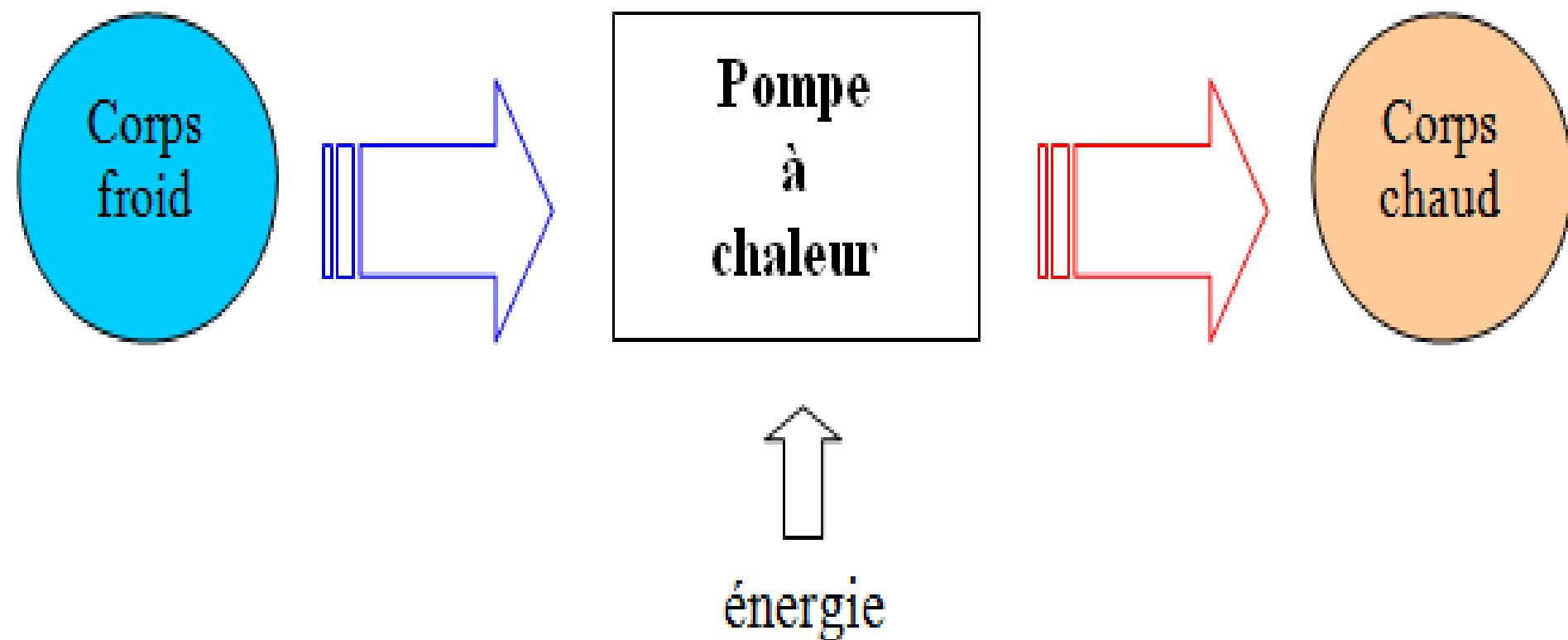


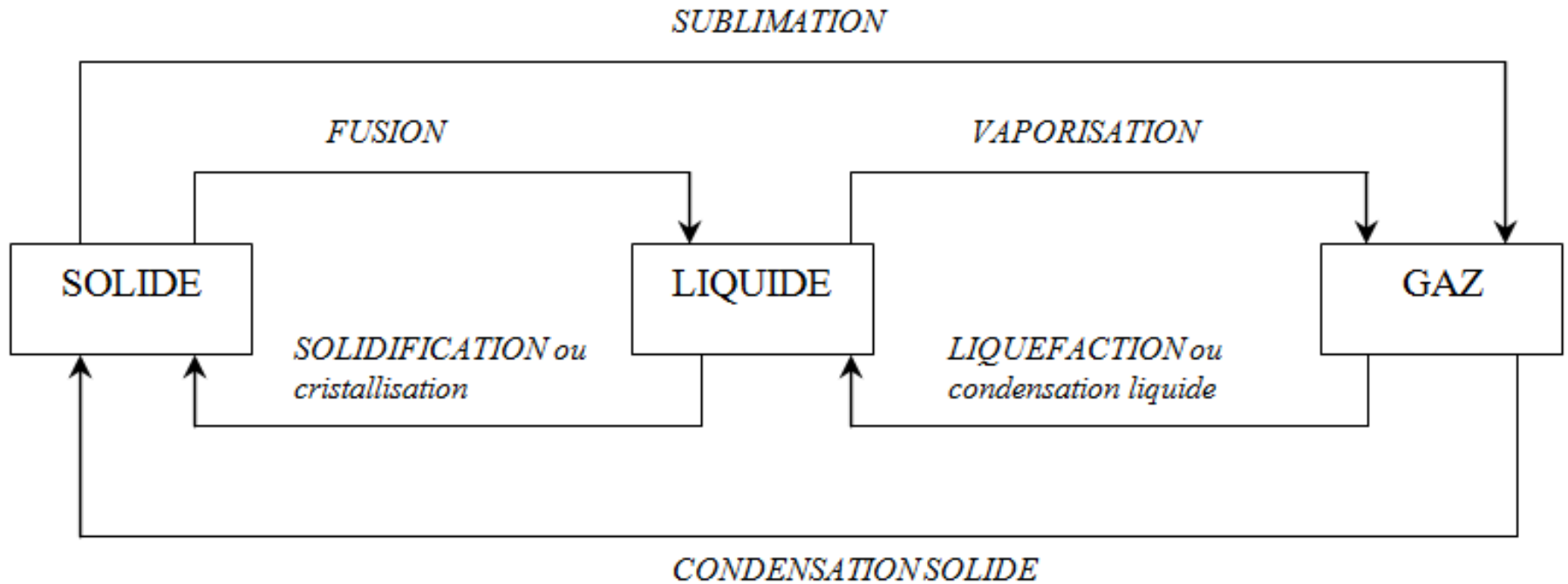
LA POMPE A CHALEUR :

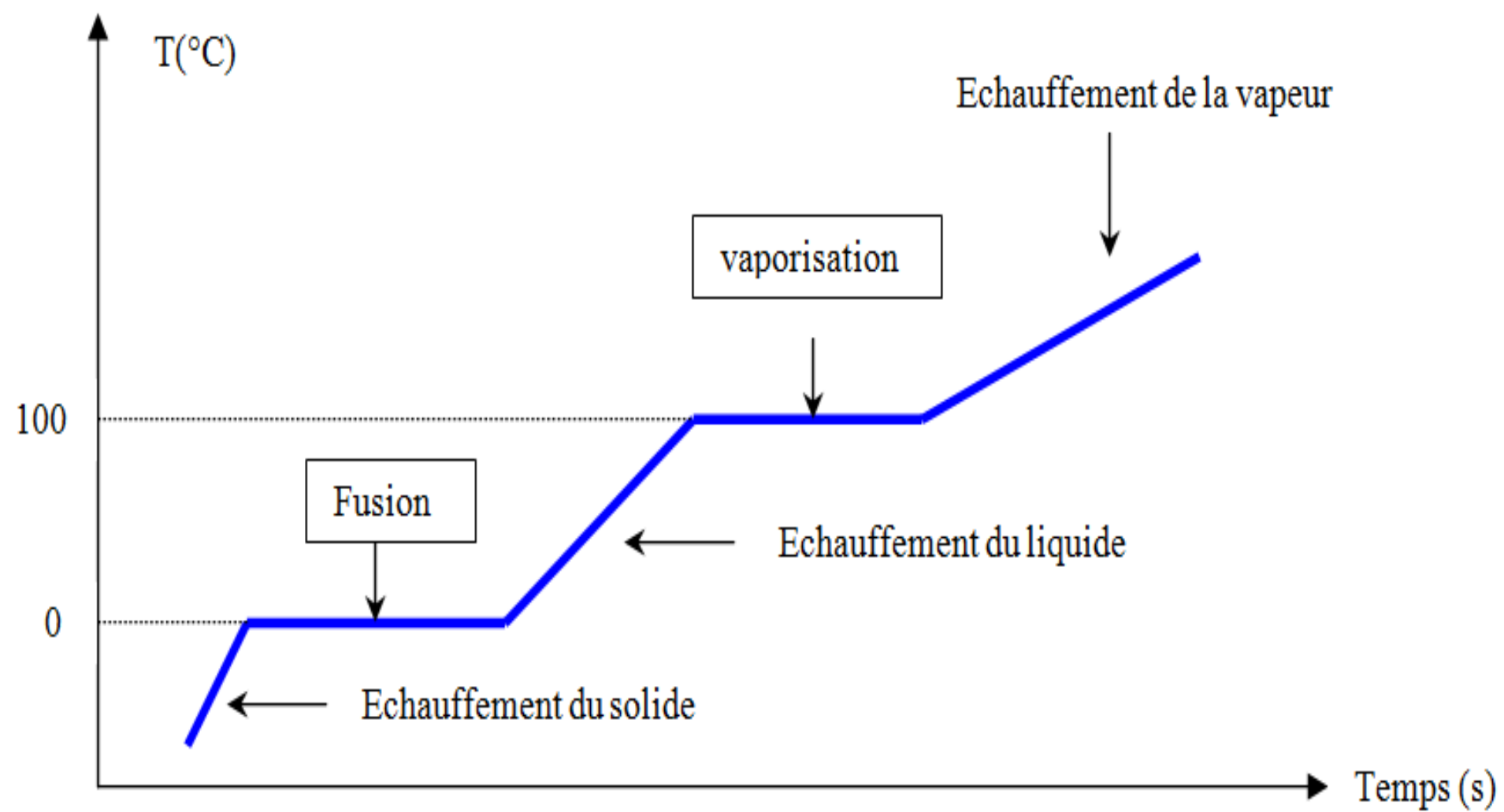
- Une pompe à chaleur (PAC) est une machine thermodynamique destinée à assurer le chauffage d'un local ou d'un système à partir d'une source de chaleur externe dont la température est inférieure à celle du local ou du système à chauffer.
- C'est donc un système de chauffage qui transfère des calories d'un milieu à bas niveau de température vers un milieu où la température doit être supérieure.

- L'écoulement naturel de la chaleur s'effectuant toujours d'un corps chaud vers un corps froid, on peut définir également la pompe à chaleur comme un matériel permettant de réaliser l'écoulement de chaleur inverse du sens naturel, c'est-à-dire d'un milieu froid vers un milieu chaud. Une dépense d'énergie sera bien entendu inévitable pour réaliser ce transfert inverse. L'énergie nécessaire pour assurer le transfert doit être inférieure à l'énergie calorifique utile pour que le système ait un quelconque intérêt.



les différentes transitions de phases possibles pour un corps pur





4.1.Énergie mise en jeu lors du changement d'état d'un corps

(ex: fusion de la glace)

La chaleur latente de fusion de la glace est de 334 kJ/kg

Il faut donc une énergie de 334 kJ pour faire fondre un kilo de glace (la température de glace est de 0°C au départ, la température de l'eau obtenue est aussi de 0°C)

$$\text{Energie} = \text{Chaleur latente} \times \text{Masse}$$

Energie en kJ

Chaleur latente en kJ/kg

Masse en kg

Note : il faut apporter de l'énergie à un solide pour qu'il se transforme en liquide (**fusion**), puis en vapeur (**vaporisation**).

Il faut enlever de l'énergie à un gaz pour qu'il se transforme en liquide (**condensation**), puis en solide (**solidification**)



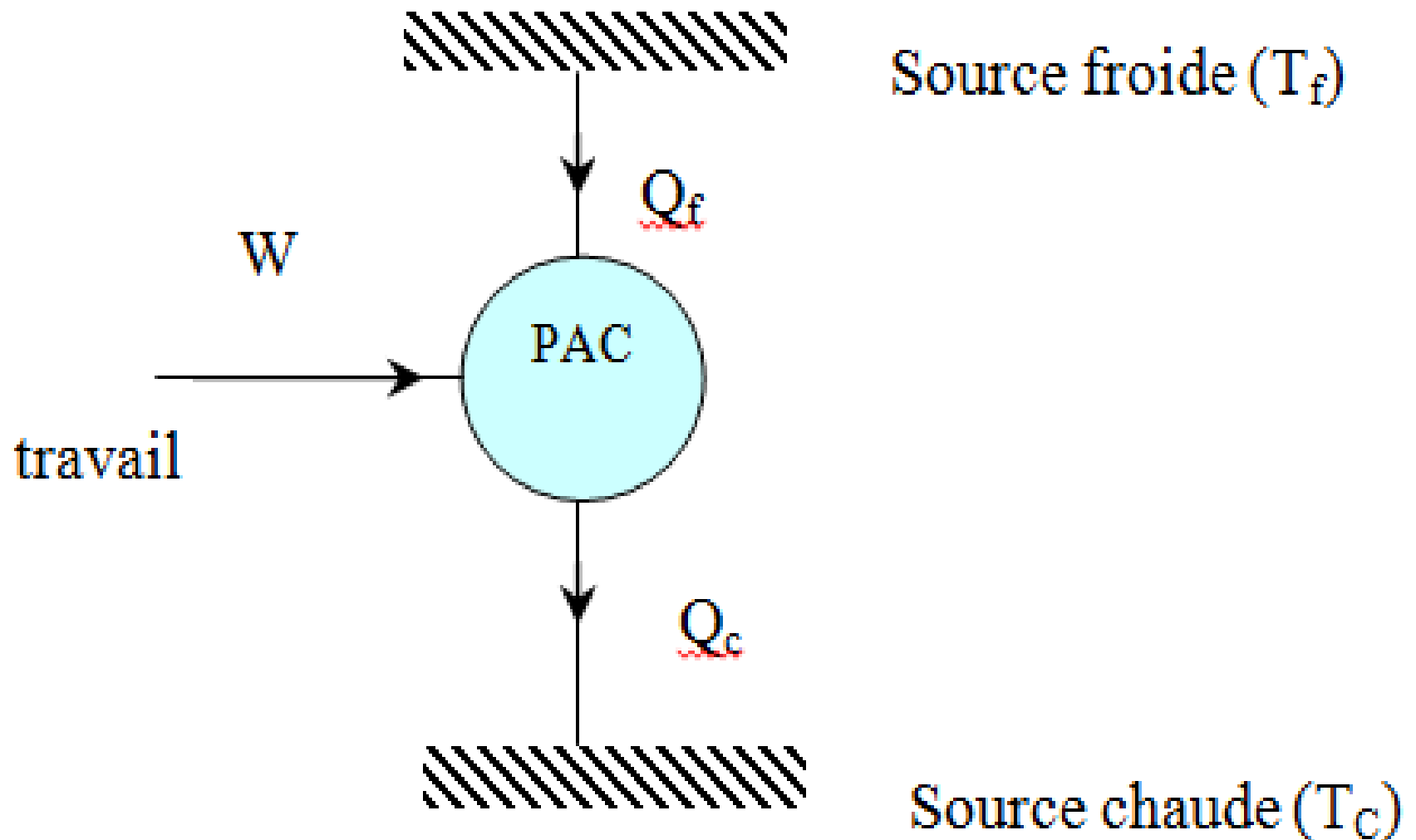
Coefficients de Performance d'une pompe à chaleur

- Pour caractériser l'efficacité d'une pompe à chaleur on introduit le coefficient de performance (COP) par la relation :

$$\text{COP} = (\text{chaleur fournie}) / \text{énergie apportée au système}$$

- Le COP est très utile pour évaluer la rentabilité d'une pompe à chaleur. Il indique dans quelle mesure la puissance calorifique produite est supérieure à la puissance d'entraînement du compresseur.

structure générale



Technologies des pompes à chaleur

Les phénomènes de transfert thermique

Pour extraire de la chaleur d'un milieu « froid » (la source froide) vers un milieu chaud (le local à chauffer) on utilise comme vecteur un **fluide frigorigène**. Celui ci est le siège de phénomènes physico-chimiques permettant de prélever, de transférer et de restituer la chaleur.

quelques phénomènes endothermiques et exothermiques permettant de déplacer de la chaleur dans une pompe à chaleur.

<i>Phénomènes endothermiques (absorbant de la chaleur)</i>	<i>Phénomènes exothermiques (produisant de la chaleur)</i>
Fusion d'un solide	Solidification d'un liquide
Vaporisation d'un liquide	Condensation d'une vapeur
Sublimation d'un solide	Condensation en phase solide
Détente d'un gaz comprimé	Compression d'un gaz

pour extraire de la chaleur d'une source froide on fera subir au fluide frigorigène, en « contact » avec cette source, un phénomène endothermique (qui consomme de la chaleur). De la même manière que pour extraire la chaleur stockée par le fluide frigorigène afin de la restituer à la source chaude on utilisera un phénomène exothermique (qui dégage de la chaleur). Dans la majeure partie des cas, on fait ainsi décrire une série de transformations qui ramène, périodiquement, le frigorigène dans son état initial. Le cycle de fonctionnement ainsi décrit est appelé **cycle frigorifique**.

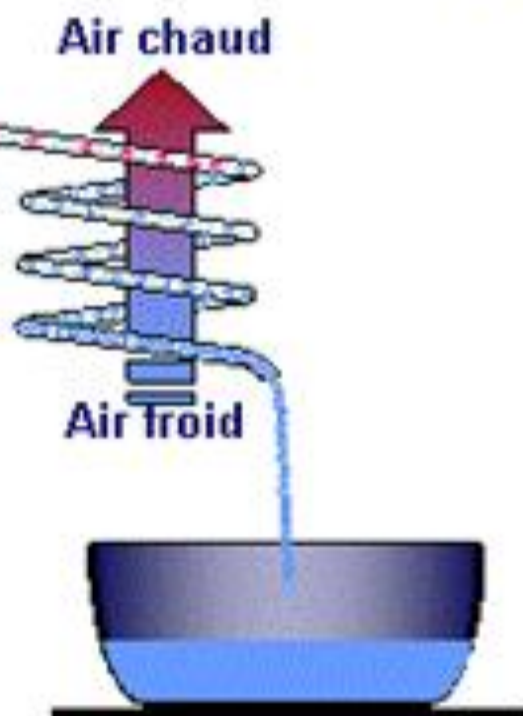
Local 1



Plaque électrique

*Pour produire de la vapeur d'eau, il faut de la chaleur.
L'évaporation (ébullition) correspond donc à un prélèvement de chaleur.
" L'évaporation a permis de refroidir la plaque électrique ".*

Local 2



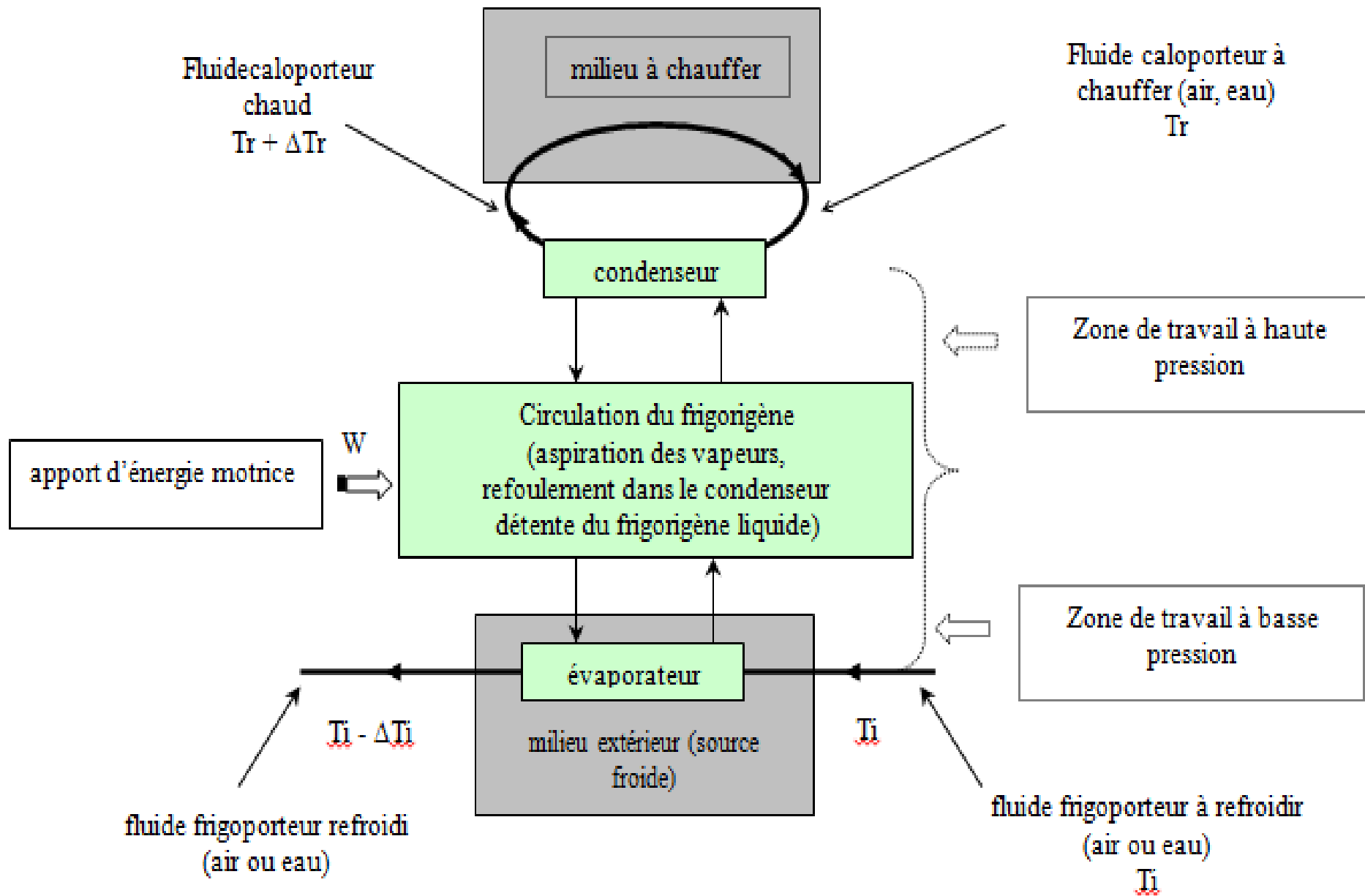
*Au contact du serpentin, la vapeur se condense, l'air se réchauffe
La condensation correspond donc à une fourniture de chaleur.
" La condensation a permis de rejeter dans l'air la chaleur prélevée à la plaque électrique ".*

La grande majorité des pompes à chaleur (et des machines frigorifiques) utilise le phénomène de vaporisation d'un liquide pour extraire des calories d'une source froide (milieu extérieur). La restitution de calories au milieu à chauffer s'opère alors en utilisant le phénomène de condensation d'une vapeur.

Le changement d'état liquide – vapeur est le phénomène majeur sur lequel on s'appuie pour produire de la chaleur. On le met en œuvre dans une machine thermique en faisant évoluer un fluide frigorigène dans un circuit fermé comportant notamment un évaporateur et un condenseur :

L'évaporateur sera placé dans la source froide (le milieu extérieur) où l'on maintient une température T_i . Le frigorigène y pénètre en phase liquide et s'y vaporise (à la température $T_f < T_i$) en prélevant de la chaleur à ce milieu : c'est la phase d'extraction de calories

Le condenseur sera refroidi à la température T_r par un fluide extérieur (air ou eau). Le frigorigène qui y entre en phase vapeur, se condense à une température $T_c > T_r$ en cédant de la chaleur au fluide de refroidissement.



Le cycle idéal

- Quelles que soient la puissance et la nature du fluide frigorigène, une pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur comprend essentiellement les machines et dispositifs suivants :

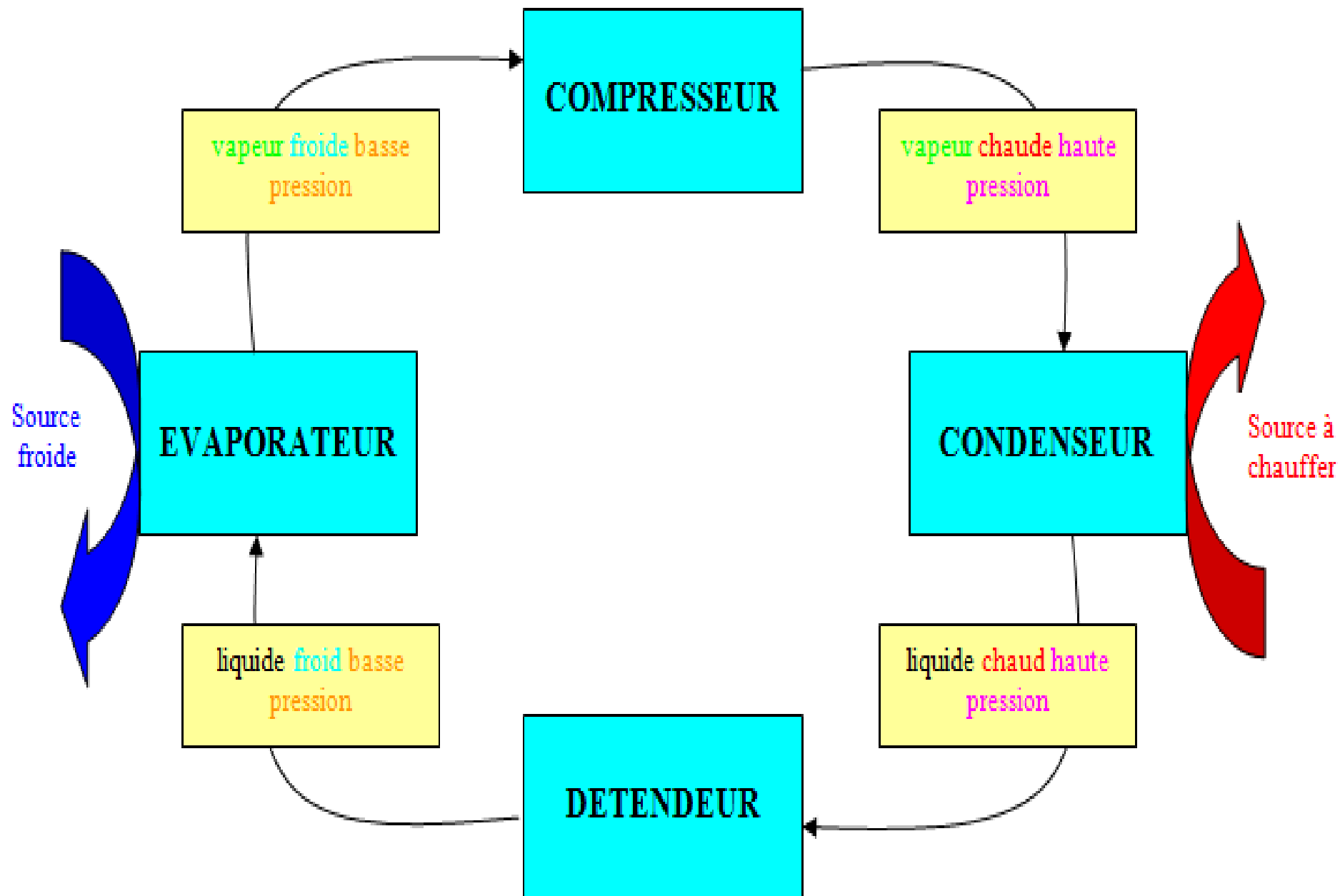
✓ *Un évaporateur* : qui vaporise le frigorigène en prélevant de la chaleur au frigoporteur (air, eau etc...) qui se refroidit. La vapeur sortant de cet évaporateur est saturée. L'évaporation s'effectue à la température de vaporisation T_f , correspondant à la pression d'évaporation p_F du fluide frigorigène. Le frigorigène prend au fluide frigoporteur la chaleur qu'il a absorbé dans son circuit d'utilisation.

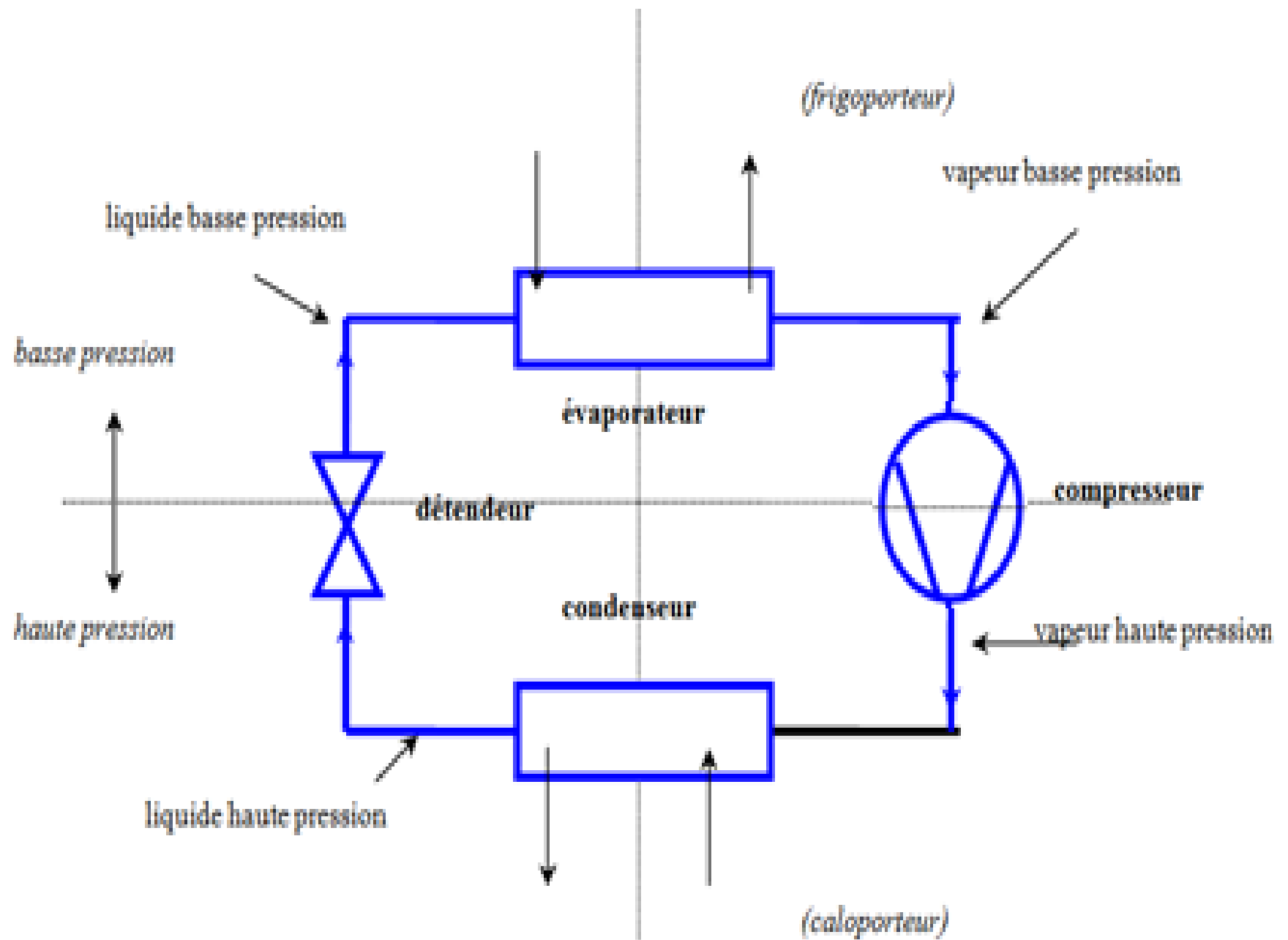
- ✓ *Un compresseur mécanique et son moteur* : le compresseur aspire, sous la pression p_F , la vapeur de frigorigène issue de l'évaporateur et la comprime jusqu'à la pression p_C pour la rejeter dans le condenseur. La pression p_C sera telle que la température de saturation correspondant à cette pression soit légèrement supérieure à la température du fluide de refroidissement dont on dispose.

•

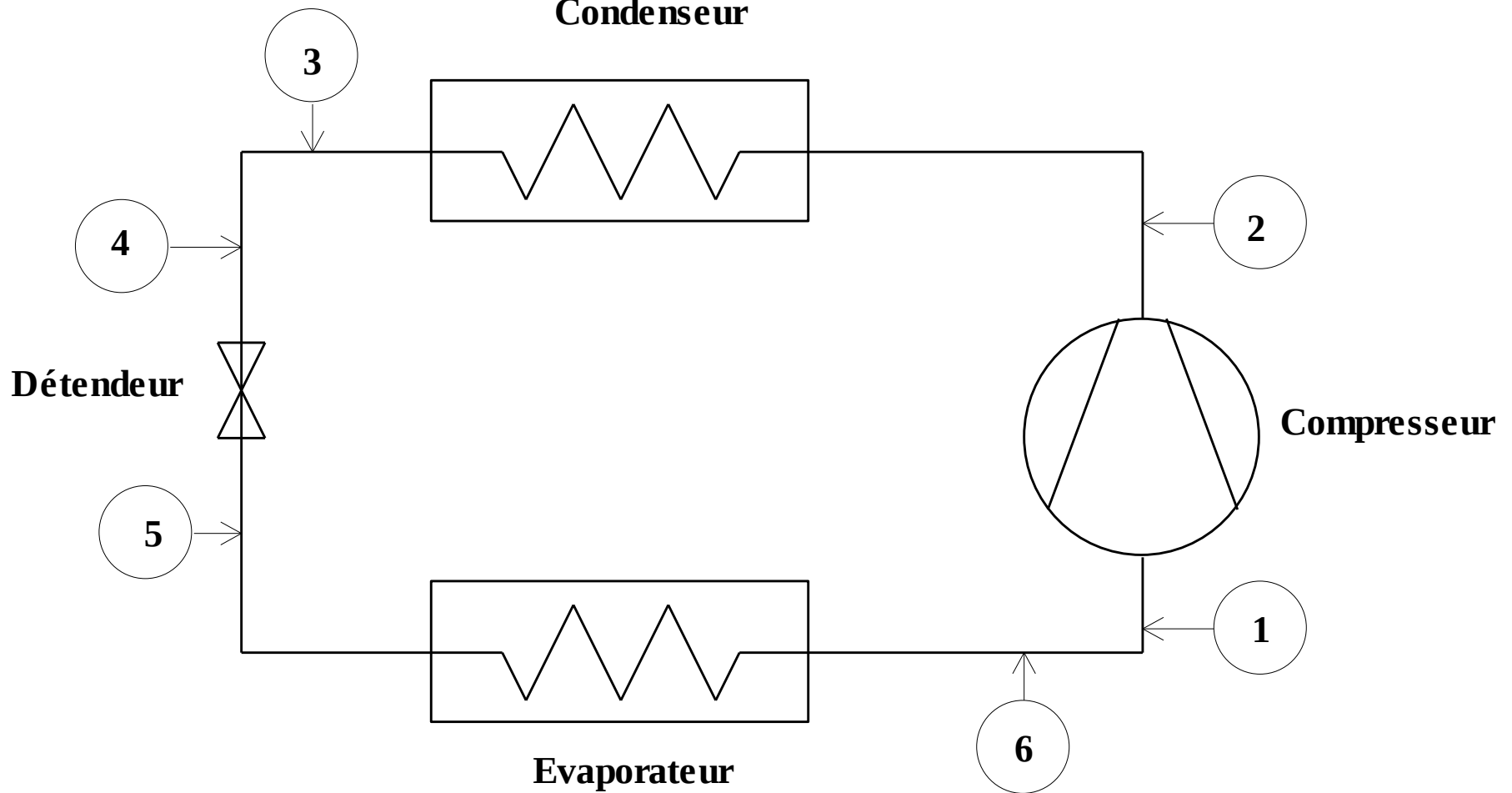
- ✓ *Un condenseur* : c'est un échangeur de chaleur à surface avec circulation d'un côté du fluide frigorigène à condenser et de l'autre côté de fluide de refroidissement (air, eau, etc....) appelé aussi fluide caloporteur. Il condense le frigorigène en cédant la chaleur au caloporteur qui s'échauffe de T_{c1} à T_{c2} . Le fluide frigorigène quittant cet échangeur est saturant. La condensation s'effectue à la température de condensation T_C correspondant à la pression de condensation p_C . On a : $T_C > T_{c2} > T_{c1}$.

- ✓ *Un détendeur* : qui alimente en frigorigène l'évaporateur sans excès ni défaut. Le frigorigène y subit la détente de p_C à p_F .
- Ces divers éléments sont reliés par des tuyauteries équipées des armatures de service et de sécurité usuelles.





Le cycle réel



Caractéristiques réelles de la PAC à compression mécanique

pour une masse de frigorigène, entre l'entrée e et la sortie s d'un élément du circuit thermodynamique :

$$q + w = h_s - h_e$$

Chaleur et puissance calorifiques produites au condenseur

- le condenseur est une machine statique ($w = 0$) :

La chaleur produite , q_c , par unité de masse de frigorigène qui se désurchauffe, se liquéfie et se sous refroidit dans le **condenseur** (de 2 à 3) est :

- $q_c = h_3 - h_2 < 0$ d'où : $|q_c| = h_2 - h_3$

(q_c est exprimé en kilojoules / kilogrammes)

La puissance calorifique (thermique) produite au **condenseur** est (en valeur absolue) alors :

$$P_C = \dot{m} |q_c| = (h_2 - h_3)$$

Avec : $\dot{m}$ débit massique (en kilogrammes par seconde) de la PAC.

Chaleur et puissance calorifiques extraites à l'évaporateur

La chaleur extraite, q_F , par unité de masse de frigorigène qui s'évapore (de 5 à 6) est, d'après le cycle étudié :

$$q_F = h_6 - h_5$$

Par conséquent, la puissance calorifique qu'une PAC absorbe à sa source froide ($\dot{m}$ le débit massique étant connu) est :

$$P_F = \dot{m} \cdot (h_6 - h_5)$$

Travail et puissance absorbées par le compresseur

Pour comprimer le débit massique de vapeur de 1 à 2, le compresseur recevrait le travail :

$$w = h_2 - h_1$$

et donc la puissance

$$P_{comp} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

En tenant compte des pertes (thermodynamiques et mécaniques) le compresseur réel doit consommer, sur son arbre, la puissance effective :

$$P_{réelle} = P_{comp} / \eta_{réel} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) / \eta_{réel}$$

($\eta_{réel}$ représente le rendement du transfert de puissance mécanique au compresseur).

COP d'une PAC réelle

Le coefficient de performance réel

Le COP peut être exprimé

$$\text{COP}_{\text{réel}} = |q_c| / w = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1)$$

On constate que : $\text{COP}_{\text{réel}} < \text{COP}_{\text{idéal}}$

Ainsi donc toutes les irréversibilités du cycle réel font baisser le COP par rapport au COP de la machine idéale de CARNOT.

Le rendement de cycle

- On définit également le rendement de transformation (ou degré effectif de réversibilité relatif au cycle de Carnot inversé), par le rapport entre l'efficacité effective du cycle réel et celle du cycle de Carnot évoluant entre les mêmes températures extrêmes :

$$\eta_{tr} = COP_{réel} / COP_C$$

- Pour les pompes à chaleur à compression mécanique de vapeur utilisant des compresseurs volumétriques , η_{tr} est compris entre 0,35 et 0,45 pour de petites puissances et monte à 0,60 – 0,65 pour les moyennes et grandes puissances.