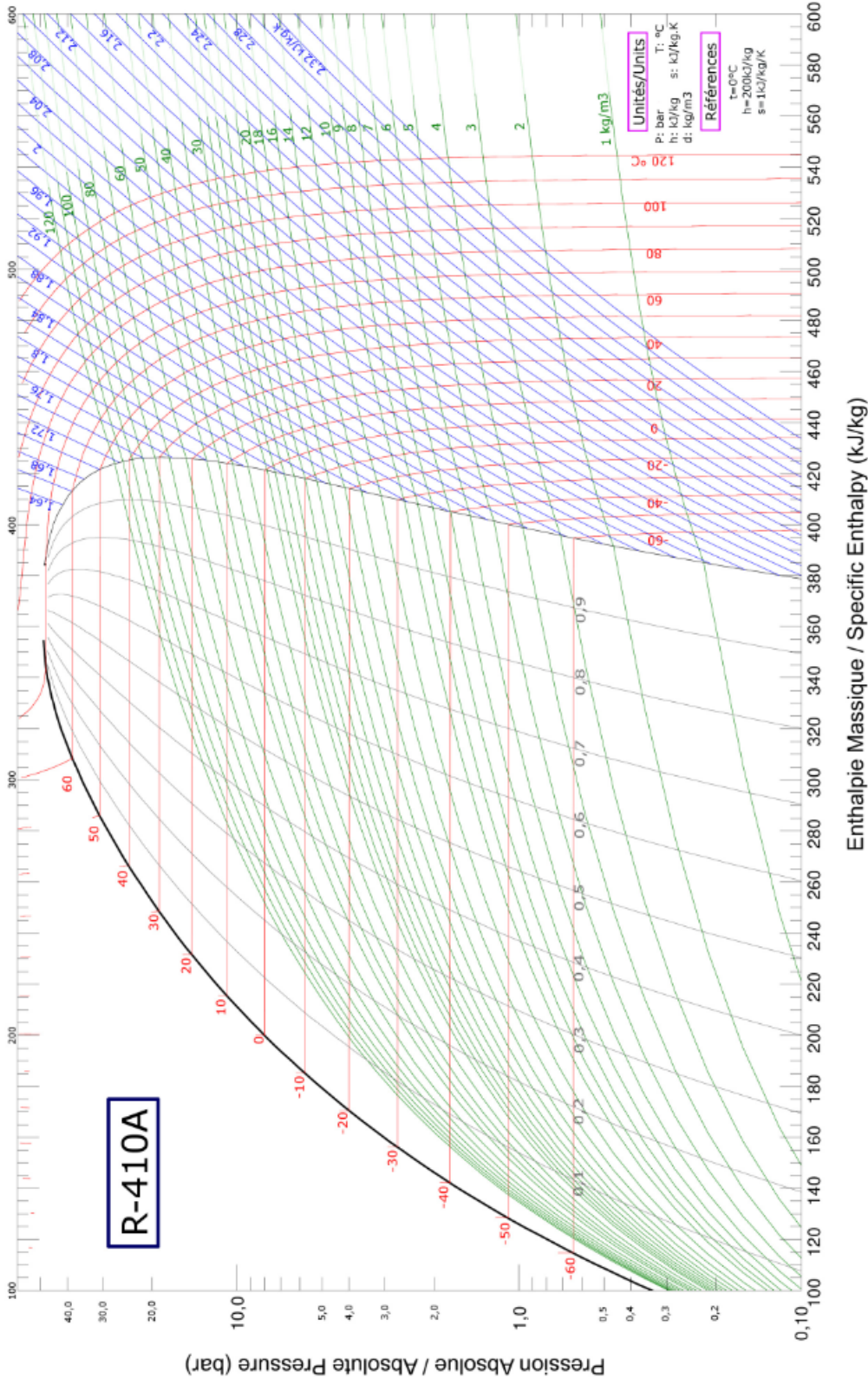
[Sonde de température](#)



[Manomètre](#)



Diagramme Enthalpique R-410A



Lien [Diagramme enthalpie R410A](#)

5/ Cycle frigorifique représentatif d'une PAC air/eau :

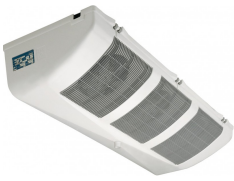
5.1/ Calculs des échanges énergétiques:

Dans l'évaporateur :

Quantité de chaleur : **Qévap** (en kJ/kg de R410A) = **enthalpie du point 7 - enthalpie du point 6**

Puissance frigorifique : **Pévap** (en kW) = **débit R410A** (en kg/s) * **Qévap** (en kJ/kg de R410A)

En considérant que l'évaporateur a un rendement de 100%, cette puissance frigorifique correspond donc également à la **puissance calorifique prélevée à l'air extérieur**.



Dans le condenseur :

Quantité de chaleur : **Qcond** (en kJ/kg de R410A) = **enthalpie du point 3 - enthalpie du point 4**

Puissance calorifique : **Pcond** (en kW) = **débit R410A** (en kg/s) * **Qcond** (en kJ/kg de R410A)

En considérant que le condenseur a un rendement de 100%, cette puissance calorifique correspond donc également à la **puissance calorifique fournie à l'eau du plancher chauffant**.



Dans le compresseur:

Travail : **W** (en kJ/kg de R410A) = **enthalpie du point 2 - enthalpie du point 1**

Puissance mécanique : **Pméca** (en kW) = **débit R410A** (en kg/s) * **W** (en kJ/kg de R410A)

