

Chapitre II : Les échangeurs à changement de phase.

II.1 Introduction :

Les échangeurs à changement de phase sont des échangeurs frigorifiques se caractérisent par un écoulement **diphase**.

Ce type des échangeurs généralement utilisée dans les installations frigorifiques.

Une installation frigorifique est comporte au moins deux échangeurs de chaleur :

- ☛ Un condenseur : dont le but d'assurer le transfert de chaleur du fluide frigorigène au milieu extérieur (figure2).
- ☛ Un évaporateur : dont le rôle est d'assurer le transfert de chaleur du milieu à refroidir au fluide frigorigène (figure1).

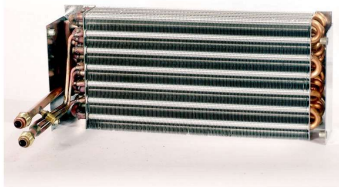


Fig. 1 : Schéma d'un évaporateur.



Fig.2 : Schéma d'un condenseur.

II.2 Domaine d'utilisation des échangeurs à changement de phase

Les échangeurs sont souvent utilisés dans les pompes à chaleur, les installations de refroidissement et dans les circuits frigorifiques de climatisation.

Si on prend un exemple d'utilisation, les pompes à chaleur sont constituées d'un évaporateur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un compresseur (voir figure 3). Ce dernier c'est une installation qui permet d'extraire des calories dans le milieu extérieur (air, sol, eau) appelé *source froide* et de les transférer à l'intérieur d'un bâtiment par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur (air, plancher chauffant, radiateur) appelé *source chaude*. Le transfert de chaleur s'effectue au travers d'un fluide frigorigène en circuit fermé. Cela fonctionne sur le même principe d'un réfrigérateur mais en sens inverse.

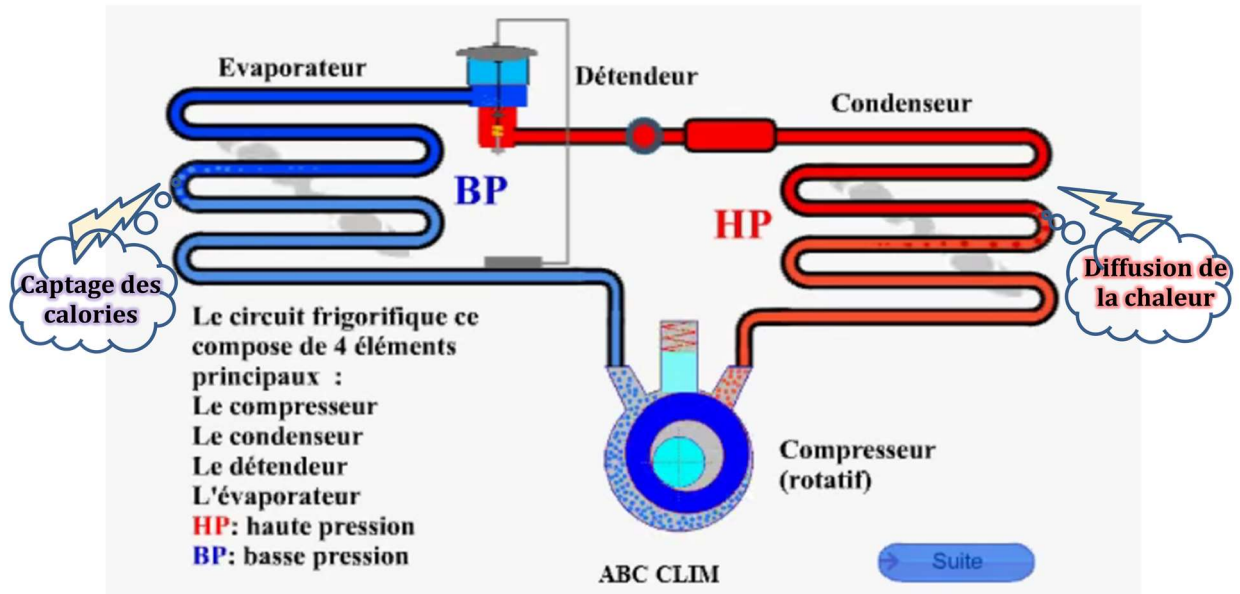
pompe à chaleur:

Fig.3 : Schéma d'installation d'une pompe à chaleur.

II.3 Définitions :

II.3.1 Les condenseurs :

Cet échangeur de chaleur doit permettre au fluide d'évacuer la chaleur transportée par le fluide frigorigène vers un milieu de condensation (air ou eau). Le fluide frigorigène entre dans le condenseur en vapeur surchauffée, il sort en liquide sous-refroidi.

Technologiquement, le condenseur est un échangeur entre le fluide frigorigène et un médium de condensation. On retrouve deux familles de condenseurs :

- a)- le condenseur dit « à chaleur sensible » :** le médium de condensation évolue de façon « sensible » et s'échauffe. Dans cette famille, on a des condenseurs à air et à eau.
- b)- le condenseur dit « à chaleur latente » :** le médium de condensation évolue de façon « sensible et latente », donc s'échauffe et change d'état. Ici, on parle de condenseur évaporatif.

Le condenseur se divise en trois parties délimitées par les paramètres de fonctionnement (voir figure 4):

- La zone de désurchauffe,
- La zone de condensation,
- La zone de sous-refroidissement.

1) La zone de captation de chaleur A/B (désurchauffée) :

Le fluide frigorigène arrive sous forme gazeuse (désurchauffé) dans le condenseur. Il subit à ce niveau une captation de chaleur. Lors de cette opération, la température du fluide frigorigène diminue pour atteindre la température de condensation. La zone de captation de chaleur renferme un courant gazeux pur. Malgré une importante différence de température motrice et des vitesses d'écoulement élevées, le transfert thermique est moins important que lors de l'écoulement

diphase, en raison de la faible densité du fluide frigorigène. La valeur surfacique de la zone de captation de chaleur est d'environ 10 - 15 %.

2)- La zone de condensation B/D :

La phase de condensation commence dès que le fluide frigorigène a été refroidi à la température de condensation. La pression régnante détermine la température de condensation. Cette température reste constante pendant la condensation. La captation de chaleur conduit à un changement de phase et non pas à un abaissement de la température. Le transfert de chaleur est optimal dans cette zone.

3)- La zone de sous-refroidissement D/E :

Le sous-refroidissement débute avec une perte de chaleur supplémentaire dès que le fluide frigorigène ne renferme plus de vapeur. Dès lors que le changement de phase de l'état gazeux à l'état liquide est achevé, toute évacuation de chaleur conduit à une diminution de la température. Le transfert thermique est très mauvais en raison de la faible vitesse de débit du fluide frigorigène. Il est nécessaire, afin d'empêcher la formation de bulles de vapeur à l'avant du détendeur, de procéder à un sous-refroidissement. Le fluide frigorigène doit être liquide à l'avant du détendeur.

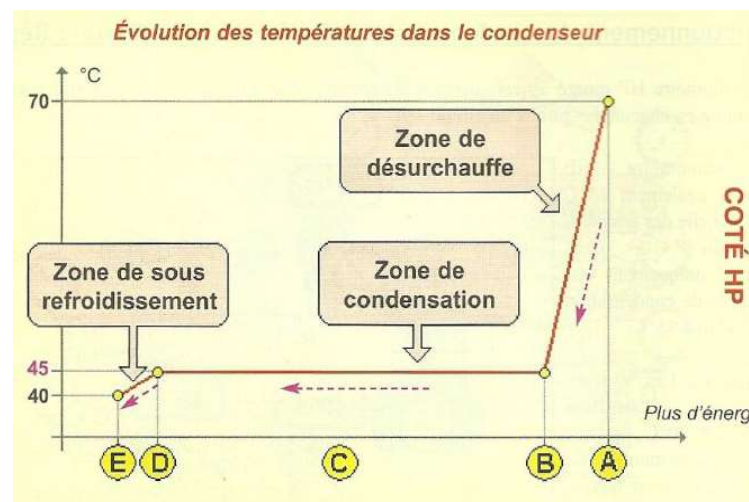


Fig.4 : Evolution des températures dans le condenseur.

c)- sous-refroidissement :

L'organe de détente a pour fonction de réduire, après la condensation, le fluide frigorigène à un niveau de pression le plus bas (pression d'évaporation). Le capillaire ou détendeur fonctionne de façon optimale lorsque le liquide présente à l'entrée un niveau de pureté également optimal. Le fluide frigorigène doit littéralement "se frayer en force" un passage à travers un étranglement (fente d'étranglement). Si l'on compare une certaine masse de fluide frigorigène à l'état liquide et à l'état de vapeur (à pression Constante), le fluide frigorigène sous forme gazeuse requiert un volume bien plus important. Il s'ensuit que le fluide frigorigène sous forme de vapeur nécessite plus de temps pour se frayer un passage à travers "l'étranglement". Le fluide frigorigène sous forme

gazeuse réduit, avant de parvenir au capillaire de détente, le débit et entraîne une sous-alimentation de l'évaporateur en fluide frigorigène. La pression d'évaporation et la puissance d'évaporation diminuent.

Si l'installation frigorifique est exploitée de telle sorte que l'état "Entrée détenteur" se trouve directement sur la courbe de séparation gauche (ligne d'ébullition), les moindres variations des conditions d'exploitation peuvent provoquer la formation de bulles à l'avant du détenteur. Pour cette raison, l'état "entrée détenteur" est déplacé de la ligne d'ébullition vers la zone liquide et on parle alors de sous-refroidissement. qui garantit une alimentation en liquide à l'avant du détenteur.

Le sous-refroidissement est ainsi calculé : en [K]

$$\Delta T_{c2u} = T_c - T_{c2u} \quad (\text{II.2})$$

où:

ΔT_{c2u} : sous- refroidissement à la sortie de condenseur en [K].

T_{c2u} : Température de fluide frigorigène à la sortie de condenseur en [°C].

T_c : Température de condensation en [°C].

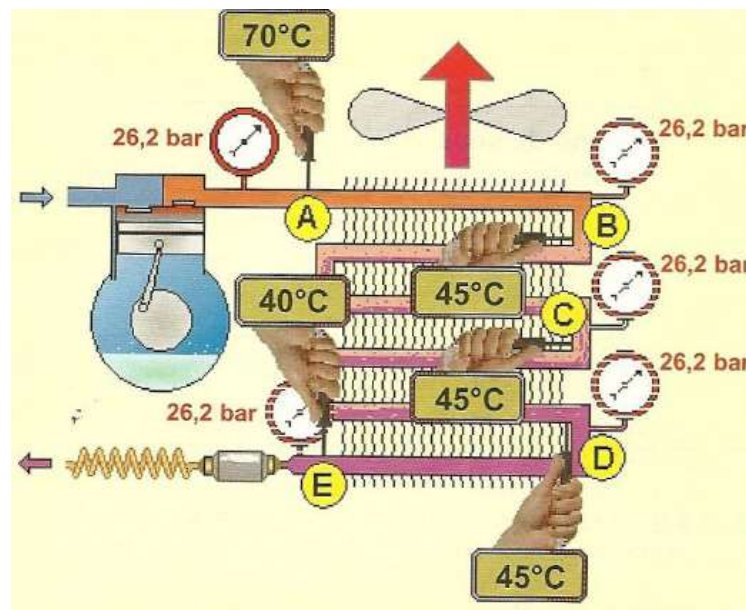


Fig.5 : Schéma d'explication l'évolution des températures dans le condenseur.

Point A: la vapeur de fluide frigorigène R404A surchauffée entre dans le condenseur, avec 70 °C et de 26,2 bar.

Entre A et B: la vapeur de fluide frigorigène R404A se désurchauffe pour atteindre la température de condensation.

Point B: la molécule de R404A liquide apparait, la température du R404A est désormais de 45 °C, c'est le début de la condensation.

Point B et C: c'est le changement d'état (condensation). La température du fluide R404A reste constante est égale à 45 °C.

Point C: la dernière molécule de vapeur s'est condensée, il ne reste que du liquide de fluide frigorigène et la température est de 45 °C. C'est la fin de la condensation.

Entre C et B: grâce à l'air qui circule sur le condenseur on sous refroidie légèrement le liquide, la température baisse progressivement.

Point D: à la sortie de condenseur il ne reste que du R404A liquide, ce liquide a été sous refroidie et sa température est de 40 °C. La pression reste toujours à 26,2 bar.

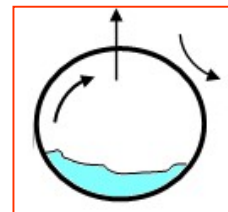
II.3.2 Transmission de la chaleur :

Le problème est le même que pour l'évaporateur, la bonne transmission thermique assure une faible différence de température ($\Delta\theta$) afin de rapprocher la température de condensation du milieu ambiant.

II.3.3 Mode de transmission de chaleur :

Bien que chaque zone de travail du condenseur possède un coefficient de transmission propre, le processus de transmission du fluide frigorigène au médium de condensation est identique.

Considérons un tube de condenseur en coupe. A l'intérieur du tube nous avons un fluide frigorigène en circulation à une température θ_k . A l'extérieur le médium de condensation (air ou eau) a une température θ_{me} . En tout point de l'appareil nous aurons $\theta_k > \theta_{me}$



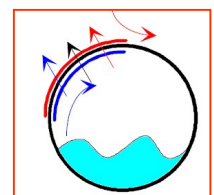
Le problème de transmission de chaleur est celui dit «du mur homogène » l'échange se fera :

- par convection du fluide à la surface interne du tube,
- par conduction à travers la paroi du tube,
- par convection de la surface externe du tube au médium de condensation.

En pratique les conditions de fonctionnement sont telles que malgré les précautions prises nous avons toujours de l'huile à l'intérieur du circuit et de la poussière ou du tartre à l'extérieur. Ces éléments augmenteront l'épaisseur de la paroi de séparation et réagiront au passage du flux calorifique en fonction de leur épaisseur.

L'échange se fera en réalité :

- par convection du fluide à la surface du film d'huile,
- par conduction à travers l'huile le tube la poussière (le tartre),
- par convection de la surface externe de la poussière au médium de condensation.



Dans les conditions de fonctionnement ci-dessus nous appellerons :

- h_{cf} : convection du fluide,
- $e_1 \lambda_1, e_2 \lambda_2, e_3 \lambda_3$, les différentes épaisseurs et leur coefficient de conductibilité,
- h_{cm} convection de la surface externe.

Le coefficient global de transmission pouvant s'écrire :

$$\frac{1}{K} = R = \frac{1}{h_{cf}} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{cm}} \quad (\text{II.2})$$

II.3.4 Grandeurs caractéristiques du condenseur :

$$\varphi = K \cdot S \cdot \Delta\theta \quad (\text{II.3})$$

θ = quantité de chaleur à évacuer au condenseur en W.

K = caractéristique du condenseur, nous indique la quantité de chaleur qu'il peut dissiper par m^2 de surface et par degré d'écart ($\Delta\theta$) en W/m^2K ou en $Kcal/m^2hK$.

S = surface totale de transmission du condenseur en m^2 ,

$\Delta\theta$ = température de condensation - t° de l'air ou de l'eau (médium),

a- la température de l'air ambiant extérieur **pour les condenseurs à air**,

b- la température d'entrée de l'eau **pour les condenseurs à eau**.

K et S : leurs valeurs sont fixes et déterminées par la conception du condenseur.

$\Delta\theta$: ses valeurs oscillent autour d'une donnée moyenne déterminée la conception du condenseur.

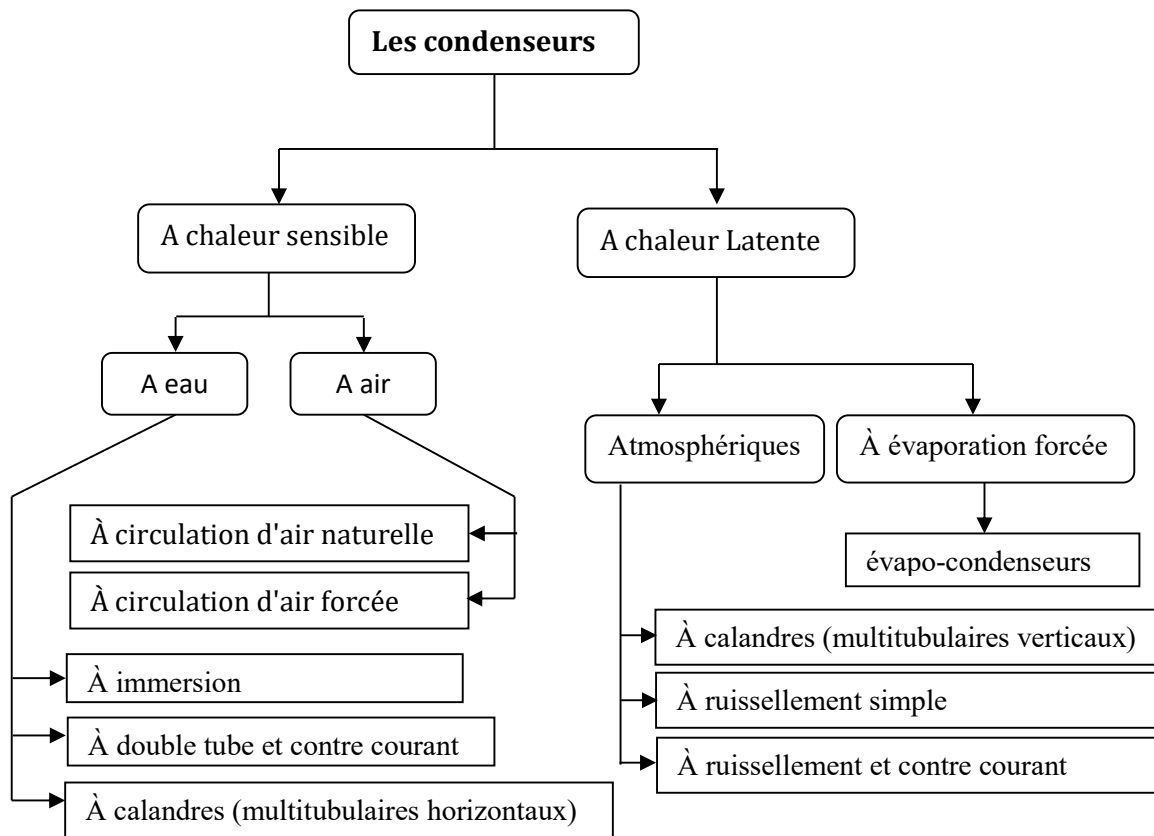
a- $\Delta\theta$: diminuant pour une ventilation supérieure du condenseur et inversement (condenseurs à air),

b- $\Delta\theta$: diminuant pour un débit d'eau supérieur et inversement (condenseurs à eau).

L'absorption du flux calorifique dû à la désurchauffe, condensation, sous refroidissement ne peut être réalisée par le médium de condensation que :

- Par élévation de sa température (absorption de chaleur sensible),
- Par changement partiel d'état physique (chaleur latente de vaporisation).

D'où le classement suivant des condenseurs :



II.3.5 Classification :

1)- Condenseur à air :

On utilise l'air ambiant pour absorber la chaleur que le condenseur doit dissiper.

L'air a une très faible chaleur massique : $C_{pas} = 1,02 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$. (ou $0,28 \text{ Wh/kg}$).

Le coefficient K en $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ est faible lorsque l'un ou les deux fluides sont des vapeurs.

1-1) Condenseur à air à circulation naturelle :

Ce type de condenseur équipant certaines armoires ménagères est constitué d'un serpentin recouvert de treillis de fil métallique soudé ou d'une feuille de tôle ajourée formant ailette. (voir Figure7).

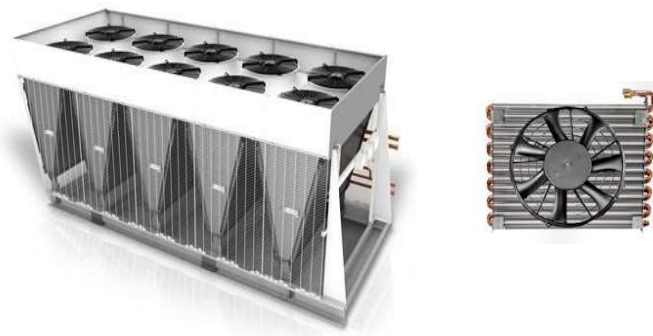


Fig.6 : Condenseur à air à circulation forcée.

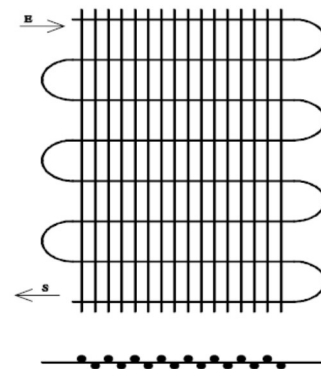


Fig.7 : Condenseur à air à circulation naturelle

1-2) Condenseur à air à circulation forcée :

Lorsque la surface du condenseur est trop importante, il est indispensable d'utiliser une ventilation. La constitution du condenseur est identique à celle de l'évaporateur, c'est un tube lisse serti d'une multitude d'ailettes augmentant la surface d'échange. Le condenseur est ventilé par une hélice montée en bout d'arbre pour les groupes ouverts ou par un ou plusieurs moto-ventilateurs sur les groupes hermétiques. (Voir figure 6)

2)- Condenseur à refroidissement par eau :

Technologiquement, les condenseurs à eau offrent plus de diversité que les condenseurs à air. Le coefficient K est amélioré, le refroidissement étant assuré par un liquide et la chaleur massique de l'eau est de : $4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$ (ou 1.16 Wh/kg , 4 fois supérieure à l'air). Grâce à ces deux qualités, la dimension d'un condenseur à eau à puissance égale sera nettement plus petite que celle d'un condenseur à air, K étant amélioré de 10 à 30 fois. Contrairement à l'air, l'eau n'est pas gratuite, son débit à l'intérieur du condenseur sera limité. Le $\Delta\theta$ voisin de $15K$ verra sa valeur changée suivant le débit d'eau.

2-1) Condenseur à double tube et à contre-courant :

Pour permettre un bon échange, deux tubes concentriques sont parcourus, l'un par l'eau, l'autre par le réfrigérant. L'échange thermique est amélioré par la circulation des deux fluides à contre-courant.

L'eau froide pénètre dans le condenseur ou sous refroidissement et ressort réchauffée par la zone de surchauffe.

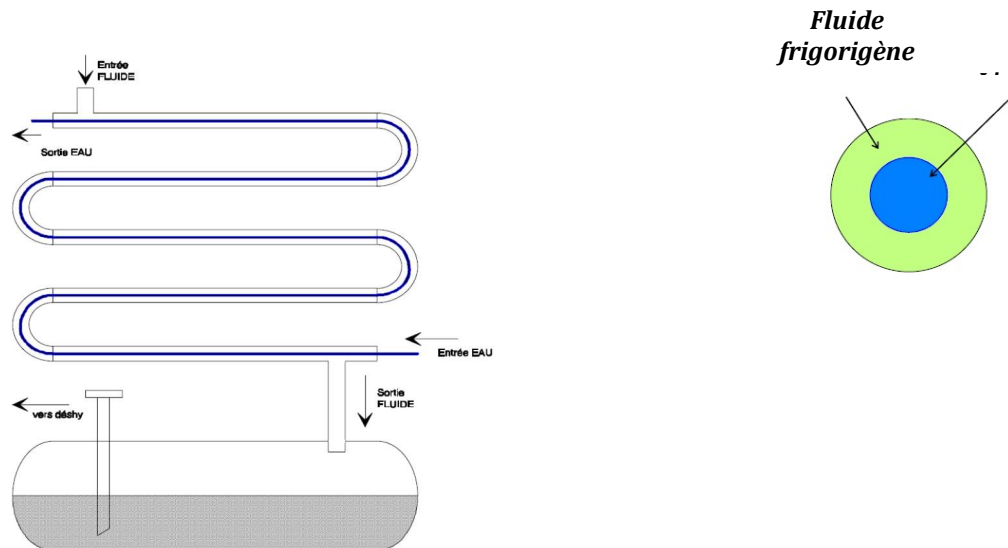


Fig.7 : Condenseur à double tube et contre-courant.

2-2) Condenseur à immersion :

Constitué d'une bouteille faisant également office de réservoir de liquide.

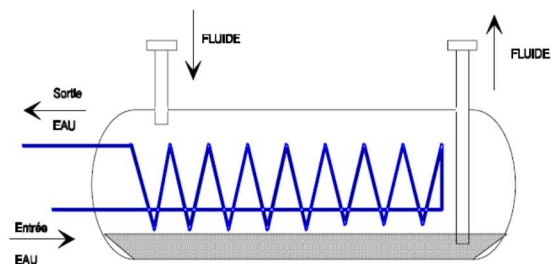


Fig.8 : Condenseur à immersion.

2-3) Condenseur multitubulaire :

Comme sur le condenseur à double tube et contre-courant, on utilise le phénomène de contre-courant pour les fluides mais le deuxième serpentins est annulé.

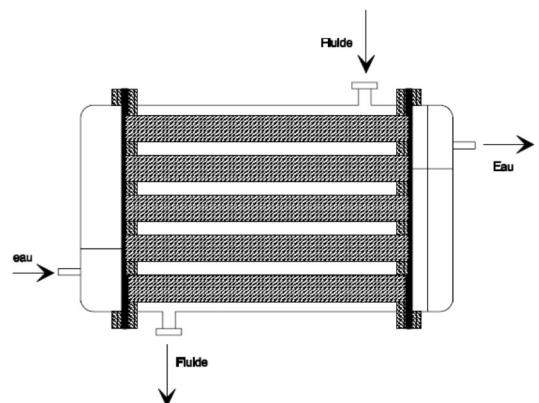
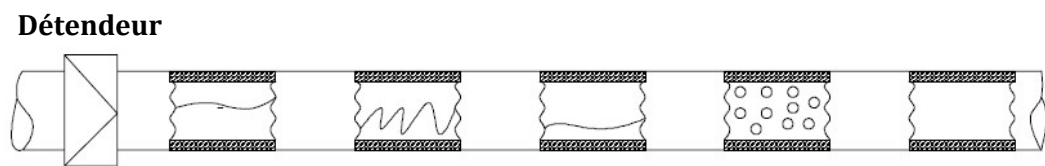


Fig.9 : condenseur multitubulaire.

II.3.2 L'évaporateurs :

C'est un échangeur dans lequel le fluide frigorigène liquide, après détente, est évaporé à température constante en prélevant de la chaleur au milieu ambiant à refroidir. La température d'évaporation doit être située lors de ce processus au-dessous de la température ambiante. La température d'évaporation souhaitée peut être obtenue avec précision grâce à un effet d'aspiration du compresseur de fluide frigorigène combiné à un étranglement de l'organe de détente. Le flux de chaleur généré entre l'évaporateur et le milieu ambiant, grâce à la différence de température, entraîne dans l'évaporateur une évaporation (zone d'évaporation) du liquide du fluide frigorigène par le détendeur et le cas échéant une surchauffe (zone de surchauffe).



a)- Pression d'évaporation :

La pression d'évaporation P_o est calculée à partir des paramètres définissant „l'étranglement“ du détendeur ou capillaire et ceux de l'effet d'aspiration du compresseur. La superficie, son encrassement ou le givrage ainsi que le débit volumétrique et la température d'entrée du fluide réfrigérant (air, eau) exerce une influence sur la pression momentanée d'évaporation.

☛ Effet des différents paramètres sur la pression d'évaporation :

- Augmentation de la température de l'air, P_o augmente.
- Diminution de la température de l'air, P_o diminue.
- Augmentation de la superficie, P_o augmente.
- Réduction de la superficie, P_o diminue.
- Encrassement, givrage (diminution de la valeur k) P_o diminue.
- Augmentation du débit volumétrique de l'air, de l'eau (augmentation de la valeur k), P_o augmente.

b)- Processus à l'intérieur de l'évaporateur

Le fluide frigorigène pénétrant dans le détendeur (éventuellement sur-refroidi) est détendu à la pression d'évaporation P_o . Lors de cette opération, une partie du fluide frigorigène liquide s'évapore avant d'atteindre l'évaporateur. Cette quantité de vapeur x est d'autant plus importante que la différence de température entre la température de condensation et la température d'évaporation est grande. Sur la figure 10, ci-dessous, cette quantité atteint 20 %.

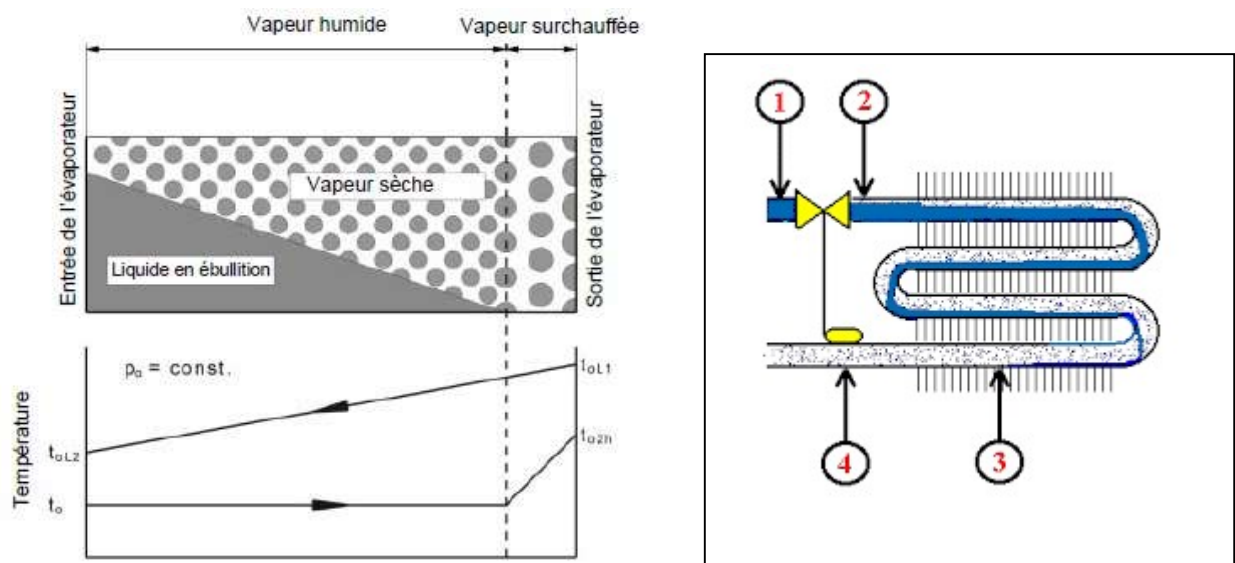


Fig. 10 : *Processus à l'intérieur de l'évaporateur.*

A l'extrémité de l'évaporateur, le fluide frigorigène a été entièrement évaporé et passé à l'état de surchauffe. La température du fluide frigorigène n'augmente que lorsque le liquide est entièrement évaporé. Ce mode de fonctionnement de l'évaporateur est appelé évaporation sèche (détente sèche).

La zone de surchauffe possède de mauvaises propriétés de transfert thermique. De plus, la différence de température avec le milieu ambiant est plus faible à la suite de l'augmentation de la température du fluide frigorigène. Il s'ensuit que la quantité de chaleur transmise à la zone désurchauffe est moins importante.

Le fluide frigorigène s'évapore à une pression basse et à une température située au-dessous de la température ambiante de l'évaporateur, absorbant ainsi la chaleur à l'environnement. Le fluide frigorigène est évaporé dans l'évaporateur à une pression d'évaporation constante P_0 ou à une température d'évaporation T_0 constante. (Zone de vapeur humide !).

☛ **Risque d'une surchauffe faible ou absente :**

Si le niveau d'aspiration du compresseur ou sortie de l'évaporateur, est situé directement sur la ligne de rosée (voir point 1, figure 11), une diminution de charge de l'évaporation peut entraîner une "aspiration" humide. Il peut en résulter deux conséquences néfastes pour le compresseur.

Le fluide frigorigère liquide lave le film lubrifiant entre le piston et les parois du cylindre; une lubrification insuffisante provoque une usure plus importante. Si du liquide frigorigère liquide parvenait dans le cylindre, celui-ci entraînerait, lors de la compression, un transport direct de

l'énergie du piston à la culasse du cylindre. La plaque de soupape peut être endommagée par les coups de liquide.

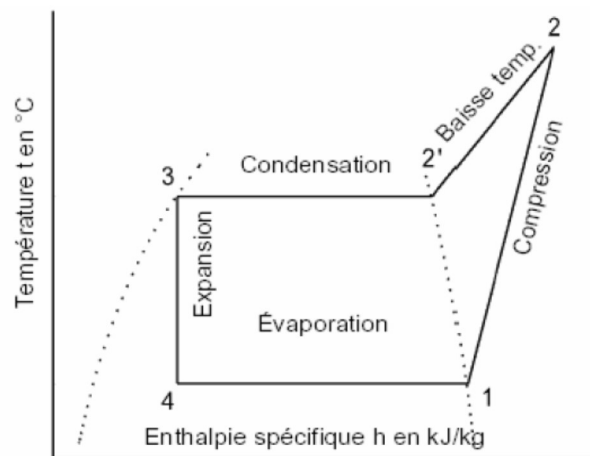


Fig. 11 : Evolution de température de liquide à l'intérieur de l'évaporateur.

☛ **Surchauffe dans l'évaporateur :**

La plupart des installations frigorifiques sont équipées d'organes de détente non réglable (capillaire). Elles ont pour fonction, à tous les stades de donner un fonctionnement correct de l'installation frigorifique et de réaliser une surchauffe après la phase d'évaporation dans l'évaporateur. Une partie de la surface de l'évaporateur (env. 20 %) permet de réaliser la surchauffe.

Surchauffe dans la conduite d'aspiration :

La longueur des canalisations d'aspiration constitue aussi un élément de la surchauffe. Une surchauffe dans la conduite d'aspiration ne constitue pas une protection sûre du compresseur face aux liquides.

☛ **Calcul de la surchauffe du fluide frigorigène :**

Sa température T_{02h} , est située au-dessus de la température T_0 . La surchauffe est calculée de la manière suivante en K :

$$\Delta T_{02h} = T_{02h} - T_0 \quad (\text{II.4})$$

Où :

ΔT_{02h} : Surchauffe à la sortie de l'évaporateur en K

T_{02h} : Température de fluide à la sortie de l'évaporateur en °C

T_0 : Température d'évaporation en °C

La lettre h est utilisée pour la « surchauffe ».

c) Classification d'évaporateurs :

1- Evaporateur refroidisseur d'air :

Installé dans les enceintes à température positive et négative, ils peuvent être :

1-1) Evaporateur à circulation naturelle :

a) A ailettes : Constitué de tube lisse et serti d'une multitude d'ailettes augmentant la surface d'échange, K de 6 à 8 w/m^2K .

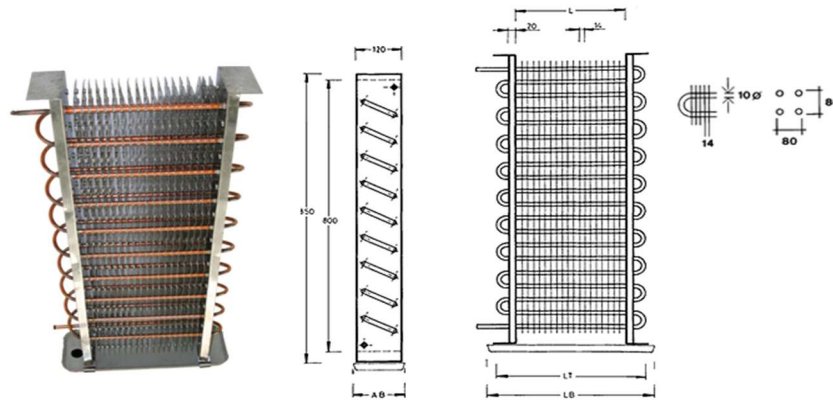


Fig.13 : Evaporateur à ailette.

b) Roll Bond: Fabriqué à partir de deux feuilles d'aluminium

Laminées dont un est recouverte d'une pâte spéciale figurant le : ($\Delta\theta$ de 18 K.)



Fig.13: Evaporateur Roll Bond.

c)- à plaque eutectique :

Constitué d'un caisson en tôle parcourue par un serpentín de fluide frigorifique baignant une saumure remplissant le caisson à 80%.

Utilisée essentiellement dans les conteneurs, elle permet entre deux fonctionnements un arrêt prolongé de l'installation frigorifique sur le terrain et durant un transport de vivres.

Pendant le fonctionnement de l'installation, la saumure doit se congeler complètement. La température de solidification inscrite sur la plaque eutectique se situe entre $-1^{\circ}C$ et $-26^{\circ}C$, $\Delta\theta = 3$ à $5^{\circ}C$.



Fig.14: Evaporateur à plaque eutectique.

A l'arrêt, la décongélation de la saumure, de par sa chaleur latente de fusion, permet un refroidissement prolongé des denrées. Le $\Delta\theta$ entre la plaque et l'ambiance est difficilement contrôlable et maintenu.

1-2) Evaporateur à circulation forcée :

L'évaporateur à ailettes est équipé d'un ventilateur qui augmente le débit d'air sur une partie des ailettes abaissant le $\Delta\theta$ et augmentant le coefficient K.

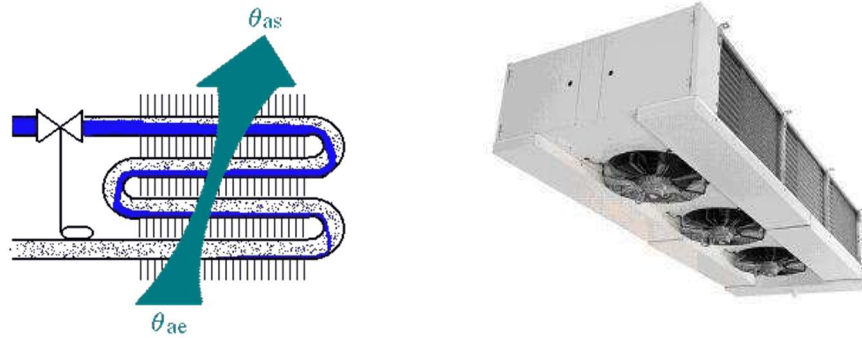


Fig.14 : Evaporateur à circulation forcée.

Chapitre III : Les chaudières

III.1 Introduction :

La principale fonction d'une chaudière ? C'est de transférer l'énergie dégagée par la combustion à l'eau, l'huile ou l'air de chauffage.

a). Définition

Une chaudière est un appareil dont le rôle est de transmettre à un fluide thermique, les calories dégagées par une combustion. Cette combustion peut se faire dans la chaudière (foyer) ou bien à l'extérieur (c'est le cas des chaudières de récupération). Cet apport de chaleur a pour effet soit uniquement de réchauffer le fluide thermique, soit de le réchauffer et le vaporiser.

b). Les éléments d'une chaudière

- *Chambre de combustion* : La chambre de combustion soutient le processus de combustion, afin qu'il soit plus propre et rejette dès lors moins de substances nocives. Une bonne partie de la chaleur qui se forme est absorbée par conduction, rayonnement et convection dans la chambre de combustion.

Si la chambre de combustion est trop petite, il y a un risque de contact entre la flamme et une paroi froide. Conséquence : ce contact provoque une surfusion et une combustion incomplète. La chambre de combustion pourrait également en être endommagée.

Si la chambre de combustion est trop grande, l'excès d'air autour de la flamme peut également provoquer une surfusion.

- *Tubes de fumées* : Les tubes de fumées se situent dans le prolongement de la chambre de combustion. La plupart des chaudières appliquent le principe du triple parcours. La chaudière produit plus de chaleur grâce à des éléments destinés à ralentir l'écoulement des gaz de combustion (turbulateurs pour écoulement turbulent). En effet, si les produits de combustion quittent trop vite la chaudière, le rendement diminuera. S'ils y séjournent trop longtemps, la concentration en NO_x augmentera.

Les tubes de fumées et la chambre de combustion sont construits à l'horizontale ou à la verticale, afin de pouvoir les nettoyer plus facilement lorsque la porte de la chaudière est ouverte. Les éléments destinés à ralentir l'écoulement des gaz de combustion peuvent parfois se trouver à l'arrière.

B). différents type des chaudières

On distingue deux grandes catégories de chaudières, dénommées d'après le fluide qui circule à l'intérieur des tubes : les chaudières à *tubes de fumée*, et les chaudières à *tubes d'eau*.

- *Les chaudières à tubes de fumées* : les tubes de fumée sont disposés à l'intérieur du récipient d'eau, La vapeur est générée en chauffant un important volume d'eau, au moyen de fumées produites par combustion de fioul et circulant dans des tubes immergés. C'est la technique la plus classique pour la production de vapeur saturée, d'eau ou de vapeur.

Les chaudières à tubes de fumées permettent d'obtenir des températures de rejet des fumées plus basses (220 à 250 °C) que les chaudières à tubes d'eau (300 °C) sans économiseur, ce qui leur confère un rendement légèrement supérieur.

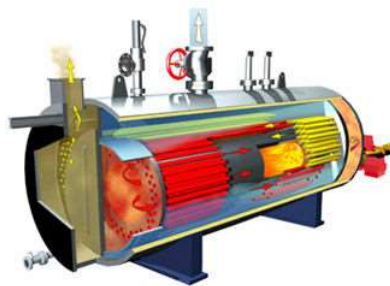


Fig. III.1 : chaudières à tubes de fumées.

- *Les chaudières à tubes d'eau* : se caractérisent par la présence de 1 ou 2 ballons supérieurs et 1 ou 2 ballons inférieurs reliés entre eux par des tubes dans lesquels circule l'eau. Dans le cas des chaudières auxiliaires de la centrale thermoélectrique on a 1 ballon supérieur et 1 autre inférieur.

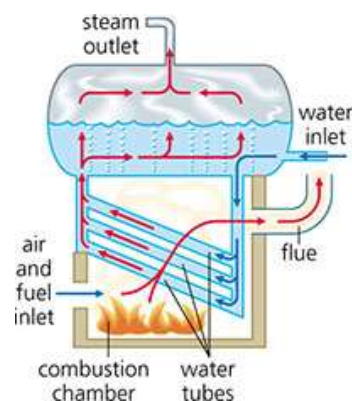


Fig. III.2 : Les chaudières à tubes d'eau.

III.2 Les fluides caloporteurs :

Un fluide caloporteur (lit. porte-chaleur) est un fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Le terme « caloporteur » est synonyme de « caloripporteur ».

Ces fluides interviennent dans les échangeurs de chaleur, par exemple les systèmes de refroidissement des moteurs thermiques (tel un moteur de voiture), les réfrigérateurs, les

chaudières, les climatiseurs, les capteurs solaires thermiques, les radiateurs des circuits électriques (cas des transformateurs électriques de forte puissance) ou électroniques, les centrales électriques thermiques au charbon, au fioul, au gaz ou nucléaires, les échangeurs de chaleur d'eaux usées.

Chaque fluide caloporteur est choisi en fonction de ses propriétés physico-chimiques, telles la viscosité, la capacité thermique volumique, la chaleur latente de vaporisation (ou de liquéfaction) en cas de changement de phase, la conductivité thermique, les propriétés anticorrosives, son coût et il doit être assez inoffensif pour le milieu.

Les conditions climatiques interviennent donc dans le choix des fluides des machines exposées aux intempéries, par exemple les liquides utilisés dans les véhicules ne doivent pas geler.

Dans les centrales nucléaires, le choix du fluide fait aussi intervenir son comportement face aux rayonnements neutroniques.

Exemple de caloporteur

Le sodium fondu (métal sous forme liquide) constitue un fluide caloporteur efficace. On l'utilise dans ce but principalement dans les soupapes creuses de moteurs poussés. Il est également utilisé dans les réacteurs rapides refroidis au sodium. Cependant, c'est un produit chimique fortement réactif et il y a un risque de feux de sodiums, feux qui sont particulièrement difficiles à éteindre.

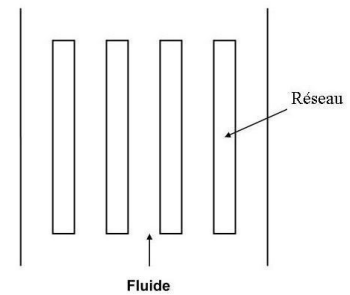
III.2.1 Comparaison de fluides caloporteurs

a)- Propriétés calo-vectrices des fluides caloporteurs

Il est possible de faire une comparaison au vu des caractéristiques thermodynamiques des fluides qui permet de classer les fluides envisageables pour la réfrigération d'un échangeur ou d'un réseau tel que celui d'un cœur de réacteur nucléaire. Cette comparaison est faite à géométrie du réseau et températures entrée/sortie du réseau coté fluide et coté paroi données. La comparaison permet de dégager deux groupes de propriétés calo-vectrices, l'une pour la puissance extraite, l'autre pour la puissance de pompage du fluide utilisé.

On peut voir dans le tableau des expressions ci-dessous le poids prépondérant de la conductivité thermique du fluide λ , ce qui rejoint entre autres, le constat fait par ailleurs de l'efficacité des métaux liquides comme fluide caloporteur. Par ailleurs C_p et λ ont le même exposant comme dans l'expression du nombre de Nusselt. Il est à remarquer que la masse volumique du fluide n'intervient pas dans le terme donnant la puissance.

Corrélation d'échange thermique applicable	Puissance thermique extraite : W proportionnelle à	Puissance de pompage du fluide : w_p proportionnelle à
Corrélation de Colburn	$\frac{\lambda^{3,333}}{(\mu \times C_p)^{2,333}}$	$\lambda^{9,167} \times \mu^{-6,167} \times C_p^{-9,167} \times \rho^{-2}$
Corrélation de Colburn	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^{2,333} \times \lambda$	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^{9,167} \times \frac{\mu^3}{\rho^2}$
Corrélation de Dittus-Boelter	$\frac{\lambda^3}{(\mu \times C_p)^2}$	$\lambda^{8,25} \times \mu^{-5,25} \times C_p^{-8,25} \times \rho^{-2}$
Corrélation de Dittus-Boelter	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^2 \times \lambda$	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^{8,25} \times \frac{\mu^3}{\rho^2}$
Corrélation du type : $N_u \div R_e^{(1-x)} \times P_r^y$	$\frac{\lambda^{\frac{1-y}{x}}}{(\mu \times C_p)^{\frac{x+y-1}{x}}}$	$\lambda^{2,75 \times \frac{1-y}{x}} \times \mu^{2,75 \times \frac{x+y-1}{x} + 0,25} \times C_p^{2,75 \times \frac{y-1}{x}} \times \rho^{-2}$
Corrélation du type : $N_u \div R_e^{(1-x)} \times P_r^y$	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^{\frac{x+y-1}{x}} \times \lambda$	$\left(\frac{\lambda}{\mu \times C_p}\right)^{2,75 \times \frac{1-y}{x}} \times \frac{\mu^3}{\rho^2}$



b)- Résultat de la comparaison des fluides caloporteurs

Tableaux de résultats comparatifs respectivement pour: les gaz; l'eau et les fluides organiques; et les métaux liquides. Les valeurs de la puissance extraite (W) et de la puissance de pompage (w_p) et du rapport (W/w_p) sont exprimées en variable réduite par rapport à celles de l'air, de l'eau et du sodium liquide.

Gaz

Les valeurs de l'air sec pris comme référence sont ramenées à **1**. La vapeur d'eau mise à part, les valeurs des caractéristiques des gaz sont prises à 25°C sous 1 atmosphère.

Le classement des gaz, est le suivant :

- Pour la puissance extraite, l'hélium est en premier qui présente en revanche une puissance de soufflage plus importante, d'où la nécessité de l'utiliser sous pression.
- L'hydrogène vient en second (l'hélium et l'hydrogène sont systématiquement à part des autres gaz).
- Ensuite le néon.
- Les autres gaz qui sont proches de l'air.
- La vapeur d'eau a un rapport (W/w_p) intéressant.
- Le krypton et le xénon ferment la marche.

Eau et fluides organiques

Les valeurs de pour l'eau prise comme référence sont ramenées à 1

Comparaison de gaz caloporteurs

Gaz ↕	λ (W/m/K) ↕	Cp (kJ/kg/K) ↕	μ (kg/m/s) ↕	ρ (kg/m ³) ↕	W (ss dim) ↕	wp (ss dim) ↕	W/wp (ss dim) ↕
Hydrogène	0,13991	14,299	$8,85 \cdot 10^{-6}$	0,08240	3,149	2,711	1,162
Hélium	0,152	5,1966	$1,962 \cdot 10^{-5}$	0,1636	6,877	116,27	0,0592
Néon	0,0493	1,02926	$3,144 \cdot 10^{-5}$	0,82483	2,346	22,955	0,1022
Argon	0,01772	0,51882	$2,247 \cdot 10^{-5}$	1,6328	0,839	2,095	0,40045
Oxygène	0,026659	0,9163	$2,055 \cdot 10^{-5}$	1,3079	1,059	1,270	0,8345
Azote	0,025976	1,0407	$1,77 \cdot 10^{-5}$	1,145	1,032	1,046	0,987
Air sec	0,025905	1,004578	$1,852 \cdot 10^{-5}$	1,1839	1	1	1
CO ₂	0,0164659	0,8681	$1,505 \cdot 10^{-5}$	1,7989	0,503	0,093	5,408
Xénon	0,00566	0,15816	$2,295 \cdot 10^{-5}$	5,3665	0,284	0,259	1,0936
Krypton	0,009435	0,24686	$2,46 \cdot 10^{-5}$	3,42516	0,470	0,76	0,6157
Vapeur d'eau à 120°C/1 bar	0,0262	2,005	$1,292 \cdot 10^{-5}$	0,5577	0,479	0,082	5,88
Vapeur d'eau à 300°C/10 bar	0,0442	2,145	$2,022 \cdot 10^{-5}$	3,876	0,823	0,007	118,7
Eau liquide à 25°C/1 atm	0,611	4,199	$89,85 \cdot 10^{-5}$	997,0	0,156	$4,3698 \cdot 10^{-10}$	$3,555 \cdot 10^8$

III.3 Entretien des chaudières

Pour préserver et améliorer les performances de votre installation de chauffage, il faut suivre les conseils d'entretien régulier.

Toute chaudière dont la puissance est comprise entre 4 et 400 kW doit faire l'objet d'un entretien tous les ans. Ceci concerne les chaudières au fioul, au gaz, au bois, au charbon, multi-combustibles, etc.

Une chaudière entretenue régulièrement a une durée de vie plus longue et subit moins de pannes qu'une chaudière non entretenue. Elle consomme moins de combustible, produit moins de gaz à effet de serre et de polluants.

Son entretien vous garantit également un fonctionnement en toute sécurité.

La visite d'entretien de la chaudière comporte :

- *Des opérations obligatoires.*
- *Des opérations non stipulées par la norme NF X50 011.*

L'ensemble de ces opérations sont décrites ci-après. Pour des informations plus détaillées sur le cycle d'entretien des chaudières, on recommande de se conformer aux guides et aux notices des constructeurs de matériels.

III.3.1 Nettoyage et vérification avant réglage

a)- Corps de chauffe et conduits

- ☛ Vérifier l'état, la nature et la géométrie du conduit de raccordement de l'appareil.
- ☛ Vérifier que le ramonage des conduits d'évacuation des fumées a été effectué récemment.

On rappelle que cette opération de ramonage est à faire obligatoirement 2 fois par an dont une fois pendant la période de chauffe par une entreprise compétente.

- ☛ Nettoyer le préfiltré fioul lorsque l'installation en est munie et nettoyer le filtre de la pompe fioul.

- ☛ Nettoyer le corps de chauffe, un nettoyage manuel est toujours nécessaire même après un pré-nettoyage chimique (voir les figures ci-dessus).



Facultatif : pré-nettoyage chimique du corps de chauffe.



Obligatoire : nettoyage manuel avec des goupillons.

Fig.III.3 : Corps de chauffe et conduits d'une chaudière.

b)- Brûleur

- ☛ Démontez et nettoyez complètement le brûleur.
- ☛ Relever le type de gicleur et remplacer éventuellement de celui-ci selon la fréquence d'usage de l'installation.

Le gicleur se caractérise par son calibre normalisé :

D_{marquage} , son angle de pulvérisation et son type de cône. La documentation du constructeur du brûleur et de la chaudière donne ces caractéristiques.

P_{pompe} est définie à partir des indications du constructeur du brûleur (couramment 12 bars). La puissance de combustion nécessaire Q se lit sur la fiche signalétique de la chaudière (souvent notée Q_n). Elle dépend de l'allure réglée.

- Calibre du gicleur en marquage européen :

$$D_{\text{marquage}} \text{ (kg/h)} = \frac{Q}{11,86} \sqrt{\frac{10}{P_{\text{pompe}}}}$$

- Calibre du gicleur en marquage US :

$$D_{\text{marquage}} \text{ (gal/h)} = \frac{0,32 \times Q}{11,86} \sqrt{\frac{7}{P_{\text{pompe}}}}$$

Angle et type de pulvérisation :

L'angle et le type dépendent des caractéristiques intrinsèques au brûleur et de la géométrie du foyer de la chaudière (voir documentation constructeur).

Le calibre du gicleur (D_{marquage}) s'obtient aussi facilement à partir des règles graduées de conversion fournies par les constructeurs ou alors à partir de la documentation du brûleur à air soufflé.

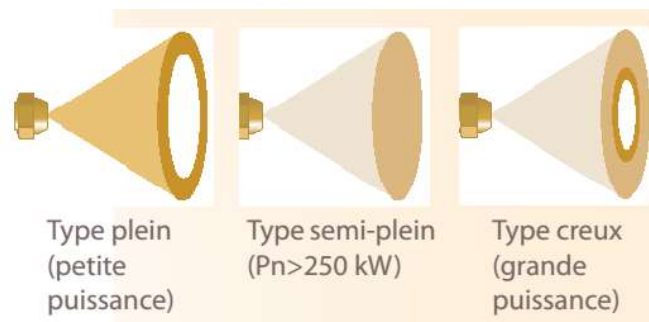
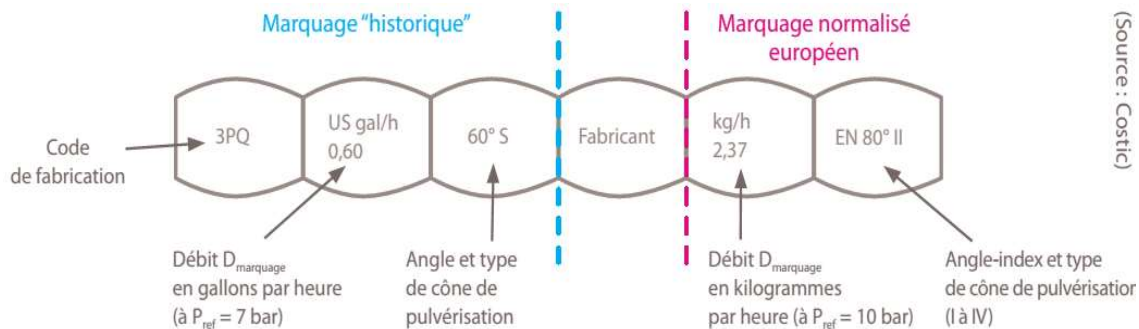


Fig. III.4 : Angle et type de pulvérisation d'une chaudière.



Sur lignes réchauffées, on rajoute environ 15 % au calibre du gicleur calculé ci-dessus (voir document constructeur).

Fig.III.5 : Marquage du gicleur d'une chaudière.

Opérations complémentaires

- ☛ Vérifier les cotes de placement des électrodes d'allumage.
- ☛ Vérifier le placement de la tête.
- ☛ Prérégler les cames du servomoteur pour les brûleurs à plusieurs allures.
- ☛ Graisser le moteur si possible.

Eléments de sécurité :

- ☛ Vérifier le bon câblage (phase, neutre, terre) sur le connecteur 7 broches.
- ☛ Vérifier les dispositifs de sécurité chaudière (aqua-stat, contrôleur de débit, contrôleur de pression...).
- ☛ Vérifier les dispositifs de sécurité brûleur (ligne de chauffe, boîtier de contrôle, cellule de détection de flamme, électrovanne, pressostat air...).